



Tema: Gestão de Manutenção

APLICAÇÃO DE ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE NA REDUÇÃO DE PARADAS POR FALHA DA MÁQUINA DE MARCAR DO LAMINADOR DE TIRAS A QUENTE DA ARCELORMITTAL TUBARÃO*

Ricardo Tadeu Meneses Sodré¹

Laudelino Cota Fonseca Junior²

Luiz Rogério Piancar³

Quintino Ribeiro Sobrinho⁴

Resumo

Laminadores de Tiras a Quente (LTQ) são equipamentos que realizam a transformação de placas de aço em bobinas laminadas de aço. Após a fabricação da bobina é necessário à marcação de todas as bobinas laminadas para possibilitar a identificação e rastreabilidade da bobina. A Arcelormittal Tubarão possui uma máquina de marcar automática robotizada que realiza essa identificação. Ocorrendo falha na máquina de marcar a identificação das bobinas passam a ser realizadas manualmente pelo operador, que não possui a mesma velocidade da marcação robotizada, ou seja, imediatamente ocorre perda de produção e após alguns minutos o gargalo se torna insustentável causando a parada do Laminador de Tiras a Quente. Um estudo minucioso foi desenvolvido através da elaboração de um diagrama de blocos funcionais (DBF), levantamento do histórico de falhas e tempos de manutenção, criação das curvas de confiabilidade e mantabilidade e dos blocos de confiabilidade (RBD) para realização de simulações. Este estudo permitiu direcionar os esforços para os modos de falhas que mais impactavam na produção, reduzindo significativamente as falhas da máquina de marcar. Para sustentabilidade do resultado os planos de manutenção e inspeção foram revisados utilizando a Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM). O estudo proporcionou um aumento de produção de 15.207 ton/ano.

Palavras-chave: Confiabilidade; Máquina Marcar; RCM.

RELIABILITY ENGINEERING APPLICATION REDUCING DOWNTIME BY MARKING MACHINE FAILURES IN THE ARCELORMITTAL TUBARÃO HOT STRIP MILL

Abstract

Hot Strip Mills are equipments that transform slabs in coils. After manufactured the coils, are necessary to provide identification and traceability. The ArcelorMittal Tubarão has an automatic and robotic Marking Machine to realize this identification. If occurs any trouble, the coils identification shall be performed manually by the operator, that not has the same skill and machine velocity, then it immediately causes production losses and after few minutes the bottleneck becomes unsustainable causing Hot Strip Mill Stoppages. A detailed study was developed through the functional block diagram creation; maintenance failures history survey; reliability and maintainability curves creation and the reliability block diagram focusing on realize simulations. This study allowed putting efforts in the failures modes that produced most production impacted, with significantly reducing in the marking machine failures. To guarantee the results sustainability the maintenance and inspection plans have been revised using the Reliability Centered Maintenance (RCM). It gave us a production increase of 15,207 ton/year.

Keywords: Reliability; Marking Machine, RCM.

¹ Engenheiro Mecânico, Especialista em Engenharia de Manutenção e em Engenharia de Materiais, Mestre em Fadiga e Mecânica de Fratura, Engenheiro especialista em Manutenção e Gestão de Ativos, Gerência de Tecnologia de Manutenção, ArcelorMittal Tubarão, Vitória, ES, Brasil.

² Engenheiro Eletricista, Engenheiro especialista em Manutenção e Gestão de Ativos, Gerência de Tecnologia de Manutenção, ArcelorMittal Tubarão, Vitória, ES, Brasil.

³ Engenheiro Mecânico, Engenheiro especialista em Manutenção do Laminador de Tiras a Quente, Gerência de Manutenção do LTQ, ArcelorMittal Tubarão, Vitória, ES, Brasil.

⁴ Engenheiro Mecânico, Especialista em Engenharia de Manutenção, Engenheiro especialista em Manutenção do Laminador de Tiras a Quente, Gerência de Manutenção do LTQ, ArcelorMittal Tubarão, Vitória, ES, Brasil.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

De uma maneira macro a Manutenção de Classe Mundial consiste na melhoria de modo constante e estruturado, com foco em estar ou se manter no primeiro quartil das melhores empresas do mundo [1].

O desenvolvimento da manutenção na busca da excelência ou Classe Mundial passa pela identificação e adequação das melhores práticas. Isso significa modificar a forma de atuar. No entanto, essas modificações demandam tempo. Um programa de melhoria da manutenção, consistente e aplicado com disciplina demanda um tempo entre 3 e 5 anos para que se atinja a excelência. Além disso, deve ser um programa institucional, requer aplicação de recursos, deve ser sistematicamente avaliado por equipe de auditoria interna e externa.

Neste contexto a manutenção deve garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações (ativos) de modo a atender a um processo de produção, com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custo-eficiente. Com isso a visão de simplesmente “Realizar Manutenção” cede lugar a “Garantia da Disponibilidade e Redução da Variabilidade”, e a missão deverá ser de “Produzir Resultados Custo-eficiente” ao invés de “Reduzir Custos” [2].

A Engenharia da Confiabilidade fornece as ferramentas teóricas e práticas que permitem especificar, projetar, testar e demonstrar a probabilidade e a capacidade segundo a qual componentes, equipamentos, produtos e sistemas desempenharão suas funções, por períodos determinados de tempo, em ambientes e condições específicas e sem apresentar falhas [3-5].

Em problemas práticos a confiabilidade de sistemas é largamente utilizada, ou seja, é utilizado um modelo matemático que descreve a probabilidade de falha (ou a probabilidade de sucesso – confiabilidade) do componente do sistema em diferentes idades. Também pode ser criado um modelo matemático para descrever as intervenções de manutenção neste componente, ou seja, cada componente do sistema pode ser descrito por um modelo diferente. Logo podemos definir um sistema como sendo uma coleção de subsistemas, montagens e/ou componentes arranjados de forma a alcançar uma funcionalidade desejada [6].

2 O PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE TIRAS A QUENTE

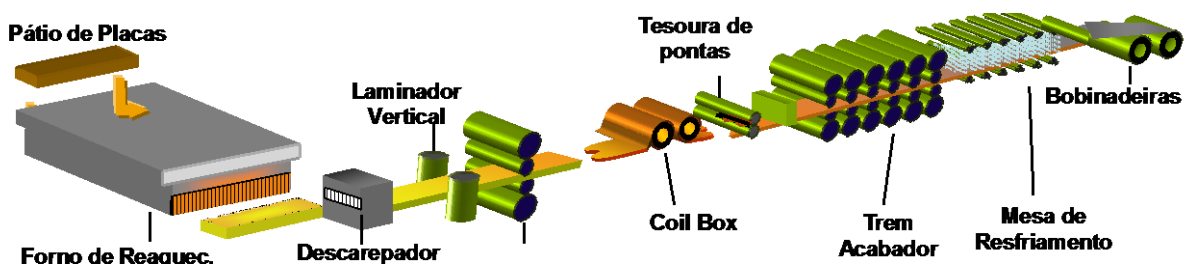


Figura 1. Vista ilustrativa do processo de Laminação de Tiras a Quente da ArcelorMittal Tubarão.

O processo de laminação de tiras a quente inicia-se com o recebimento e preparação das placas (200 a 250 mm de espessura) no pátio de placas. O Forno de reaquecimento eleva a temperatura da placa para uma faixa entre 1200 e 1280°C. Nesse processo são gerados óxidos metálicos que são retirados no processo de descarepação. O laminador vertical atua de forma reversível laminando bordas e reduzindo espessura do esboço para 20 a 40mm. Ao sair da cadeira de desbaste o

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

esboço é bobinado no *Coil Box* para homogeneizar a temperatura e inverter a ponta mais fria com a ponta mais quente. A tesoura de pontas corta as extremidades do esboço e direciona para o trem acabador composto por 6 cadeiras de laminação contínua. Ao sair do trem acabador a tira, com espessura entre 0,8 a 16mm, é conduzida à mesa de rolos onde estão instalados os chuveiros de resfriamento que conferem propriedades mecânicas e metalúrgicas a tira. As bobinadeiras, situadas no fim da linha de laminação, processam o bobinamento da tira em sua forma final, bobinas a quente. O produto final é identificado através de um código alfanumérico pela Máquina de Marcar, foco do estudo, antes de seguir para o pátio de estocagem e despacho.

2.1 Sistema de Marcação de Bobinas

A Máquina de Marcar Bobinas a quente realiza a identificação alfanumérica de todas as bobinas produzidas pelo Laminador de Tiras a Quente da ArcelorMittal Tubarão. A capacidade instalada é de 4 milhões de toneladas por ano.

A atividade de marcação é totalmente automatizada e robotizada podendo ser configurada para marcação na lateral da bobina ou na superfície externa (circunferência externa). Antes do robô iniciar a marcação ele detecta o raio da bobina através de um cilindro pneumático, retorna para a posição de marcação e a inicia. O comando e sequenciamento é realizado automaticamente pelo sistema de nível 2.

Na ocorrência de falha neste sistema de marcação, o operador imediatamente inicia a marcação em manual. Como as bobinas estão em torno de 800°C esta operação é bastante desconfortável e não possui o mesmo rendimento da marcação automatizada, ou seja, após poucos minutos de falha é necessário reduzir o ritmo do Laminador de Tiras a Quente em função da marcação manual. Normalmente esta operação reduz 50% da capacidade de produção do laminador. As bobinas a serem marcadas se acumulam gerando a parada completa do Laminador.

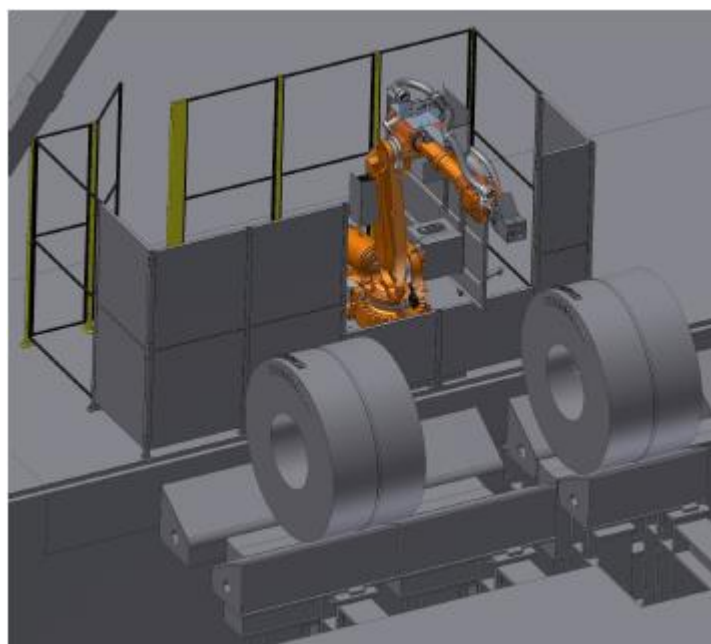


Figura 2. Vista ilustrativa da Máquina de Marcar Bobinas do Laminador de Tiras a Quente da ArcelorMittal Tubarão.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Diagrama de Blocos Funcionais

O primeiro passo do trabalho foi desenvolver o diagrama de blocos funcionais (FBD) do sistema de marcação de bobinas com o intuito de melhor entender o sistema e ter certeza que nenhuma parte e/ou componente ficaria fora da análise. O FBD foi desenvolvido suportado por visitas de campo e consulta a desenhos técnicos e manuais.

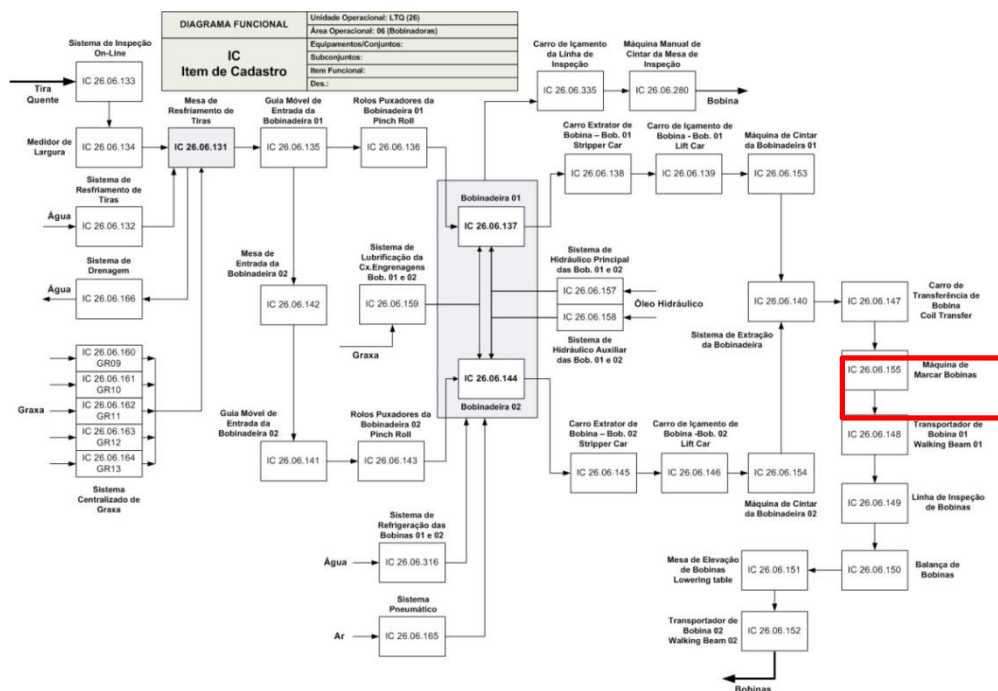


Figura 3. Diagrama de blocos funcionais da região da Mesa de resfriamento e Bobinadeiras do Laminador de Tiras a Quente da ArcelorMittal Tubarão.

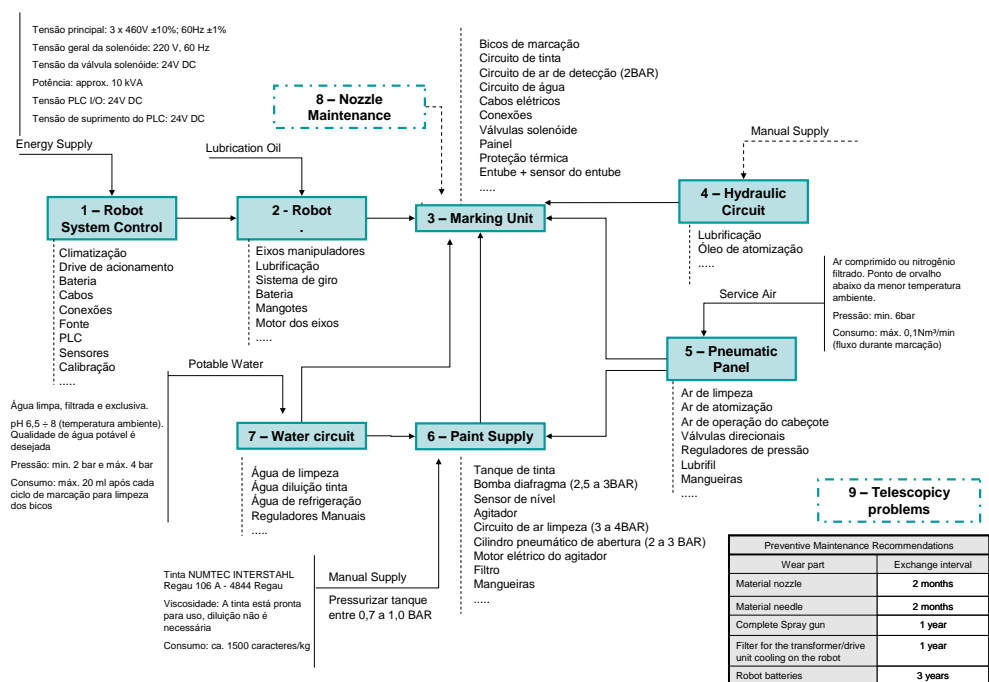


Figura 4. Diagrama de blocos funcionais da Máquina de Marcar do Laminador de Tiras a Quente da ArcelorMittal Tubarão.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

Após o detalhamento do diagrama de blocos funcionais foi possível verificar que o cadastro do equipamento no Sistema Computadorizado de Gestão da Manutenção (CMMS) necessitava de revisões. A revisão foi realizada focando a função do equipamento [7].

REVISADO	ANTERIOR
IC 24 LAMINADOR DE TIRAS A QUENTE	IC 24 LAMINADOR DE TIRAS A QUENTE
IC 24.06 BOBINADERIA S	IC 24.06 BOBINADERIA S
IC 24.06.155.01 MÁQUINA DE MARCAR BOBINAS	IC 24.06.155.01 MÁQUINA DE MARCAR BOBINAS
IC 24.06.155.01.01 SISTEMA DE GIRO	IC 24.06.155.01.01 GIRO DO MANIPULADOR
IC 24.06.155.01.02 ESTRUTURA	IC 24.06.155.01.02 BASE
IC 24.06.155.01.03 MANGOTE	IC 24.06.155.01.03 MANGOTE
IC 24.06.155.01.04 BATERIA	IC 24.06.155.01.04 ESTRUTURA GIRO
IC 24.06.155.01.05 EIXOS DOS MANIPULADORES	IC 24.06.155.01.04 ESTRUTURA
IC 24.06.155.01.06 SENSORES DE POSIÇÃO	IC 24.06.155.01.05 MANGUEIRA AGUJAR
IC 24.06.155.01.07 LUBRIFICACAO	IC 24.06.155.01.06 MANGUEIRA TINTA
IC 24.06.155.10 CIRCUITO PNEUMÁTICO	IC 24.06.155.01.07 MANGUEIRA DO CILINDRO PNEUMÁTICO
IC 24.06.155.10.01 VALVULAS 2 RECOLOCAS	IC 24.06.155.01.08 ESTEIRA
IC 24.06.155.10.02 MANGUEIRA	IC 24.06.155.02 ARTICULAÇÃO DO MANIPULADOR
IC 24.06.155.10.03 FILTROS LUBRIFIL	IC 24.06.155.02.01 BRACO TRANSMISSÃO LADO DIREITO
IC 24.06.155.10.04 CONTROLADOR DE PRESSÃO	IC 24.06.155.02.02 BRACO TRANSMISSÃO LADO ESQUERDO
IC 24.06.155.10.05 SISTEMA DE AR DE FUSÃO	IC 24.06.155.02.03 MOTOR PNEUMÁTICO LADO DIREITO
IC 24.06.155.10.06 SISTEMA DE AR DE ATOMIZAÇÃO	IC 24.06.155.02.04 MOTOR PNEUMÁTICO LADO ESQUERDO
IC 24.06.155.10.07 SISTEMA DE AR DE OPERAÇÃO DO CABEÇOTE	IC 24.06.155.02.05 ESTRUTURA ARTICULAÇÃO
IC 24.06.155.11 CABEÇOTE DE MARCAÇÃO DE BOBINAS	IC 24.06.155.02.06 ROBO
IC 24.06.155.11.01 CIRCUITO DE TINTA	IC 24.06.155.03 DISTRIBUIÇÃO PNEUMÁTICA
IC 24.06.155.11.02 BICO DE MARCAÇÃO	IC 24.06.155.03.01 VALVULAS
IC 24.06.155.11.03 RESERVOIRIO DE AGUA	IC 24.06.155.03.02 MANGUEIRAS
IC 24.06.155.11.04 CIRCUITO DE AR DE DETECCAO	IC 24.06.155.03.03 CILINDROS
IC 24.06.155.11.05 CIRCUITO DE AGUA	IC 24.06.155.03.04 FILTROS
IC 24.06.155.11.06 ENTRUBO	IC 24.06.155.03.05 DE CAÇON DE AR
IC 24.06.155.11.07 SENSORES DE ENTUBO	IC 24.06.155.03.06 CONTROLADOR DE PRESSÃO
IC 24.06.155.11.08 PROTECCAO TERMICA	IC 24.06.155.04 MARCAÇÃO DE BOBINAS
IC 24.06.155.11.09 CABOS ELÉTRICOS	IC 24.06.155.04.01 MANEJAS
IC 24.06.155.11.10 CONEXORES	IC 24.06.155.04.02 MOTOR PNEUMÁTICO
IC 24.06.155.11.11 PAINEL DE CONTROLE OPERACIONAL	IC 24.06.155.04.03 CABEÇOTE GATORIO
IC 24.06.155.11.12 MANEJAS SOLENOIDES	IC 24.06.155.04.04 CABEÇOTE DE ARTICULAÇÃO
IC 24.06.155.12 SISTEMA DE CONTROLE DO ROBO	IC 24.06.155.04.05 CABEÇOTE DE MARCAÇÃO
IC 24.06.155.12.01 PAINEL ELETRICO NUNTEC	IC 24.06.155.04.06 MÓDULO DISTRIBUIDOR DE TINTA
IC 24.06.155.12.02 CLIMATIZACAO DO PAINEL NUNTEC	IC 24.06.155.04.07 RESERVATORIO
IC 24.06.155.12.03 PAINEL ELETRICO ABS	IC 24.06.155.04.08 AQUILA
IC 24.06.155.12.04 SENSORES MAGNETICOS DE POSICAO	IC 24.06.155.04.09 ESCO
IC 24.06.155.12.05 DRIVERS DE ACHONAMENTO	IC 24.06.155.04.10 SEDE DA VALVULA
IC 24.06.155.12.06 BATERIA	IC 24.06.155.04.11 REPARO DO DISTRIBUIDOR
IC 24.06.155.12.07 CABOS ELÉTRICOS	IC 24.06.155.04.12 DISTRIBUIDOR DE ALIMENTACAO
IC 24.06.155.12.08 PUC	IC 24.06.155.04.13 FILTRO
IC 24.06.155.13 FORNECIMENTO DE TINTA	IC 24.06.155.04.14 CARCASA DO FILTRO
IC 24.06.155.13.01 MANGUEIRAS	IC 24.06.155.04.15 OLEO 88
IC 24.06.155.13.02 MANGUEIRAS	IC 24.06.155.04.16 BOMBA DE OLEO
IC 24.06.155.13.03 BOMBA SUPRIMENTA	IC 24.06.155.04.17 VALVULA REFERENCIA LUBRIFIL
IC 24.06.155.13.04 SENLADOR DE NIVEL	IC 24.06.155.04.18 LUBRIFIL PARA LUBRIFIL DE BICO
IC 24.06.155.13.05 MANIPULADOR	IC 24.06.155.04.19 CABO DE AÇO DO SUPORTE DA MANGUEIRAS
IC 24.06.155.13.06 CIRCUITO DE AR DE LIMPEZA	IC 24.06.155.04.20 ESCOVA DE AÇO
IC 24.06.155.13.07 CIRCUITO PNEUMÁTICO DE ABERTURA DA TAMPA	IC 24.06.155.04.21 PITA SOLANTE PARA DE LIGRO
IC 24.06.155.13.08 MOTOR ELÉTRICO DO ADAPTADOR	IC 24.06.155.04.22 ADAPTADOR DA VALVULA
IC 24.06.155.13.09 FILTRO DE TINTA	IC 24.06.155.04.23 PONTO DE LUBRIFICACAO OLEO 1 e 8 S
IC 24.06.155.13.10 MANGUEIRAS	IC 24.06.155.04.24 PAINEL BASE DO DISTRIBUIDOR DE TINTA
IC 24.06.155.14 CIRCUITO DE ÓLEO HIDRAULICO	IC 24.06.155.05 COMPONENTES ELÉTRICOS
IC 24.06.155.14.01 SISTEMA DE LUBRIFICACAO	IC 24.06.155.05.01 PAINEL ELETRICO NUNTEC
IC 24.06.155.14.02 ATOMIZADOR	IC 24.06.155.05.02 CLIMATIZACAO DO PAINEL NUNTEC
IC 24.06.155.15 CIRCUITO DE AGUA	IC 24.06.155.05.03 PAINEL ELETRICO ABS
IC 24.06.155.15.01 REGULADORES MANUAIS	IC 24.06.155.05.04 SENSORES MAGNETICOS DE POSICAO
IC 24.06.155.15.02 SISTEMA DE AGUA DELIMPEZA	IC 24.06.155.05.05 DRIVERS DOS MOVIMENTOS
IC 24.06.155.15.03 SISTEMA DE AGUA DE DILUCCAO	IC 24.06.155.05.06 MANIPULADOR IRRR 4400 L 30 10200
IC 24.06.155.15.04 SISTEMA DE AGUA DE REFRIGERACAO	IC 24.06.155.05.07 SOLENOIDES BICO DE MARCAÇÃO
	IC 24.06.155.05.08 PAINEL ELETRICO 840 PLUS
	IC 24.06.155.06 CONTROLE OPERACIONAL
	IC 24.06.155.07 CLIMA TIZA ÇAO
	IC 24.06.155.01.01 CLIMATIZADOR DE PAINEL ELETRICO DO ROBO DE PINTURA
	IC 24.06.155.08 RESERVA
	IC 24.06.155.08.01 OLEO LUBRIFICANTE PONTO 1 E 8 S

Figura 5. Revisão do cadastro da Máquina de Marcar no CMMS da ArcelorMittal Tubarão.

3.2 Levantamento dos Dados de Falhas da Máquina de Marcar

Todas as falhas da máquina de marcar são automaticamente computadas pelo sistema supervisor do laminador, indicando a hora de realização, duração e percepção do ocorrido na visão do operador. A causa da falha é posteriormente analisada pelo turno de manutenção para apontar as causas das falhas e identificar qual componente falhou. Foram levantados os dados históricos para o período de janeiro de 2010 a março de 2013.

Falha	Data da ocorrência	Hora da ocorrência	Data da retorno	Hora de retorno	Equipamento	Natureza
F	01/01/2010	11:44 AM	01/01/2010	11:56 AM	FALHA NA MÁQUINA DE MARCAR	MECÂNICA
F	04/01/2010	10:53 AM	04/01/2010	11:01 AM	FALHA NA MÁQUINA DE MARCAR	ELÉTRICA
F	14/02/2010	6:00 AM	14/02/2010	6:16 AM	FALHA NA MÁQUINA DE MARCAR	MECÂNICA
F	17/02/2010	12:18 AM	17/02/2010	12:32 AM	FALHA NA MÁQUINA DE MARCAR	ELÉTRICA
F	17/02/2010	3:05 AM	17/02/2010	3:13 AM	FALHA NA MÁQUINA DE MARCAR	ELÉTRICA
F	17/02/2010	2:31 PM	17/02/2010	2:52 PM	FALHA NA MÁQUINA DE MARCAR	ELÉTRICA
F	18/02/2010	9:19 PM	18/02/2010	9:31 PM	FALHA NA MÁQUINA DE MARCAR	ELÉTRICA
F	19/02/2010	9:53 PM	19/02/2010	10:05 PM	FALHA NA MÁQUINA DE MARCAR	ELÉTRICA
F	19/02/2010	10:24 PM	19/02/2010	10:40 PM	FALHA NA MÁQUINA DE MARCAR	ELÉTRICA
F	01/03/2010	1:32 PM	01/03/2010	1:42 PM	FALHA NA MÁQUINA DE MARCAR	OPERAÇÃO
F	01/03/2010	2:27 PM	01/03/2010	2:42 PM	FALHA NA MÁQUINA DE MARCAR	ELÉTRICA
F	06/03/2010	6:45 AM	06/03/2010	7:02 AM	FALHA NA MÁQUINA DE MARCAR	ELÉTRICA
F	06/03/2010	8:03 AM	06/03/2010	8:18 AM	FALHA NA MÁQUINA DE MARCAR	ELÉTRICA
F	06/03/2010	4:20 PM	06/03/2010	4:32 PM	FALHA NA MÁQUINA DE MARCAR	ELÉTRICA
F	06/03/2010	11:32 PM	06/03/2010	11:44 PM	FALHA NA MÁQUINA DE MARCAR	MECÂNICA

Figura 6. Exemplo de planilha com os dados de falha da Máquina de Marcar.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

3.3 Modelos Matemáticos

Todas as falhas da máquina de marcar foram estratificadas e alocadas em cada bloco funcional. Logo foi possível desenvolver um modelo matemático para representar a probabilidade de falha do componente e outro para representar a probabilidade de reparo do componente. Este processo foi realizado para todos os blocos funcionais definidos no FBD. Para isto foi utilizado o programa *Weibull ++*, onde foi possível definir a melhor distribuição estatística a ser utilizada para cada caso [8].

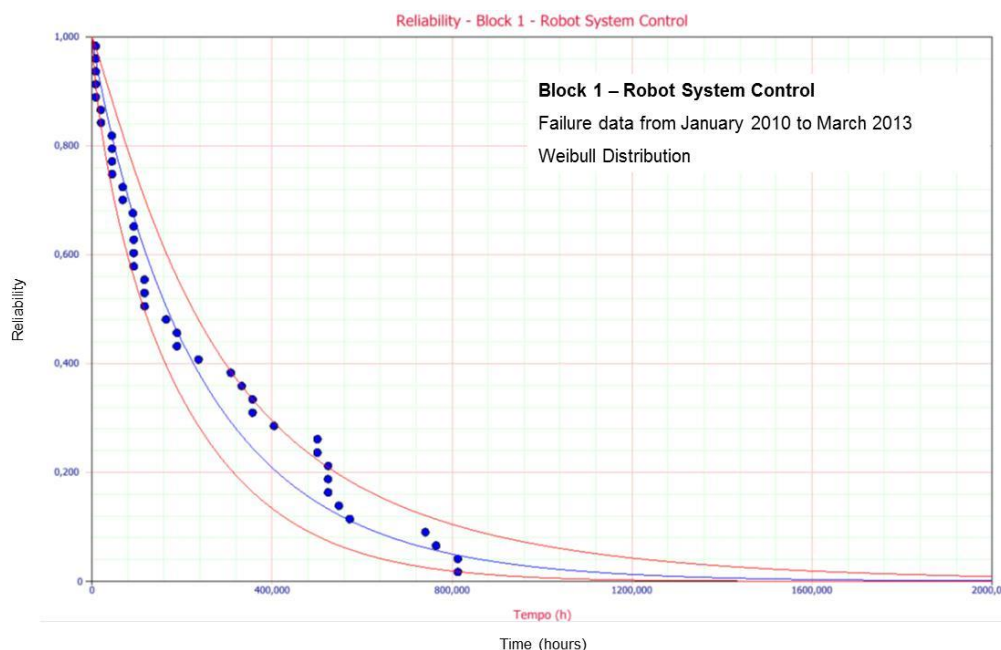
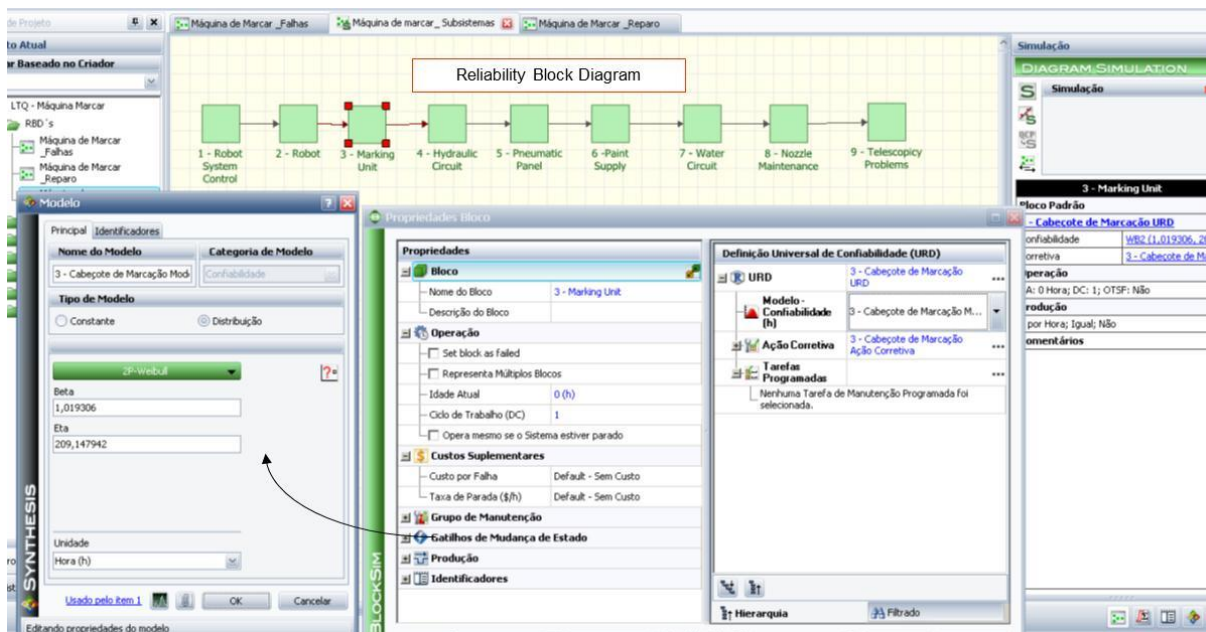


Figura 7. Exemplo de curva de confiabilidade gerada para um bloco funcional da Máquina de Marcar.

3.4 Diagrama de Blocos de Confiabilidade

A máquina de marcar e seus componentes foram representados através de diagrama de blocos de confiabilidade (RBD). Para cada equipamento representado pelo bloco foram incluídos os modelos matemáticos representando a frequência de falha e os tempos de reparo obtidos internamente nos registros históricos. Foi utilizado o programa *Blocksim* para tal [9]. As primeiras análises de simulação dos dados de falhas da Máquina de marcar indicaram um $R(24\text{horas}) = 43,28\%$ e um $R(168\text{horas}) = 3,74\%$, ou seja, a máquina de marcar tem uma probabilidade de 43,28% de não falhar em 24 horas e de 3,74% de não falhar em uma semana (168horas). Estes valores foram totalmente condizentes com o dia a dia da manutenção da área.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



Entrada dos dados de falha e de manutenibilidade para todos os blocos

Bloco Funcional	Confiabilidade 24 horas - R(24)	Confiabilidade 168 hs - R(168)
Máquina Marcar	43,28%	3,74%

Figura 8. Primeiros resultados da simulação do diagrama de blocos de confiabilidade da Máquina de Marcar.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de simulação realizadas no programa *Blocksim* mostram os subsistemas da máquina de marcar que mais contribuem para a baixa confiabilidade do sistema. De acordo com estes resultados o foco foi direcionado aos blocos:

- Sistema de controle do robô;
- Robô próprio;
- Unidade de Marcação;
- Manutenção de Bicos.

Tabela 1. Resultados das simulações do diagrama de blocos de confiabilidade

Diagrama Funcional	μ (MTTR) - horas	Confiabilidade 24 horas - R(24)	Confiabilidade 168 hs - R(168)
1 - Sistema de Controle do Robô	0,24	89,30%	49,90%
2 - Robô	0,62	79,90%	60,70%
3 - Unidade de Marcação	0,18	89,60%	44,90%
4 - Unidade Hidráulica	0	100%	100%
5 - Painel Pneumático	0,19	95,90%	88,40%
6 - Suprimento de Tinta	0,27	94,20%	92,70%
7 - Circuito de Água	6,96*	93,00%	84,00%
8 - Manutenção dos Bicos	0,28	87,60%	51,90%
9 - Telescopicidade	0,13	92,00%	77,10%

*Não representativo, pois ocorreram apenas duas ocorrências no período analisado.

Para cada um dos 4 blocos destacados foram realizados o detalhamento dos modos de falha e suas causas principais de forma a possibilitar a criação de plano de ação

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



enxuto e focado no aumento de disponibilidade do sistema máquina de marcar [7,10]. Foram geradas nove ações relacionadas aos blocos destacados e mais 5 ações gerais para sustentabilidade do resultado. A implantação das ações foi monitorada semanalmente através de reuniões de *follow up* com os responsáveis e gerentes envolvidos. A gestão das ações de forma eficiente e motivacional para o grupo é fator fundamental para a implantação de qualquer ação.

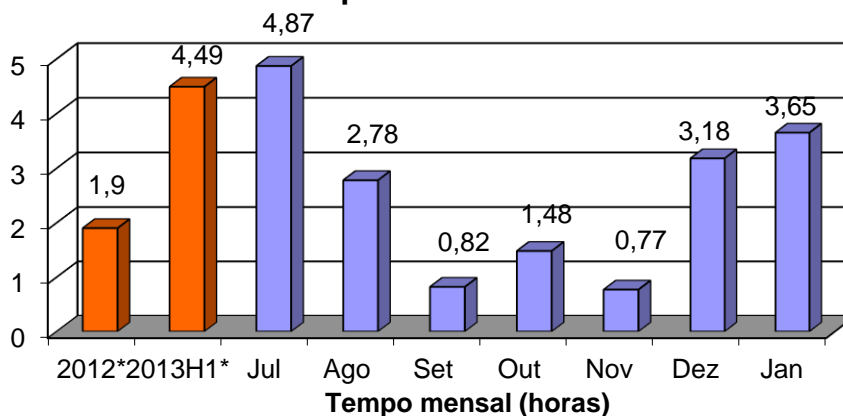
Tabela 2. Plano de Ação focado nos blocos funcionais destacados

BLOCO	AÇÕES	RESPONSÁVEL	DATA
3	1 – Trocar a unidade de marcação existente (7bicos) para marcação simples (um bico).	Quintino	03/07/2013
	2 – Instalação de filtro individualizado para o circuito pneumático.	Quintino/ Denilson	03/07/2013
1	3 – Isolar termicamente a unidade de marcação	Quintino/ Denilson	03/07/2013
	4 – Melhorar a ventilação do local – Instalar ventilador industrial	Denilson	31/10/2013
8	5 – Transferir a manutenção dos bicos de marcação para a Oficina Central para melhorar o controle de qualidade	Sodré / Laudelino	30/06/2013
	6 – Treinar os inspetores e executantes direto com o fabricante Numtec	Quintino / Fracalossi	25/06 a 02/07/2013
	7 – Criar infraestrutura de reparo e teste dos bicos de marcação com água na Oficina central	Sodré / Laudelino / José Anilton	16/08/2013
2	8 – Criar padrão visual dos códigos de falha e soluções rápidas	Denilson	31/07/2013
	9 – Treinar a manutenção elétrica de turno na análise e diagnose de falhas do robô, baseado no padrão criado.	Denilson	30/08/2013
ALL	10 – Criar rotina de análise aprofundada de todas as falhas da máquina de marcar acima de 60 minutos.	Luis Eduardo Fontes	12/07/2013
	11 – Revisar o cadastro do equipamento no CMMS.	Sodré / Laudelino / Quintino / Pianca	30/06/2013
	12 – Revisar os planos de manutenção e inspeção baseado em RCM (<i>Reliability Centered Maintenance</i>).	Sodré / Laudelino / Quintino / Pianca	30/08/2013
	13 – Revisar o plano de inspeção incluindo ajuste semanal das pressões da máquina de marcar.	Denilson	31/07/2013
	14 – Instalar novo sistema de uniformização e suprimento de tinta para evitar o contato do operador	Denilson / Quintino	31/10/2013

Após a implantação das ações foi possível apurar ganhos com a redução do tempo de paradas do Laminador de Tiras a Quente causados pela Máquina de Marcar e também uma redução da perda de produtividade causada pela marcação manual. Podemos observar que foi possível atingir 0,77 horas de parada do Laminador no mês de novembro contra uma média mensal de 4,49 horas em 2013H1, e 0(zero) horas de perda de produtividade no mês de novembro contra 1,4 horas de média mensal em 2013H1.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

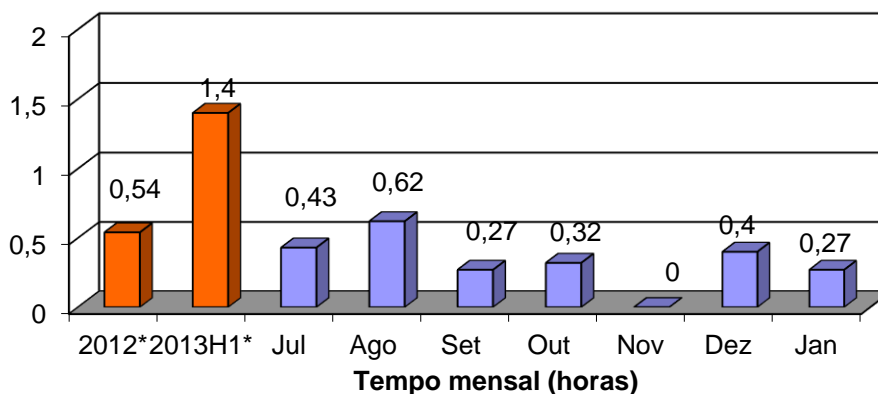
Stop - Tempo de parada do LTQ causado por falha da Máquina de Marcar



*Para 2012 e 2013H1 o valor representa a média mensal.

Figura 9. Resultados para o tempo de parada do Laminador causado pela Máquina de Marcar.

Delay - Tempo de perda de produtividade do LTQ causado por falha da Máquina de Marcar



*Para 2012 e 2013H1 o valor representa a média mensal.

Figura 10. Resultados para o tempo de perda de produtividade do Laminador causado pela Máquina de Marcar.

Podemos observar que em dezembro de 2013 se inicia um aumento dos níveis de falhas, ou seja, as ações implantadas não foram suficientes para garantir a sustentabilidade do resultado. Então se decidiu realizar a revisão dos planos de manutenção e inspeção baseados no RCM (Manutenção Centrada em Confiabilidade) [10,11,7].

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



ESTUDO DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE																								
Sistema: Máquina de Marcar		TAG: 26.06.155		Data de Início: 29/08/2013		Data de Término:		Status: Concluído																
Subsistema: Unidade de Marcação		TAG:		Revisão: 00		Facilitador:																		
FUNÇÃO Primária e/ou Secundária	FALHA FUNCIONAL Perda da Função	MODO DE FALHA Causa da Falha Funcional	CAUSA DO MODO Causa Origem do Modo	EFEITO DA FALHA O que acontece quando falha	Falta Visível para Operador											CÓDIGO	DESCRIÇÃO DAS TAREFAS	INTERVALO	FERRAMENTAL	PADRÃO	EXECUTADO POR:			
					E	S	O	T	SP	SC	IF	RE	OT	AF										
Realizar a marcação de bobinas. A - A máquina não marca B - A marcação fica ilegível ou de baixa qualidade	Sensor do entube fora de posição	Má fixação do sensor		O robô perde a posição de home interlockando o Walking Beam		X		X							X			Realizar inspeção da fixação do sensor de posição do entube e disco de bloqueio. Realizar reaperto se necessário.	Semanal	Lanterna e jogo de chaves		HOMERIO VERISSIMO ROSA (Inspetor Elétrico)		
		Quebra/Queima do sensor																						
	Mau contato na emenda do cabo do sensor do entube	Degradação da emenda (Emenda própria sendo elevada como definitiva)		O robô perde a posição de home interlockando o Walking Beam		X		X								X			Realizar substituição do trecho de cabo emendado por cabo novo (continuo). Tarefa só será realizada quando tiver cabo emendado.	Parada programada	Cabo para substituição e jogo de chaves		HOMERIO VERISSIMO ROSA (Inspetor Elétrico)	
		Fusível queimado	Vida útil		O robô perde a posição de home interlockando o Walking Beam		X		X								X		Trocar fusível	Na falha	Jogo de chaves (Manter fusível sobressalente na região da máquina de marca).		HOMERIO VERISSIMO ROSA (Inspetor Elétrico)	
	Aparamentos/Travamento da haste do cilindro pneumático do entube	Furo nas mangueiras de tinta	Má regulação do bico de marcação		Interlock do robô. Falha/Falta de marcação.		X		X								X		Sanar vazamentos na região da haste do cilindro do entube.	Na falha	Jogo de chaves		RODRIGO AFONSO DA CUNHA (Inspetor Mecânico)	
																		X	Realizar a troca do bico.	Na falha	Jogo de chaves			
		Baixa qualidade do ar comprimido	Não realiza a leitura de posição do diâmetro da bobina para permitir marcação.				X		X							X			Verificar a indicação de saturação do filtro de ar e purgar a linha. Trocar elemento filtrante, se necessário.	Semanal				RODRIGO AFONSO DA CUNHA (Inspetor Mecânico)
			Lubrificação ineficiente													X			Verificar o nível de óleo do lubrificante e reposição de água no sistema. Repor lubrificante se necessário.	Semanal				

Figura 10. Exemplo de planilha de RCM utilizada na revisão dos planos de manutenção e inspeção.

Como resultado do estudo de 9 planos de serviços existentes 8 foram cancelados e 3 novos incluídos. Dos 61 planos de inspeção existentes, 40 foram cancelados e 22 novos foram incluídos. Foram incluídas 11 novas recomendações nos padrões de manutenção. Esta ação será fundamental para garantir a sustentabilidade do resultado.

5 CONCLUSÕES

A Engenharia de Confiabilidade Quantitativa, aplicada de forma estruturada, permitiu a realização da análise aprofundada dos equipamentos/componentes e modos de falhas da máquina de marcar. O principal benefício da aplicação estruturada foi o direcionamento do plano de ação em atividades que realmente iriam trazer resultados palpáveis, tornando o plano de ação enxuto e eficaz.

A redução do tempo de parada por falha da máquina de marcar proporcionou um aumento 14,26 horas de disponibilidade do Laminador de Tiras a Quente e um aumento de 6,52 horas de produtividade total do Laminador. Considerando a produtividade média do Laminador, esse ganho se transforma em aproximadamente 15.207 ton/ano a mais de produção de bobinas a quente, que é o produto da ArcelorMittal Tubarão de maior valor agregado.

Pode-se observar que a garantia da sustentabilidade dos resultados deve ser realizada através de ações de revisão de padrões, planos de manutenção, inspeção e treinamento constante das pessoas.

REFERÊNCIAS

- 1 Xavier JN. Gestão para Manutenção Classe Mundial. Belo Horizonte: Tecem tecnologia Empresarial; 2005.
- 2 Kardec A, Xavier JN. Manutenção – Função Estratégica. 4ª edição. São Paulo: Qualitymark; 2013.
- 3 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro; 1994.
- 4 Reliasoft Corporation. Análise de dados de vida. Presentation Handouts; 2012.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



- 5 Seixas ES. Engenharia de Confiabilidade Aplicada na Manutenção [apostila da Abraman – RFFSA]. Belo Horizonte:Abraman; 1999
- 6 Reliasoft Corporation. Confiabilidade de Sistemas Avançados. Presentation Handouts; 2012.
- 7 NASA, Reliability centered maintenance guide for facilities and collateral equipment. Estados Unidos: NASA; 2000.
- 8 ReliaSoft Corporation, Weibull++ 8.0 Software Package, Tucson, AZ, Disponível em: <<http://www.Weibull.com>>.
- 9 Tucson AZ. Blocksim 8.0 Software Package. ReliaSoft Corporation. Disponível em: <<http://www.Reliasoft.com>>.
- 10 Helman H, Andery PRP. Análise de falhas (aplicação dos métodos de FMEA – FTA)” – Série Ferramentas da qualidade. volume 11. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Otoni, Universidade Federal de Minas Gerais; 1995.
- 11 MIL-STD-1629A - Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis. Department of Defense - United States of America; 1980.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.