

ELEVAÇÃO DA VIDA ÚTIL DOS PNEUS DIANTEIROS DAS CARREGADEIRAS CATERPILLAR MOD:992G/K NA GERÊNCIA DE OPERAÇÕES ÁGUA LIMPA *

Daniela Miranda¹

Fábio José²

Amarsirley Silva³

Resumo

No processo produtivo de minério de ferro, dezenas de equipamentos são utilizados no preparo da mina para as operações de perfuração, desmonte, carregamento e transporte do minério retirado das minas a céu aberto. A iniciativa de trabalhar com a elevação da vida útil dos pneus dianteiros da frota de 992G/K (Caterpillar) ocorreu pelo fato do mesmo ser um dos custos mais altos na operação de mina, ser o maior representante de geração de resíduos de borracha e dentre os pneus em operação, a frota de carregadeiras 992G/K apresentava performance dos pneus do eixo dianteiro inferior à recomendação do fabricante e ao nosso orçamento anual, por isso se tornou foco do trabalho a ser desenvolvido. A metodologia aplicada para a elaboração do projeto foi Seis Sigma, que possibilitou a análise dos dados e alcance dos resultados acima da meta estabelecida por meio de ações processuais estruturantes e comportamentais, levando à redução da variabilidade.

Palavras-chave: Manutenção; Carregadeira; Pneu; Vida Útil.

USEFULL LIFE INCREASE OF THE FRONT TIRES OF CATERPILLAR LOADERS MOD: 992G/K IN OPERATIONS MANAGEMENT IN ÁGUA LIMPA

Abstract

In the iron ore production process, dozens of equipment are used on prepare of the mine for the operations of drilling, dismantle, loading and transportation of the ore withdrawal from open pit mines. The initiative of working with the useful life increase of front tires from the 992G/K (Caterpillar) fleet was due to the fact that it is one of the highest costs on mine operation and it is the biggest representative of rubber wastes generation among the tires in operation. The 992G/K loader fleet presented front axle tires performance lower than the manufacturer's recommendation and lower than our annual budget, so it became the focus of the work to be developed. The method applied for the project elaboration was Six Sigma, which allowed the data analysis and achievement of results above the established goal through procedural, structuring and behavioral actions, leading to reduction of variability.

Keywords: Maintenance; Loader; Tire; Useful life.

¹ *Bacharel em Administração de Empresas pela Universidade Castelo Branco, MBA Gestão de Projetos pela Rede Doctum, Especialista Green Belt, Analista Operacional PCM - Mina de Água Limpa, VALE S/A, Rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil.*

² *Técnico em Mecatrônica pelo Centro Educacional Beldani, Inspetor de Man. de Pneus PCM da Mina de Água Limpa, VALE S/A, Rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil.*

³ *Bacharel em Administração de Empresas pela Universidade Norte do Paraná, Graduando em Engenharia Elétrica pela Doctum, Especialista Green Belt, Supervisor de Manutenção de equipamentos de carga / terraplanagem, VALE S/A, Rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil. S/A.*

1 INTRODUÇÃO

As Minas Centrais ficam localizadas nas cidades de São Gonçalo do Rio Abaixo, Barão de Cocais, Santa Bárbara e Rio Piracicaba. Compõe as Minas Centrais: Água Limpa, Brucutu e Gongo Soco (atualmente paralisada por fim das licenças operacionais). Brucutu se destaca por ser a maior mina do mundo em capacidade inicial de produção de minério de ferro e a 2ª maior do Brasil, ficando atrás apenas de Carajás, também da Vale.

Com produção anual de mais de 4 milhões de toneladas de minério de ferro, a Mina de Água Limpa conta com uma frota de 61 equipamentos que são divididos em equipamentos de carga, desmonte, transporte e terraplanagem. Identificado dentre os pneus em operação que a performance dos pneus que operam no eixo dianteiro das carregadeiras 992G/K apresentava-se uma performance abaixo da recomendação do fabricante e do nosso orçamento anual, limitando-se assim este trabalho com este foco estabelecido.

1.1 Pá carregadeira 992G/K

A Caterpillar apresentou a 992 pela primeira vez em 1968. Essa grande pá-carregadeira de rodas tem sido líder global desde então, construindo uma reputação como pá-carregadeira de face segura de operar, produtiva e durável. [1]

Com as configurações de levantamento padrão e alto, essa máquina é compatível com frotas de caminhões 775, 777 e 785. O equipamento possui 4 pneus, sendo 02 no eixo dianteiro e 02 no eixo traseiro. (Figura 1). A frota de equipamentos deste modelo em operação em Água Limpa é de 4 máquinas que operam em turno ininterrupto de 6h totalizando em média 18h trabalhadas dia.



Figura 1. Carregadeira Caterpillar 992G.

1.2 Pneu Michelin 45/65R45

Pneu é um artefato circular feito de borracha, tendo como principais funções: transportar, guiar, transmitir, amortecer, rodar e durar. Nas carregadeiras em operação, é utilizado pneu do fabricante Michelin/Bridgestone, com dimensão 45/65R45 (os números indicam a dimensão do pneu e o R indicada a construção do pneu, nesse caso o R é de Radial), desenho XLDD1 L4R, composto A. (Figura 2) Possui uma escultura muito recortada, aberta no centro e agressiva, que dá aos pneus excelentes resultados em tração, mais aderência transversal e mais eficácia ao

carregar. A velocidade de trabalho máxima é de 14 km/h e a profundidade é de 71mm (essa medida pode sofrer variação dependendo do fabricante do pneu)

Sua durabilidade depende basicamente de fatores tais como: condições das praças de carga e descarga, pressão de trabalho e modo de operação.



Figura 2. Modelo de Pneu Michelin 45/65R45.

Dimensões:

- Diâmetro da roda: 45"
- Largura nominal: 1.143 mm
- A altura do flanco (lateral) do pneu: 742,95mm
- O diâmetro total do pneu: 2733mm

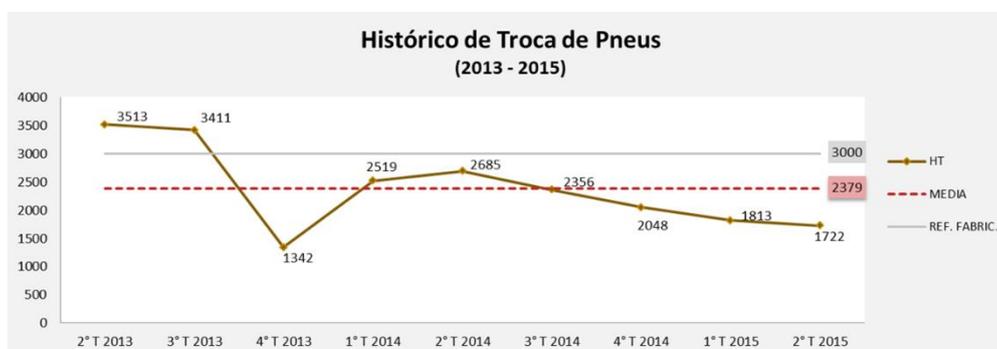
2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho baseia-se em análise histórica dos pneus, acompanhamento operacional, observações e análise de variância (ANOVA) cadenciada pela aplicação do trabalho de Seis Sigma, método sistemático e organizado para melhoria de processos.

2.1 Identificação do problema

Analisando o histórico de dados de trocas de pneus (dianteiros), percebemos que estamos 14% abaixo da recomendação do fabricante (3.000 h) (Figura 3)

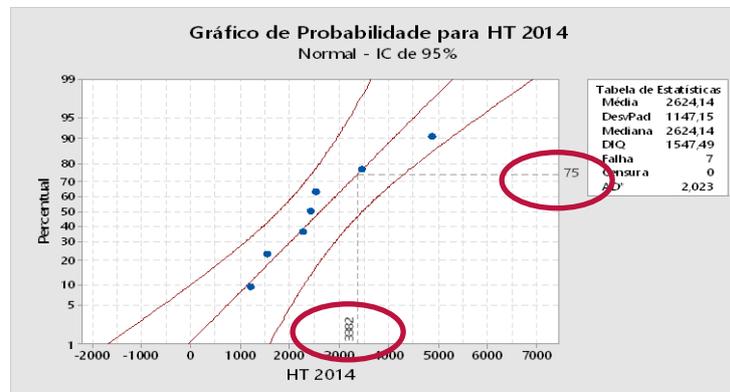
Figura 3. Período de análise dos dados (2º Trimestre de 2013 a 2º Trimestre de 2015)



O indicador que será tratado é o Horímetro Final do Pneu menos o Horímetro de instalação (início de operação do pneu), ou seja, a vida útil do pneu.

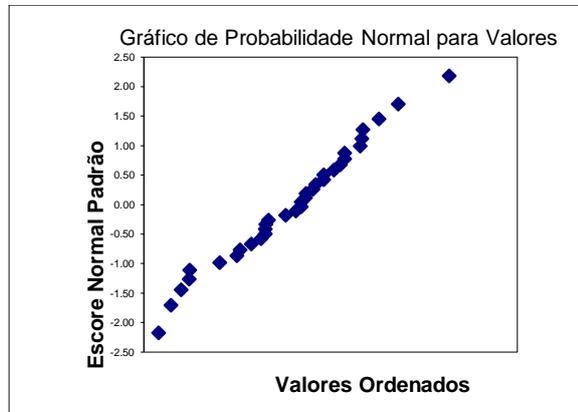
Para definição da meta foi utilizado o terceiro quartil, que é o valor que se encontra 75% da amostra, nesse caso representa 3.382 h, superando o recomendado pelo fabricante de 3000 h e validada pelo sponsor do projeto. (Figura 4)

Figura 4. Gráfico de probabilidade para definição da meta (utilizado 3º quartil)



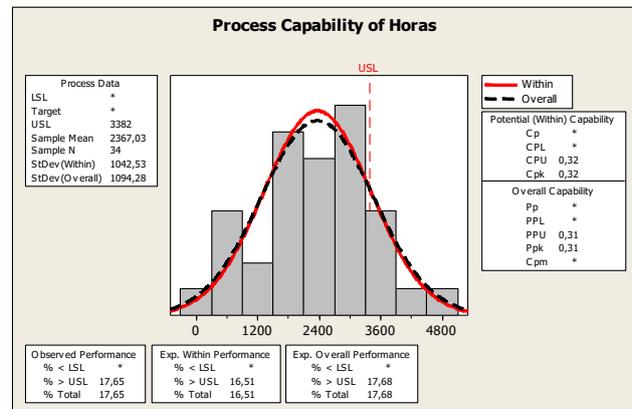
Após estabelecida a meta foi feito uma análise de desempenho do processo para verificar o percentual de atendimento dentro do especificado para o cenário atual, ou seja, dentro da meta proposta. O resultado do teste de normalidade foi $P=1$, ou seja, os dados são normais (Figura 4) o que permite que seja feito a análise de desempenho do processo pelo gráfico de capacidade tendo como resultado 75% fora do especificado. (Figura 5)

Figura 4. Teste de normalidade



Média:	2367,029
Desvio Padrão:	1094,283
N:	34,000
Estatística de Anderson-Darling (AD)	0,253
Valor-p para teste de Normalidade	1,00000

Figura 5. Gráfico de Capacidade



2.2 Análise do Fenômeno

Nesta etapa foi realizado estratificação no nível do equipamento, entendendo que a posição em que o pneu opera (lado direito ou esquerdo) não influencia, assim como o local de operação, uma vez que o equipamento não possui frentes de operação fixas, havendo variação do local em regime de rodízio.

Definimos como foco a ser trabalhado: as horas trabalhadas e o desgaste da banda de rodagem dos pneus.

Foram definidas duas metas específicas para sustentar o desafio proposto: horas trabalhadas e desgaste da banda de rodagem dos pneus.

Onde que para a meta específica de horas trabalhadas, utilizamos o método da Lacuna, considerando os melhores valores de troca de cada pneu do equipamento. E para a meta específica de desgaste foi utilizada a média do valor (mm) de desgaste (taxa de desgaste) dos pneus com melhor performance histórica, criando-se assim uma referência para a retirada dos pneus do eixo dianteiro. O valor estabelecido foi de 17,1 mm.

2.3 Análise do Processo

Utilizado ferramenta brainstorming (Figura 6) para levantamento das causas potenciais foram levantadas 17 causas. Através diagrama de Ishikawa foi possível a relação entre a causa e o efeito do problema.

As causas foram priorizadas utilizando o FMEA (failure mode and effect analysis) [2], que permitiu a análise dos modos de falha e seus efeitos, permitindo relacionar as causas com os controles atuais e realizar a priorização seguindo os critérios de severidade, frequência e detecção. (Figura 7)

Figura 6. Brainstorming: Causas potenciais

BRAINSTORMING	
CAUSAS POTENCIAIS	
1	Agressões de objetos pontiagudos ou cortantes, que deixam marcas visíveis no local danificado
2	Geração de bolhas na lateral do pneu
3	Separação entre a borracha e a carcaça
4	Insuficiência de pressão
5	Velocidades elevadas
6	Sobrecarga
7	Arraste do pneu sobre o solo
8	Esterçar o equipamento parado
9	Excesso / insuficiência de pressão
10	Construção do pneu
11	Load and Carry
12	Aquecimento da roda
13	Excesso de torque
14	Corte
15	Impactos contra obstáculos cortantes
16	Martelamento excessivo do pneu
17	Contato com combustíveis, lubrificantes, óleo queimado, graxas, etc.

Figura 7. FMEA

FMEA TPM - CRCM (RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE)							
RPN - Severidade X Ocorrência X Detecção							
Modo Potencial de Falha (Potential Failure Mode)	Efeitos de Falhas Potenciais (Potential Failure Effects)	SEV	Potenciais Causas (Potential Causes)	FREQ	Controles Atuais (Current Controls)	DET	RPN
Corte atirado / lona	Retirar pneu para inserção preventiva.	10	Agrasões de objetos pontiagudos ou cortantes, que deixam marcas visíveis no local danificado	10	-Neste caso ocorrerá área de trabalho livre de depósitos, sujeira etc	10	100
Deslocamento (lateral)	Perda do pneu (suaviza)	10	Perda de bolhas na lateral do pneu	3	-Não exceder a capacidade nominal de carga -Verificar pressão regularmente -Manter o consumo à área de trabalho livre de depósitos e sujeira etc	4	120
Deslocamento (banda)	Perda do pneu (suaviza)	10	Separação entre a borracha e a carcaça	3	-Não exceder a capacidade nominal de carga -Verificar pressão regularmente -Manter o consumo à área de trabalho livre de depósitos e sujeira etc	4	120
Trinca no fundo da escultura	Atingimento dos blocos das lonas de topo	5	1- Load and Carry 2- Falta de alinhamento 3- Insuficiência de pressão 4- Arrastar 5- Excesso de equipamento parado 6- Esterçar o equipamento 7- Corte	5	1- Delimitar com lona e rebordos nas especificações Load and Carry 2- Não exceder a velocidade de trabalho do pneu 3- Verificar pressão regularmente 4- Não exceder a capacidade nominal de carga 5- Operar o equipamento em condições adequadas e equipamentos preventivos e parados em segurança 6- Manter o consumo à área de trabalho livre de depósitos e sujeira etc	3	75
Separação entre lona (têrmica)	Separação por ruptura da carcaça	10	1- Insuficiência de pressão 2- Falta de alinhamento 3- Arrastar	2	1- Verificar pressão regularmente 2- Não exceder a velocidade de trabalho do pneu 3- Não exceder a capacidade nominal de carga	3	60
Excesso ou baixa pressão	Aquecimento do pneu Corte do pneu Deformação irregular	10	1- Falta de alinhamento 2- Excesso de torque	5	1- Utilizar de dispositivos para redução de pressão 2- Usar pneus corretos	1	50
Aquecimento do pneu	Separação entre lona Geração de bolhas no pneu	5	1- Falta de alinhamento 2- Excesso / insuficiência de pressão 3- Load and Carry 4- Arrastar do pneu 5- Excesso de torque	5	1- Não exceder a velocidade de trabalho do pneu 2- Verificar pressão regularmente 3- Delimitar com lona e rebordos nas especificações Load and Carry 4- Não exceder a capacidade nominal de carga 5-	2	50
Separação entre lona (mecânica)	Separação por ruptura da carcaça	2	1- Excesso de torque 2- Insuficiência de pressão 3- Excesso de equipamento parado 4- Arrastar	9	1- Evitar fazer manobras bruscas e em alta velocidade 2- Verificar pressão regularmente 3- Manter o equipamento em condições adequadas e parados em segurança 4- Não exceder a capacidade nominal de carga	2	36
Ruptura da lona carcaça	Estrutura do pneu - crítico	10	1- Impactos contra obstáculos cortantes 2- Martelamento excessivo do pneu 3- Perda de alinhamento 4- Arrastar	1	1- Evitar passar por buracos e obstáculos em alta velocidade 2- Verificar pressão regularmente 3- Manter o consumo à área de trabalho livre de depósitos e sujeira etc 4- Não exceder a capacidade nominal de carga	2	20
Contaminação por derivados de hidrocarbonetos	Degradação da borracha	1	Contato com combustíveis, lubrificantes, óleo queimado, graxas, etc	1	1- Evitar contato com combustíveis, lubrificantes, óleo queimado, graxas, etc	1	1

Foram levantadas 5 causas potenciais, sendo elas:

- Agressões de objetos pontiagudos ou cortantes, que deixam marcas visíveis no local danificado;
- Geração de bolhas na lateral do pneu;
- Separação entre a borracha e a carcaça;
- Martelamento excessivo do pneu;
- Excesso ou insuficiência de pressão.

Para comprovar as causas priorizadas foi realizado a quantificação dos danos ocorridos nos pneus e levantamento fotográfico, comprovando as quatro primeiras causas mencionadas anteriormente.

* Contribuição técnica ao 72º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 17º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, parte integrante da ABM Week, realizada de 02 a 06 de outubro de 2017, São Paulo, SP, Brasil.

Para comprovação da causa levantada: excesso ou insuficiência de pressão, foi realizado uma pesquisa de Benchmark, afim de verificar qual operação similar, apresentava resultados de vida útil acima da recomendação do fabricante, e comparar então com a pressão de trabalho utilizado nos pneus em operação.

Identificamos uma operação similar na empresa Samarco, município de Mariana, onde a pressão praticada estava acima da usada nos processos de Água Limpa que seguia a recomendação do fabricante conforme manual, 94PSI. (Figura 8)

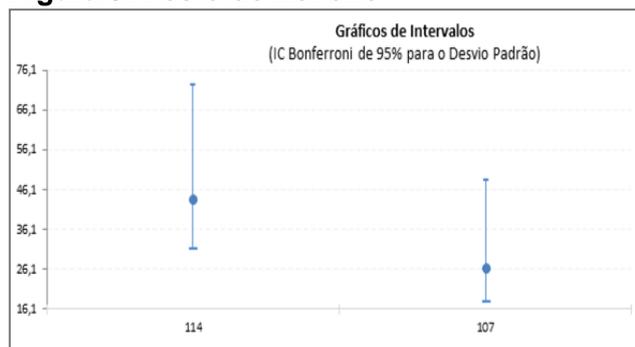
Figura 8. TECHNICAL DATA - EARTHMOVER tyres - 2012 EDITION [3]

45"		Machine - Utilization		bar	4	4,5	5	5,5	6	6,5				
				psi	58	65	73	80	87	94				
XLD D1 A * LAR XLD D2 A * LST XMINE D2 * LSR	LAR LST LSR	Loaders	Front laden	35500	38750	42500	44600	46750						
			Rear unladen	28400	31000	34000	35600	37400						
XLD D1 ** L4 XLD D2 ** L5 XMINE D2 ** L5	L4 L5 L5	Loaders	Front laden	35500	38750	42500	45000	47500	51500					
			Rear unladen	28400	31000	34000	36000	38000	41200					

Considerando essa diferença de pressão praticada, iniciamos um teste para verificar qual pressão ideal para os pneus. Avaliamos por um período as pressões de 107 e 114 PSI.

Optamos pela análise de variância [4], também chamada de ANOVA, utilizada para comprovar a diferença entre médias de duas ou mais condições do processo. O primeiro passo foi a realização do teste de LEVENE, que testa duas hipóteses para verificar a variabilidade do processo. O resultado do teste apresentou resultado de 0,098 e concluímos que não existe diferenças entre as variabilidades. (Figura 9)

Figura 9. Teste de Levene



Tipo		p-valor
	Média	0,034
	Mediana	0,098
	Média s/Extremos	0,034

Fatores	Média	Inferior	Superior	n
114	164,53	145,25	183,82	16,00
107	98,04	75,78	120,30	12,00

Com este resultado favorável foi possível dar continuidade no teste e realizar a análise de variância (comparação entre as médias), após os testes das duas hipóteses, o resultado foi 0, ou seja, pelo menos um processo apresenta média diferente dos demais. Indicando um melhor resultado como 114 PSI. Comprovando-se assim a causa relacionada à pressão.

Com esse teste foi possível determinar uma nova faixa de pressão de trabalho para os pneus em operação.

2.4 Estabelecimento do plano de ação

Para estabelecimento do plano de ação, usamos a ferramenta Brainstorming e realizamos o levantamento das possíveis soluções, relacionando com as causas comprovadas. Essas ações foram priorizadas obedecendo o seguinte critério: Complexidade, custo, impacto sobre a causa e prazo. Estabelecemos 20 ações conforme figura 10.

Figura 10. Plano de ação priorizado

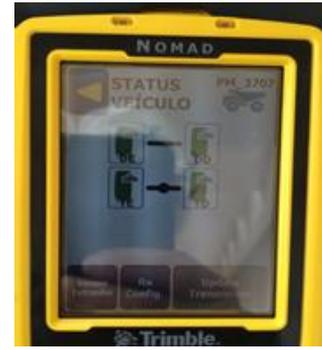
CAUSA	O quê Medida (O quê fazer?)	Quem? Quem irá fazer?	Quando? Quando será feito?	Como? Como será feito?	Onde? Onde será feito?
Geração de bolhas na lateral do pneu Separação entre a borracha e a carcaça	Instalar balança de pesagem de equipamentos de mina.	Fábio José	03/04/2015	Solicitar Michelin a disponibilidade da balança na Mina de Água Limpa	PCM
		Fábio José	06/04/2015	Transportar balança de Mariana para Água Limpa	COMPLEXO MARIANA
		Fábio José	28/04/2015	Instalação da balança	PCM
		Fábio José	04/05/2015	Testes de pesagem	PCM
		Fábio José	19/06/2015	Analisar resultado da pesagem realizada nas camagadeiras	PCM
Excesso / insuficiência de pressão	Visita Técnica a Samarco e Complexo Mariana para acompanhar operação e manutenção dos pneus de 992G/K	Amarsifey	15/05/2015	Agendar visita com o responsável de manutenção de pneus na empresa Samarco / Mina de Alegria	PCM
		Daniela Miranda Fábio José Jairo Martins	29/05/2015	Realizar visita técnica	SAMARCO
Excesso / insuficiência de pressão	Realizar teste de aumento da calibração do pneu dianteiro passando de 100 PSI para 110 PSI	Fábio	27/05/2015	Definir equipamento de teste	PCM
		Cristiane	02/06/2015	Solicitar à manutenção aferição da calibração dos pneus dianteiros (PM3659) OM 201501481022	OFICINA EGTOS MOVEIS
Geração de bolhas na lateral do pneu Separação entre a borracha e a carcaça	Reduzir a caçamba utilizada na PM3704 e PM3707 passando de 9,5m ³ PARA 8,5 M ³	Glaukon Ahes	02/06/2015	Enviar caçamba para redução na Sotref 13/04/2015 Retorno 29/06 02/06/2015 Retorno 23/07	PCM
		Juliana	31/07/2015	Aplicar caçamba reformada no equipamento	OFICINA EGTOS MOVEIS
Agressões de objetos pontiagudos ou cortantes, que deixam marcas visíveis no local danificado	Limitar a operação da PM3704 e PM3707 na alimentação da usina a base	Junio Oliveira	28/05/2015	Solicitar à operação de mina a alteração da frente de serviço dos equipamentos	PCM
Excesso / insuficiência de pressão	Teste no pneu da PM3704	Fábio	10/07/2015	Aterrar pressão de calibração de 100 PSI para 107PSI	PCM
		Daniela	17/07/2015	Elaborar informativo	PCM
Agressões de objetos pontiagudos ou cortantes, que deixam marcas visíveis no local danificado	Informar situação atual do pneu da PM3707 no equipamento (2714 hs)	Fábio	22/07/2015	Fixar no equipamento / Realizar diálogo comportamental com o operador	MINA
Excesso / insuficiência de pressão Geração de bolhas na lateral do pneu Separação entre a borracha e a carcaça	Acompanhar os pneus da PM3707 através do soft TPMS (Mems)	Fábio	03/08/2015	Utilizar aparelho PDA que registre temperatura e pressão dos pneus em tempo real	MINA
		Daniela	25/09/2015	Enviar solicitação com especificação para Gilmará / Tapsa	PCM
Excesso / insuficiência de pressão Geração de bolhas na lateral do pneu Separação entre a borracha e a carcaça	Solicitar no investimento 2016 orçamento para instalação do Soft TPMS (Mems) na frota de Camagadeiras 992G/K (hoje aplicado na PM3707)	Daniela	07/08/2015	Levantar registros fotográficos dos pneus de 992G/K em operação para elaboração do DSS Especial	PCM
		Daniela	07/08/2015	Elaborar DSS Especial para equipe de operação de mina divulgando o trabalho, o objetivo, a necessidade da colaboração de todos e situação atual dos pneus em operação (992G/K)	PCM
Agressões de objetos pontiagudos ou cortantes, que deixam marcas visíveis no local danificado	Divulgar à equipe de operação de mina o DSS Especial	Fleavano	14/08/2015	Divulgar em DSS e registrar em OJT	MINA
Excesso / insuficiência de pressão Agressões de objetos pontiagudos ou cortantes, que deixam marcas visíveis no local danificado	Elaborar controle sistemático de pressão / desgaste e condição de pista	Daniela	29/05/2015	Elaborar planilha de controle contendo as informações de coleta no ato da inspeção semanal (pressão / desgaste / condição da pista / condição do pneu) para controle semanal	PCM
		Daniela	29/05/2015	Registrar nos eventos ocorridos para que sejam investigadas as causas e tratadas as ações necessárias para evitar o dano	MINA
Agressões de objetos pontiagudos ou cortantes, que deixam marcas visíveis no local danificado Martelamento excessivo do pneu	Fazer análise de incidente de toda ocorrência relacionada a corte de pneu	Supervisores de Operação de Mina	Sempre que ocorrer corte em pneu dianteiro - 992G/K	Registrar nos eventos ocorridos para que sejam investigadas as causas e tratadas as ações necessárias para evitar o dano	MINA
		Supervisores de Operação de Mina	15/10/2015	Utilizando a PC 2009 para realização de camargamento	MINA

2.5 Implantação do plano de ação

Um cronograma detalhado de acompanhamento da execução das ações garante a efetividade das medidas necessárias. Através de reuniões semanais, a evolução de execução das ações foi acompanhada, concluindo todas dentro dos prazos estabelecidos.

Podemos destacar ações estruturantes como:

- Instalação de balança de pesagem: Utilizado para verificar sobrecarga nos equipamentos. (Figura 11)
- Redução de 02 caçambas de 9,5m³ para 8,5m³ (Figura 12)
- Utilização do aparelho PDA que permite acompanhar a pressão e temperatura do pneu. (Figura 13)

Figura 11. Balança pesagem**Figura 12.** Redução caçamba**Figura 13.** PDA

Algumas ações processuais foram importantes para melhora no processo como a adequação dos controles de inspeção / pneu e praça de trabalho. Permitindo um monitoramento sistemático e que atenda às necessidades do processo. Já citado anteriormente, foi alterado a calibração de pressão dos pneus para conforme o resultado do teste realizado (114 PSI)

Além disso, com resultados positivos tivemos ações voltadas ao comportamento dos operadores, entendendo que este é um fator que se destacou nas análises realizadas. O uso de ferramentas pró ativas como diálogos comportamentais, DSS especiais e a simples atitude de marcar em vermelho o comando dos pneus que está em operação, mas que apresentam algum tipo de dano, fez com que o operador se sentisse peça fundamental no projeto. Intuitivamente foi adotada uma operação com atenção redobrada permitindo o envolvimento de todos e fazendo com que o sentimento de dono motivasse os operadores a melhorar as condições operacionais. (Figura 14)

Figura 14. Marcação visual do comando final (componente mecânico) do pneu em operação que apresenta algum dano (corte / trinca) e que está sendo monitorado.



Sem dúvida o conjunto das ações estruturantes, processuais e comportamentais garantiu que bons resultados fossem percebidos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

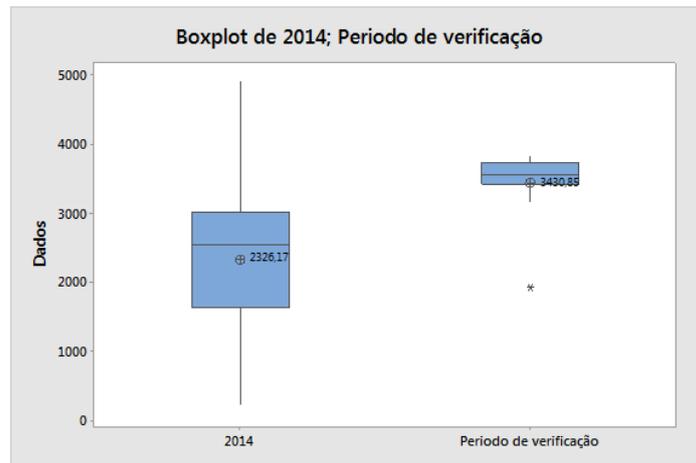
3.1 Verificação dos resultados

Após a implantação das 20 ações prioritizadas, e executadas até novembro de 2015, obteve-se o resultado conforme apresentado na Figura 15. Observa-se que o resultado é sólido, e se comprovou em um período acima da recomendação da metodologia Seis Sigma que indica um período de medição de 3 meses.

O resultado no período de verificação foi de 3.430 h para uma meta de 3.382 h. As metas específicas estabelecidas também foram superadas o que sustentou este resultado.

O projeto foi medido de set-15 a mar-16 (7 meses), onde os valores permaneceram acima da meta estabelecida.

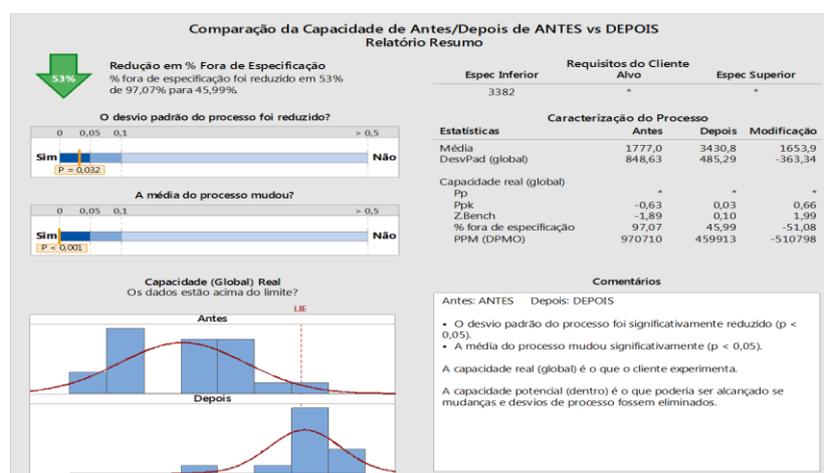
Figura 14. Boxplot de comparação dos resultados



Pela análise de desempenho podemos verificar o deslocamento da média e a diminuição da variabilidade. Tornando o processo mais estável.

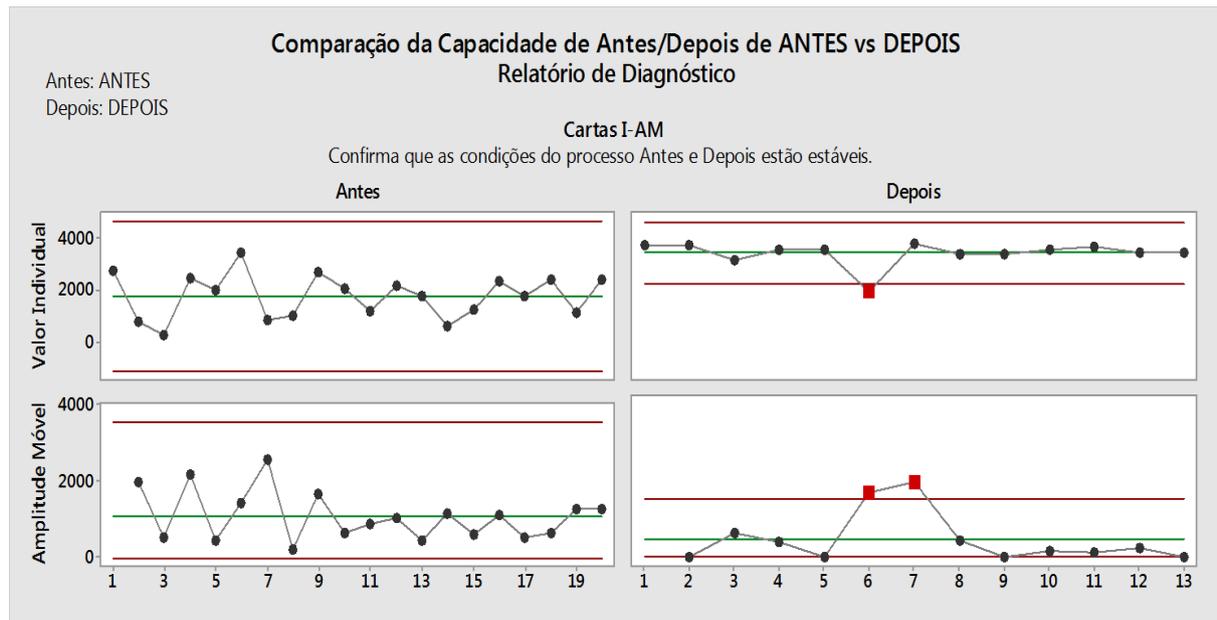
Pela comparação da capacidade percebemos que o desvio padrão foi significativamente reduzido, acompanhado do deslocamento da média para dentro do limite de especificação conforme Figura 15.

Figura 15. Comparação da capacidade (Antes / Depois)



Pela carta I-AM, percebemos a ocorrência de uma causa especial. Onde precisamos investigar. (Figura 16.)

Figura 16. Carta I-AM



A partir desta ocorrência foi realizado o teste T para uma amostra para comprovar se o valor alcançado deste pneu (de vida precoce) é igual ou diferente do comportamento da família. (Figura 17.) Como o valor de P é igual a 0, o comportamento do pneu não é igual ao comportamento da família.

Figura 17(a). Gráfico de CEP

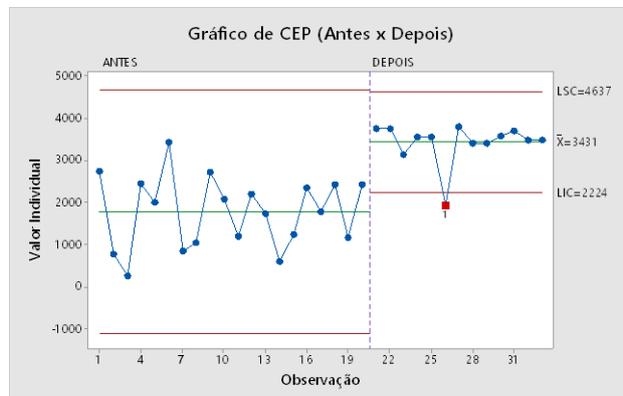


Figura 17 (b). Gráfico de valores individuais

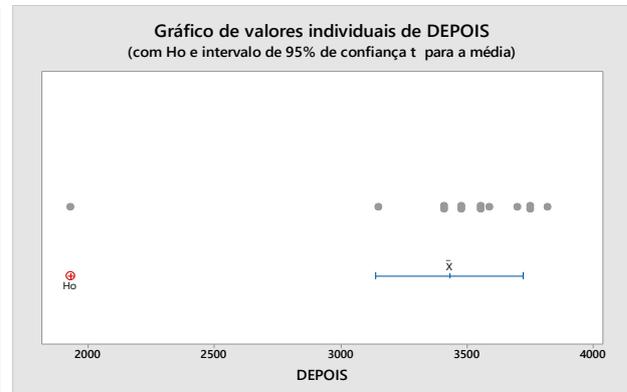


Gráfico de Probabilidade para HT 2014

Boxplot de HT 2014

Resultados de: Worksheet 1

Teste T para Uma Amostra: DEPOIS

Teste de $\mu = 1930$ versus $\neq 1930$

Variável	N	Média	DesvPad	EP	Média	IC de 95%	T	P
DEPOIS	13	3431	485	135	(3138; 3724)	11,15	0,000	

Gráfico de valores individuais de DEPOIS

Esta ocorrência foi tratada por uma análise de quase acidente (Figura 18.), por uma equipe multidisciplinar em novembro de 2015. O equipamento operava em um local que não oferecia boas condições com presença de pedras no local. Definido ações a

partir dessa ocorrência para que não volte a ocorrer, mesmo que este fato isolado não tenha afetado o resultado do projeto.

Figura 18. Análise de quase acidente

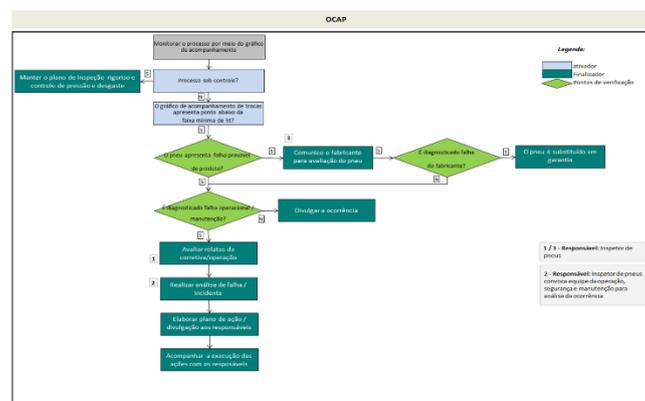
VALE ANEXO 09 - FORMULÁRIO DE NOTIFICAÇÃO DE INCIDENTE MATERIAL E QUASE ACIDENTE - LEVE OU MODERADO PRD-14533 Rev. 03-26/09/2014			
IMPACTOS			
HOUVE PERDA REAL OU POTENCIAL PARA SAÚDE E SEGURANÇA?	Real		
TIPO DE INCIDENTE (SAÚDE E SEGURANÇA)	Quase Acidente		
CLASSIFICAÇÃO DA PERDA (SAÚDE E SEGURANÇA)	Sem Consequência		
DADOS DE ESTRUTURA ORGANIZACIONAL E LOCALIDADE			
DIRETORIA	Diretoria de Ferrosos Sudeste	GERÊNCIA DE OPERAÇÕES	Gerência de Operações Minas Centrais
GERÊNCIA IMEDIATA	Gerência Operação Água Limpas	SUPERVISÃO	Fabrizio Martins
LOCAL DO INCIDENTE	Mina de Água Limpas - Praça alimentação IB	EMPRESA	Vale
DADOS DO INCIDENTE			
DATA DO INCIDENTE	17/11/2015	HORA DO INCIDENTE	17:00h
DESCRIÇÃO DETALHADA			
<p>No dia 17/11/2015 durante atividade carregamento de blocos com a PM 3660 na praça de alimentação da IB por volta das 17:00, ocorreu corte do pneu dianteiro lado direito do equipamento.</p> <p>Fatos constatados: O pneu foi enviado para avaliação do inspetor de pneu, onde foi constatado o referido corte, o mesmo foi encaminhado para reforma; Existência de excesso de blocos na praça de alimentação; Necessidade de retirada dos blocos para continuar a alimentação da IBMA; A praça não oferece condições de dobra de blocos; Para carregar os caminhões existia a necessidade da PM 3660 se locomover por vários metros em manobra de para carregar o caminhão; Os caminhões CA só conseguiram posicionar em paralelo a estrada principal.</p>			
DADOS DA CLASSIFICAÇÃO DO INCIDENTE			
RELAÇÃO COM O TRABALHO	Ocupacional	CLASSIFICAÇÃO DA ATIVIDADE	Controlada
TIPO DE SERVIÇO	Sem Consequência	RAC ASSOCIADO (2)	Não Aplicável
RAC ASSOCIADO	RAC 03 - Equipamentos Móveis		
SEVERIDADE			
REAL	MATERIAL	Sem Consequência	POTENCIAL
	QUASE	Leve	MATERIAL
			QUASE
			Moderada
			Leve
CAUSAS DE ACIDENTES (UTILIZAR A LISTA DE FATORES CONTRIBUINTES DO INCIDENTE - ANEXO 5 PARA CADASTRAR A CAUSA)			

3.1 Padronização e manutenção dos resultados

Na fase de padronização foram desenvolvidos novos indicadores para acompanhamento como as Trocas (ht) X Desgaste (mm) e quantificação dos danos por trimestre. Foram revisados os procedimentos operacionais. Elaborado procedimento de inspeção com definição de frequência de inspeção, check de itens relevantes e acompanhamento da pressão dos pneus que deve ser feito sistematicamente.

Para tratar as ações corretivas do processo foi elaborado o OCAP (**Figura 19.**), que serve de auxílio para a tomada de decisão. A partir do acompanhamento das trocas de pneu, qualquer ocorrência abaixo da vida esperada, deve seguir o fluxo definido, e registrado as alterações no processo por meio do diário de bordo.

Figura 19. OCAP



4 CONCLUSÃO

O projeto de elevação da vida útil dos pneus dianteiros da frota de carregadeiras Caterpillar 992G/K apresentou ganhos significativos nas metas específicas, e na meta geral, saindo de uma média histórica de 2.624 h para 3.382 h, superando a recomendação do fabricante de 3.000 h de operação do pneu no eixo dianteiro e atendendo a nossa meta orçamentária. Este ganho em horas trabalhadas, reflete diretamente em economia no custo da área, evitando um gasto de R\$ 352.784,44.

A estabilidade dos resultados, a melhoria dos procedimentos internos e o conhecimento das variáveis críticas do processo foram resultados que só poderiam ser alcançados com o comprometimento e engajamento da equipe. Para o sucesso de qualquer projeto, é necessário definir novas formas de trabalho e a aplicação correta da metodologia Seis Sigma permite a obtenção de resultados de forma planejada e clara.

Agradecimentos

Agradeço o sponsor André Carmo (Gerente de Operações) pelo incentivo e aprovação, à equipe da Manutenção da Mina de Água Limpa, ao supervisor Gener Pena, em especial ao inspetor de pneus, Fábio José, e à controladora/programadora Cristiane Gonçalves pelo apoio técnico, dedicação e disponibilidade de dados. Ao Luiz Gustavo da empresa Seta Desenvolvimento Gerencial pela consultoria metodológica e ao Gestor de Execução, Amarsirley Silva por acreditar e acompanhar o projeto em todas as fases, estimulando o progresso dos resultados.

REFERÊNCIAS

- 1 Caterpillar @ 2017 [acesso em 14 jun. Disponível em: http://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/wheel-loaders/large-wheel-loaders/1000028683.html
- 2 Helman, H. Andery P.R.P. (1995). Análise de Falhas (Aplicação dos Métodos FMEA e FTA). Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG
- 3 TECHNICAL DATA - EARTHMOVER tyres - 2012 EDITION
- 4 Aguiar S., Drumond F.B., Werkema, M.C.C. (1196). Análise de Variância: Comparação de várias situações. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG.