Estudo do uso de revestimento de carbeto de tungstênio em misturadores de minério

Projeto de Graduação

Departamento de Engenharia Mecânica

Aluno: Júlio Cesar Carneiro Junior

Matrícula: 1113549

Orientador: Marcos Venicius Soares Pereira

Rio de Janeiro, 30 de Junho de 2016

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me permitir a vida. A minha família, que sempre me apoiou em todas as minhas iniciativas e acreditou no meu potencial desde os meus primórdios acadêmicos. Minha mãe, meu pai e minha irmã tiveram um papel fundamental na concretização deste momento tão importante para nós e, sinceramente, não acredito que palavras seriam suficientes para demonstrar a minha gratidão.

Agradeço ao meu orientador, Marcos Venicius por ter aceitado me auxiliar na elaboração deste projeto. Sua tutoria foi fundamental para a realização deste trabalho. Fico muito grato de ter tido a possibilidade de trabalhar em conjunto com um especialista na área de comportamento mecânico dos materiais.

Ao grupo de pessoas da Vale que tive o prazer de conhecer e que possibilitaram a execução deste trabalho. Walter Shifer, Jael Moutinho, Jair Valfre, Fabio Carvalho e André Luiz Fernandes que agiram como fornecedores de conhecimento e equipamentos do mundo da pelletização.

Além das pessoas citadas, devo um enorme agradecimento aos meus amigos que me incentivaram, estudaram comigo, deram dicas sobre matérias e vivenciaram as dificuldades associadas a faculdade de engenharia mecânica comigo. Graças a eles, alavanquei minha capacidade de aprendizado e obtive resultados acima da média.

Por último, mas não menos importante, gostaria de agradecer a todas as pessoas que, de alguma maneira, me influenciaram e auxiliaram a chegar nesse momento tão especial. Sei que devo a todos e espero, com toda a sinceridade, ter a oportunidade de um dia retribuí-los.

RESUMO

Este projeto consiste em desenvolver revestimentos para chapas raspadoras de fundo de misturadores de minério na usina oito do complexo de Tubarão (Vale) e detalhar como é o processo de pelletização. As pelotas de minério de ferro, juntamente com o sinter e o minério granulado, constituem uma das matérias-primas básicas no processo de produção do ferro primário.

Em uma das etapas do processo de pelletização, utilizam-se misturadores de minérios. As chapas raspadoras atuais dos misturadores apresentam desgaste severo e uma vida útil prematura. Com o desenvolvimento das chapas revestidas de carbetto de tungstênio, tenta-se diminuir as paradas não programadas para manutenção dos equipamentos e, conseqüentemente, reduzir os custos e lucros cessantes associados as paradas não programadas.

Palavras-Chave: Mineração, pelletização, vida útil de equipamento, manutenção

ABSTRACT

This project is to develop coatings for scraping plates ore mixers fund in eight plant in the port of Tubarão (Vale) and detail how the pelletizing process . The iron ore pellets, sinter and together with the granulated ore is one of the basic raw materials of the primary iron production process.

In one of the stages of the pelletizing process, they use minerals mixers. Current Scraper plates mixers have severe wear and premature life. With the development of tungsten carbide coated plates, tries to reduce unscheduled downtime for equipment maintenance and, consequently, reduce costs and loss of profits associated with unscheduled stops.

Keywords: Mining, Pellotizing, life equipment, maintenance

Sumário

1. Introdução.....	1
1.1 Objetivo e motivação.....	1
1.2 Metodologia.....	2
2. Fundamentação Teórica.....	4
2.1 Minério de Ferro.....	4
2.2 Pelotas de Minério de Ferro	7
2.3 Processo de Pelotização.....	9
2.4 Misturadores de Minério de Ferro	12
3. Cenário e Desafios	15
4. Procedimento experimental.....	19
➤ Suportes das Chapas Raspadoras	19
➤ Chapas Raspadoras de Fundo do Misturador	20
4.1 Análise do Desgaste.....	21
4.2 Análise Química	22
4.3 Análise de Dureza.....	22
4.4 Análise de micrografia óptica	22
5. Resultados e Melhorias Alcançados	24
5.1 Análise do Degaste.....	24

5.2	Análise Química do material Carbetto de Tungstênio	25
5.3	Análise de Dureza	26
5.4	Análise de Micrografia Óptica	27
5.5	Comparação entre o raspador original e o testado	28
6.	Ganhos Financeiros.....	29
7	Conclusão/Sugestões.....	31
8	Referências bibliográficas	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - (a) Sínter; (b) Pelota	6
Figura 2 - Fluxograma com as etapas do processo de fabricação do aço	7
Figura 3 - Pelotas de minério de ferro	8
Figura 4 - Fluxo do Processo de Pelotização da Vale (Vitória).....	12
Figura 5 - Vista interna do misturador de minério da usina 8 de Tubarão	13
Figura 6 - Sistema de Mistura.....	13
Figura 7 - Misturadores da Usina 8.....	15
Figura 8 - Chapa raspadora atual	17
Figura 9 - Gráfico de acompanhamento de desgaste dos raspadores originais	24
Figura 10 - Gráfico de acompanhamento de desgaste dos raspadores desenvolvidos	25
Figura 11 - Análise química Via MEV EDX	26
Figura 12 - Valores de dureza.....	27
Figura 13 - Micrografia óptica das pastilhas	27
Figura 14 - Comparação entre a eficiência dos raspadores	28
Figura 15 - Ganhos financeiros	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados Técnicos dos Misturadores	21
Tabela 2 - Análise química da pastilha de CW (% em peso).....	25
Tabela 3 - Análise de dureza	26
Tabela 4 - Ganhos Financeiros	29

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

kg: Quilograma
T: Tonelada
h: Hora
rpm: Rotação por minuto
mm: Milímetros
m: Metros
l: Litros
kgf: Quilograma-força

1. Introdução

O processo de pelletização de minério de ferro foi criado inicialmente com o objetivo de aproveitar os finos de minério de ferro gerados durante sua produção e beneficiamento e que não eram aproveitados nos processos de redução, devido a sua dificuldade de manuseio e transporte, e principalmente, por diminuir a permeabilidade dos gases redutores no interior dos altos-fornos.

A pelletização consiste na mistura úmida de finos de minério de ferro concentrados na fração menor que 0,150 mm com quantidades pré-definidas de aglomerante, óxidos básicos e energéticos, seguida de rolamento em disco ou tambor que, pela ação da tensão superficial de capilaridade, promove a formação de um aglomerado esférico de tamanho entre 8 e 18 mm, as pelotas. Tais pelotas, depois de submetidas a um tratamento térmico específico, apresentam elevada resistência mecânica ao manuseio e propriedades metalúrgicas superiores, quando submetidas ao processo de redução.

Com a enorme e ainda crescente escala de produção das pelotas, pequenos ganhos de eficiência geram resultados consideráveis. Assim, equipamentos como os misturadores, são de extrema importância, pois sua parada pode gerar grandes perdas de produção. Visto isso, os materiais usualmente utilizados hoje para raspar o fundo do misturador apresentam um desgaste severo e, conseqüentemente, o tempo de vida do material muito abaixo do esperado. Portanto, é evidente que há a necessidade de desenvolver materiais com propriedades capazes de apresentar uma vida útil acima da atual.

1.1 Objetivo e motivação

O objetivo geral deste trabalho é estudar os benefícios dos revestimentos de carbetto de tungstênio para chapas raspadoras de fundo de misturadores de minério de ferro. Como

consequência, espera-se reduzir os custos operacionais e perdas de produção devido às paradas não programadas dos misturadores da usina 8 de pelletização do Complexo de Tubarão. Essas paradas não programadas são relativas ao desgaste prematuro das chapas raspadoras de fundo do misturador.

1.2 Metodologia

O presente trabalho é constituído de sete capítulos que visam detalhar o processo de obtenção de pelotas e o desenvolvimento das chapas revestidas de carbetto de tungstênio nos misturadores de minério. Nos parágrafos adiante, o escopo de cada capítulo será brevemente apresentado.

O primeiro capítulo se resume à descrição do que este projeto propõe e o motivo para a escolha deste tema. Pretende-se nesta seção, apresentar ao leitor as razões que me levaram a explorar esse assunto.

No segundo capítulo, serão apresentados conceitos básicos sobre o minério de ferro, as pelotas de minério de ferro, as principais etapas do processo de pelletização e a função do misturador. O objetivo desta seção introdutória é tornar o leitor mais familiarizado com o tema.

O capítulo terceiro revelará o cenário atual e os desafios encontrados para execução do projeto. Neste capítulo, também serão analisadas as características dos misturadores da usina 8 de pelletização de Tubarão.

No capítulo quatro, será apresentado todo o procedimento experimental para o teste da chapa revestida de carbetto de tungstênio, além de detalhar e apresentar os critérios que serão adotados para avaliar o projeto.

O quinto capítulo mostrará as melhorias e os resultados alcançados, analisando os critérios adotados no projeto.

No capítulo seis, serão apresentados os ganhos financeiros com a utilização dessa nova solução.

Finalmente, no sétimo capítulo, será escrita uma conclusão e sugestões com o intuito de ressaltar os principais pontos abordados durante a elaboração deste trabalho.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Minério de Ferro

O Brasil é o segundo maior produtor de minério de ferro do mundo, e a Companhia Vale S.A. é a maior produtora mundial da commodity, além de ser a maior produtora em pelotas, matérias-primas essenciais para a fabricação de aço (Vale, 2016).

Nos últimos anos, houve grande queda dos preços das commodities, principalmente do minério de ferro, com cotação abaixo de US\$ 50 a tonelada no mercado Chinês, principal consumidor da commodity (Vale,2016). Apesar disso, as maiores mineradoras mundiais continuarão ampliando a oferta, como por exemplo, o projeto S11D, maior projeto de mineração da Vale e do mundo, previsto para entrar em operação no último trimestre deste ano.

Tal situação ocorre pelo fato de que, na construção de casas, na fabricação de carros e na produção de eletrodomésticos, a cada dia necessita-se de mais matérias-primas para atender às necessidades da população. Qualquer atividade que envolva a metalurgia, a indústria química, a construção civil ou até mesmo o cultivo da terra utiliza os minerais ou seus derivados.

Mineral é toda substância sólida, inorgânica e cristalina, com composição química e propriedades físicas bem definidas, resultado de um processo geológico terrestre ou extraterrestre, sem intervenção humana. Minério é toda rocha constituída de um ou mais minerais valiosos, aproveitáveis economicamente. A parte mineral não aproveitável do minério é denominada ganga (LUZ,2010).

O minério de ferro é encontrado na natureza na forma de rochas, misturado a outros elementos. Como nem sempre estão na forma em que serão utilizados pelas indústrias, seja por sua granulometria ou por conter impurezas indesejáveis ao processo, os minérios de ferro

precisam passar pela etapa de beneficiamento. Esta etapa visa purificar o minério, modificar sua granulometria, a sua forma e a concentração química de suas espécies componentes, através de métodos físicos ou químicos, sem que haja alteração de sua constituição química. Por meio de diversos processos industriais com tecnologia de ponta, o minério é beneficiado para, posteriormente, ser vendido para as indústrias siderúrgicas.

O minério de ferro é lavrado a céu aberto na maioria das minas. Os produtos do beneficiamento têm características e granulometrias distintas – cada qual passará ou não por mais etapas de beneficiamento, dependendo de sua classificação, para posterior utilização (LUZ,2004). São eles:

- Granulado (Lump ore): tem granulometria entre 6,35 mm e 50,0 mm
- Sínter Feed: partículas com tamanho variando entre 0,149 mm e 6,35 mm
- Pellet Feed: partículas finas, com granulometria abaixo de 0,15 mm

Sínter feed e pellet feed geralmente não são utilizados diretamente nos fornos de redução devido a sua granulometria. Estes materiais passam por processos de aglomeração, chamados sinterização e pelotização, gerando respectivamente sínter e pelota (Figura 1). Os bolos de sínter têm estrutura irregular e muito porosa, e medem cerca de alguns centímetros. As pelotas são aproximadamente esféricas, com diâmetro de cerca de 12 mm, como no caso das produzidas pela Vale (VALE,2016). Isto proporciona a utilização destes finos de minério, que antes eram considerados rejeitos.

Figura 1 - (a) Sínter; (b) Pelota

A Figura 2 abaixo mostra o fluxograma com as etapas do processo de fabricação do aço a partir de tecnologias tradicionais, mostrando a rota do minério de ferro até o produto acabado. Em destaque na figura, encontra-se uma das matérias-primas do processo, a pelota, que é o produto final do processo de pelletização. Os produtos intermediários (ferro gusa e ferro-esponja) passam por outras etapas de refino, nas quais parte do carbono contido é removida, juntamente com impurezas, até chegar ao aço (SOARES,2012).

Figura 2 - Fluxograma com as etapas do processo de fabricação do aço

2.2 Pelotas de Minério de Ferro

A pelotização de minério de ferro é um processo relativamente novo em comparação com a história da mineração e metalurgia, que datam da idade da pedra. Desenvolvido no início do século XX, o processo de pelotização de minério de ferro foi criado inicialmente com o objetivo de aproveitar os finos de minério de ferro, antes considerados rejeitos, devido a sua pequena granulometria. Além disso, os materiais finos eram levados pelo fluxo de gases durante o processo de redução, gerando grande quantidade de emissão de poeira na atmosfera (MEYER,2000).

Figura 3 - Pelotas de minério de ferro

Por muitos anos, os minérios carregados nos altos-fornos eram britados e parcialmente classificados na mina ou nas usinas siderúrgicas e assim, enquanto a fração grosseira (lump ore) era carregada, a fração fina acumulava-se continuamente em pilhas e bacias, sem uso econômico viável. Naquela época, a busca pelo aproveitamento desta fração fina do minério de ferro foi importante para o desenvolvimento das tecnologias de aglomeração que conhecemos nos dias de hoje, como são os casos da Sinterização e Briquetagem. Neste contexto, inicialmente foi desenvolvido o processo de Sinterização, que aproveita os finos de minério de ferro, com distribuição granulométrica composta de frações de tamanho desde 1,0 mm até 0,15 mm. Após alguns anos, surgiu o processo de pelotização como uma alternativa à Sinterização, para aproveitamento das frações menores que 0,15 milímetros (MENDES,2009).

A primeira planta piloto de pelotização foi construída na Alemanha, após a Primeira Guerra Mundial, em 1926, e reconstruída em 1935, ainda na Alemanha. A partir da década de 1940, à medida que ocorria o desenvolvimento tecnológico da mineração de minério de ferro, o

processo de pelletização passou a ter um papel importante na rota de produção do aço, pelo descobrimento de seu potencial para agregação de valor na cadeia de produção, pela viabilidade da lavra e beneficiamento de minérios menos compactos, friáveis e de menor teor de ferro (MEYER,2000).

O volume de minério pelletizado no Brasil participa com 35% do mercado internacional de pelotas. A indústria brasileira de pelotas é competitiva tanto no mercado Europeu quanto no oriental. A abundância de minério de ferro e a capacidade de aproveitamento e do enriquecimento do minério de baixo teor são fatores que contribuem para que o Brasil seja competitivo (VALE,2016).

Portanto, pelotas são pequenas bolinhas de minério de ferro usadas na fabricação do aço. Elas são feitas com uma tecnologia que utiliza os finos gerados durante a extração do minério, antes considerados resíduos. Mas, antes, o minério passa por um alto-forno, que só funciona com a circulação do ar. Por esse motivo, o material precisa ser grande o suficiente para que haja espaço entre seus pedaços. Além disso, o minério deve ter resistência para não ser esmagado e obstruir o alto-forno. Assim, a produção de pelotas é fundamental para a fabricação do aço. Essa é a função da Usina 8 de Pelotização da Vale (Vitória).

2.3 Processo de Pelotização

O sistema de produção destas pequenas esferas começa com a extração de minério de ferro nas Minas. O fino do minério de ferro, denominado pellet-feed, chega aos pátios das unidades produtoras. Nos pátios são formadas pilhas que, posteriormente, são recuperadas e transportadas em correias para o processo da moagem (MENDES,2009).

A separação das matérias-primas busca adequar as características do minério de ferro (pellet-feed) às exigências para a produção de pelotas cruas. Nesse estágio, a mistura separada

para dar início ao processo de pelletização pode adquirir diferentes tipos de comportamento em função dos diferentes tipos de minérios e aditivos.

Normalmente, a maioria dos finos de minério de ferro que se encontram disponíveis em estado natural não está adequada ao processamento direto pela pelletização, sendo necessário submetê-los a um processo de preparação, visando o aumento do teor de ferro, a separação de constituintes indesejados, a adequação granulométrica às faixas de distribuição e a criação de superfícies específicas adequadas para a pelletização.

A etapa de formação de pelotas cruas, também denominada de pelotamento, é considerada uma das mais importantes do processo de pelletização. São fatores decisivos para a formação das pelotas cruas e suas propriedades: o teor de umidade da mistura, a forma, o tamanho médio, a distribuição granulométrica e a estrutura cristalina das partículas, a molhabilidade, a estrutura de poros dos grãos, as características químicas da mistura, além da natureza e quantidade do aglomerante utilizado, bem como o tipo de equipamento e condições operacionais adotadas.

Na etapa de pelotamento o minério de ferro recebe a adição de insumos, em proporções adequadas, para que as pelotas adquiram as características físicas e químicas especificadas para o processo. Os principais insumos utilizados são carvão mineral, calcário e bentonita. A carga que, além destes insumos contém ainda umidade, é homogeneizada e alimentada no disco de pelotamento, cujo movimento (no sentido horário de rotação) e inclinação adequada permitem o crescimento do aglomerado e, posteriormente, das pelotas (LUZ,2002).

O mecanismo de formação de pelotas cruas ocorre a partir de um fenômeno que envolve uma fase sólida e uma fase líquida. A fase sólida, caracterizada pela mistura de finos de minério, aditivos, e aglomerantes e a fase líquida pela água.

O processo físico de aglomeração é decorrente das forças mecânicas de compressão e

impacto do rolamento de partículas sólidas com água nos discos, sendo influenciada pela distribuição granulométrica, superfície específica e molhabilidade das partículas.

A produção das pelotas cruas é realizada geralmente em discos de pelotamento. Nestes, a carga é alimentada na extremidade mais elevada, onde os grãos de minério sofrem rolamentos sucessivos, numa trajetória espiral em direção à extremidade de descarga.

O processo de pelotamento em disco ocorre devido ao movimento de rotação. As partículas sólidas, que constituem a mistura, estão revestidas por uma película de água que se tocam com formação de pontes líquidas entre uma partícula e outra. As pontes líquidas existem devido à tensão superficial da fase líquida. Inicia-se então o crescimento e a formação das pelotas cruas.

A quantidade das pelotas cruas depende das seguintes variáveis: granulometria do pellet feed e dos insumos, umidade da alimentação. Dosagens dos aglomerantes, rotação e inclinação do disco pelotizador, taxa de alimentação, profundidade útil da panela e posição e condição de desgastes dos raspadores. Estas variáveis devem garantir o maior tempo de residência possível do material dentro do disco para que sejam produzidas pelotas com granulometria homogêneas e bem acabadas. Isso significa que a boa performance do processo de pelotamento resultará em um bom desempenho do processo de queima.

No processamento térmico das pelotas cruas são empregados basicamente três tipos de tecnologias, representadas pelos fornos de grelha móvel, forno rotativo e forno vertical. A escolha é feita em função de diversos critérios técnicos e econômicos que consideram desde a capacidade de produção das usinas de pelotização até as características mineralógicas dos minérios de ferro disponíveis.

A tecnologia mais utilizada para o processamento térmico de pelotas é a grelha móvel que corresponde a cerca de 60% de toda a produção mundial. A aplicação para minérios com

diferentes mineralogias e a produtividade em grande escala proporcionam um amplo aproveitamento dessa tecnologia. Na Figura 4 abaixo, é possível ver como funciona todo o processo de pelletização das usinas de Tubarão (VALE,2016).

Figura 4 - Fluxo do Processo de Pelotização da Vale (Vitória)

2.4 Misturadores de Minério de Ferro

A mistura constitui-se em uma importante etapa de controle de qualidade do material, pois, após a prensagem, é adicionado um material aglomerante para auxiliar na formação das pelotas cruas, permitindo identificar fatores que influenciam o comportamento das pelotas de minério de ferro nos processos de redução.

O sistema de mistura é composto por de três agitadores, sendo que dois giram em sentido anti-horário e um em sentido horário, além da cuba, que gira no sentido horário, como ilustrado na Figura 5. A agitação produz fluxo de material na horizontal e vertical.

Figura 5 - Vista interna do misturador de minério da usina 8 de Tubarão

Na Figura 6, é possível observar uma ilustração do funcionamento do misturador, com a cuba girando em sentido horário produzindo a mistura do material.

Figura 6 - Sistema de Mistura

As variáveis de controle do misturador são: dosagem de aglomerante (5,5 kg de bentonita por tonelada de minério ou 0,60 kg de aglomerante orgânico por tonelada de minério), taxa de alimentação (Nominal: 535 t/h – Projeto: 746 t/h), adição de água (não recomendada), velocidade de rotação da cuba (7,5 rpm), velocidade de rotação dos agitadores (agitador 1: 140 rpm, agitadores 2 e 3: 237 rpm), sentido de rotação da cuba e sentido de rotação dos agitadores.

3. Cenário e Desafios

Atualmente, existem na usina 8 de pelletização de Vitória dois misturadores que operam com seis placas de desgaste, sendo quatro suportes anti-horários e dois suportes horários cada, conforme mostrado na Figura 5. O desgaste dos componentes do misturador é normal, entretanto o funcionamento do equipamento com desgaste excessivo resulta em: acúmulo de material em seu interior, perda de produtividade e eficiência, maior consumo de energia e maior desgaste dos demais componentes. Os raspadores hoje utilizados apresentam uma vida útil de três meses e, por esse motivo, cada misturador é parado por oito horas quatro vezes ao ano para manutenção. Atualmente, os dois misturadores em conjunto produzem 550 toneladas por hora de operação.

Figura 7 - Misturadores da Usina 8

Os misturadores EIRICH da usina de pelletização do Complexo Industrial, constituem-se em componentes de vital importância dentro do processo de pelletização para atender a necessidade de funcionamento e garantia operacional da planta da Usina 8. Considerando que os raspadores convencionais, utilizados hoje nos misturadores modelo EIRICH, apresentam baixo desempenho devido ao desgaste prematuro que vem ocorrendo, onde sua vida útil está muito

abaixo das expectativas, inclusive utilizando chapas CDP (CastoDur Diamond Plates) como alternativas que duram em média noventa dias. CDP combina processos avançados para revestimentos. São constituídas por uma placa base de aço ao carbono macio tipo St-37 revestida com uma capa resistente ao desgaste obtida por um processo de soldagem refrigerado onde há precipitação de partículas duras. Além disso, esse revestimento possui uma configuração Xuperwave, configuração senoidal para romper a direção do fluxo abrasivo/erosivo.

Diante dos problemas ocasionados pelo precário funcionamento dos misturadores de finos, devido à severa abrasão nas peças originais (raspadores e em seus suportes), é necessário buscar materiais que possam atender às expectativas. Analisando alguns componentes originais, verificou-se que aquelas peças com modificações e melhorias, tanto no revestimento delas quanto da geometria construtiva, poderia obter maior vida útil e uniformidade de sua fabricação ao longo do tempo, dando tranquilidade funcional aos usuários e encarregados de manutenção.

Como o material usado hoje não possui a garantia operacional desejada, a necessidade de fazer novo desenvolvimento para atender a manutenção fica cada vez mais evidente. Portanto, é necessário buscar no mercado materiais com maior resistência ao desgaste e qualidade quanto à garantia operacional.

Desta forma, é possível afirmar que os raspadores aplicados nos dois misturadores são peças que estão sujeitas a desgastes severos, resultando em perda de produtividade por paradas constantes dos misturadores para fazer trocas e regulagens dos raspadores. Nas inspeções visuais realizadas nas paradas programadas dos misturadores, foi observado que os desgastes prematuros nos raspadores atuais implicam em alto custo de manutenção e perda de produção significativa.

Figura 8 - Chapa raspadora atual

Para minimizar esse desgaste severo e conseqüentemente as paradas não programadas, foi feito um estudo para utilização de chapas raspadoras revestidas de carbeto de tungstênio. Material muito denso e muito duro, o carboneto de tungstênio (WC) é apreciado para a fabricação de equipamentos, peças de desgaste e para algumas aplicações militares. As peças em carboneto de tungstênio são às vezes chamadas peças em carboneto sinterizado.

O Cobalto, na forma de pó, é misturado com o carboneto de tungstênio. Quando a mistura é aquecida, durante a sinterização, o cobalto derrete e enche os interstícios entre as partículas de carboneto de tungstênio (as quais não são afetadas pelo calor). Uma vez esfriado, o cobalto age como ligação. O Níquel pode ser usado como alternativa no cobalto para aplicações específicas.

O pó que surge da mistura do carboneto de tungstênio e do cobalto pode ser caracterizado através de dois parâmetros principais: a quantidade de cobalto e a granulometria. Estes parâmetros vão influenciar as propriedades mecânicas da peça fabricada. Um tamanho alto do grão de carboneto de tungstênio e uma porcentagem importante de cobalto conferirá uma resistência ao choque elevada para a peça. Por outro lado, um tamanho fino do grão do carboneto de tungstênio e uma baixa pequena porcentagem de cobalto aumentarão a dureza e a resistência ao desgaste da peça. Cada aplicação deve ser analisada para escolher o grau de carboneto de

tungstênio ótimo que oferecerá a melhor resistência ao desgaste, mostrando uma resistência ao choque aceitável. Uma vez o pó apertado e amoldando, a peça é consolidada por sinterização. Ela é esquentada a uma temperatura entre 1300°C e 1600°C (segundo o grau de carboneto de tungstênio). O cobalto liquidifica e difunde entre as partículas de carboneto de tungstênio. Ele agirá como ligação entre os grãos (os quais não são afetados nesta gama de temperatura).

4. Procedimento experimental

A metodologia para introdução da melhoria dentro do processo de teste de materiais busca englobar técnicas para capacitar as empresas em desenvolver produtos de melhor qualidade. Para isso, é necessário um conjunto de atividades que vai desde o levantamento dos requisitos da empresa, passando pela realização do desenvolvimento técnico, até o acompanhamento dos trabalhos realizados em campo, fazendo assim um ciclo de implantação da atividade para realizar o teste dentro da empresa com garantia operacional. É fundamental ter um processo de teste registrado (ST – Solicitação de teste). Esta metodologia é aplicada para acompanhar os testes de materiais desenvolvidos, aplicados, testados e analisados quanto a sua vida útil, como também a seu custo de implantação.

A comparação entre os materiais será baseada na resistência do material. Será mensurada em cima do valor da perda de massa por abrasão, obtido em análise de material conforme norma ASTM G65-04, método de teste padrão para medição de abrasão. Nesse caso, considera-se que um maior valor de resistência ao desgaste abrasivo, ou seja, uma maior diminuição no comprimento do raspador está ligada a uma maior perda de massa, e essa maior perda de massa indica menor vida útil do raspador instalado no misturador.

Com base em estudos e experiência na área de materiais, foram desenvolvidos pela engenharia da Vale, em conjunto com a empresa Motoliga, uma chapa raspadora e suportes revestidos a carbeto de tungstênio.

Abaixo podemos ver os compostos dos suportes e das chapas raspadoras que trabalham no sentido anti-horário e horário.

➤ Suportes das Chapas Raspadoras

Material base: Aço carbono SAE 1010/20, revestidas em toda a sua superfície de

trabalho em contato com o fino a se misturar com eletrodo ou vareta que depositará material à base de carbetos de tungstênio tipo “Haystellite 60” com 5 mm de espessura mínima. Estes Suportes construídos e revestidos deverão proporcionar excelente desempenho e vida útil das chapas nelas montadas.

➤ **Chapas Raspadoras de Fundo do Misturador**

Material base: Aço carbono 1010/20, revestidas com insertos de Carbetos de Tungstênio para resistir a mais severa abrasão com 14 mm de espessura. Estes insertos fabricados em liga CW + Co com CW acima de 85% na liga confere às peças onde aplicadas a mais elevada resistência à abrasão. Com isso, espera-se uma vida útil mínima de 12 meses, superando e muito a expectativa de vida útil das peças originais.

Todo projeto de engenharia deve seguir uma lista de parâmetros pré-estabelecidos que caracterizem a aprovação ou reprovação do material desenvolvido. Portanto, a elaboração desse desenvolvimento dependerá de alguns parâmetros essenciais para o novo revestimento na chapa raspadora. Dentre as técnicas mais comumente empregadas durante o processo de análise de um material, destacam-se: análise química, dureza, metalografia, análise macrográfica, ensaios de tração e de impacto, microscopia eletrônica de varredura e EDX, cálculos analíticos e simulações computacionais.

Os pontos abaixo revelam os principais critérios selecionados para avaliar a chapa raspadora revestida de carbetos de tungstênio:

- **Análise de desgaste**
- **Análise química**
- **Dureza**
- **Micrografia óptica**

O teste industrial será realizado em um dos misturadores da usina 8 e será comparado com as chapas raspadoras originais utilizadas no outro misturador durante um mesmo período de teste. Na Tabela 1, é possível verificar os dados técnicos dos dois misturadores.

Tabela 1 - Dados Técnicos dos Misturadores

Diâmetro:	3,1 m		
Altura:	1,5 m		
Carga útil:	4.570 l ou 11.340 kg (o menor valor)		
Densidade aparente nominal:	2,10 t/m ³		
Densidade aparente de projeto:	2,48 t/m ³		
Capacidade nominal:	537,37 t/h		
Capacidade de projeto:	746,33 t/h	(75% da produção nominal de PQ)	
	Nominal	Projeto	Estimada
Taxa de alimentação (t/h)	537,37	746,33	535,8
Densidade (t/m ³)	2,1	2,48	2,7
Nível	100%	100%	92%
Tempo de residência (s)	64	55	76

4.1 Análise do Desgaste

O desgaste é provocado pelo movimento relativo entre peças ou componentes em contato. Constitui uma das maiores fontes de redução da vida útil de máquinas e dispositivos industriais. O desgaste é um processo que dá origem a machucaduras e diminuição das superfícies que se movimentam, provocando a formação de resíduos que podem eventualmente produzir efeitos secundários diversos. É um fenômeno superficial em que ocorre deterioração de partículas por atrito. Constitui um sério fator de destruição, visto que as peças de máquina que se movimentam estão sujeitas a esse fenômeno.

Quanto à metodologia para análise de desgaste, foi feito um acompanhamento mensal para medir em milímetros a diminuição da chapa raspadora. Com isso, foi possível realizar uma comparação de desgaste entre os raspadores originais e os raspadores revestidos a carbeto de tungstênio. O material que apresentou um menor desgaste foi o que obteve uma vida útil maior.

4.2 Análise Química

Para se caracterizar as superfícies dos depósitos obtidos em relação a suas propriedades e composição, foi utilizada a técnica de MEV-EDX. A microscopia eletrônica de varredura, aliada à técnica de EDX (microsonda), é uma poderosa ferramenta utilizada nos processos de análises de falhas de componentes.

4.3 Análise de Dureza

Para análise de dureza deste trabalho, foi medido o valor de dureza Rockwell C, utilizando uma pré-carga de 10 kgf, uma carga maior de 150 kgf e um endentador cônico de diamante 120°. Os testes foram realizados de acordo com a norma ASTM E18-14, método de teste padrão para Rockwell dureza de materiais metálicos.

4.4 Análise de micrografia óptica

O ensaio de micrografia ótica consiste no estudo dos produtos metalúrgicos, com o auxílio do microscópio, onde se pode observar as fases presentes e identificar a granulação do material (tamanho de grão), o teor aproximado de carbono no aço, a natureza, a forma, a quantidade e a distribuição dos diversos constituintes ou de certas inclusões.

Para análise da amostra foi feito um corte transversal permite verificar: natureza do material, homogeneidade, a profundidade de têmperas, etc. Para facilitar o manuseio da amostra, foi feito o embutimento em baquelite. A sequência adotada de lixas para o trabalho é: 100, 220, 320, 400, 600 e 1200. Após o lixamento, foi feito o polimento que visa um acabamento

superficial polido isento de marcas. O processo adotado para o polimento será o mecânico-eletrolítico.

Para visualização dos contornos de grão e as diferentes fases na microestrutura, é necessário realizar um ataque químico. O reagente escolhido para esse teste foi o Nital 2%. Após o ataque, foi utilizado o microscópio óptico de reflexão para a análise da superfície da amostra através da reflexão da luz na superfície contrastada quimicamente.

5. Resultados e Melhorias Alcançadas

5.1 Análise do Degaste

Em agosto de 2015 as chapas raspadores de fundo do misturador originais e do material revestido a carbeto de tungstênio foram instaladas em cada um dos misturadores da Usina 8, dando início aos testes. Após o início do teste, foram realizados acompanhamentos mensais para verificar os desgastes no item original e no item desenvolvido, durante um período de 4 meses. Sendo M1 a chapa raspadora que gira no sentido horário, M2 e M3 as chapas raspadoras que giram no sentido anti-horário, podemos ver nos gráficos abaixo a comparação entre os desgastes em milímetros:

Figura 9 - Gráfico de acompanhamento de desgaste dos raspadores originais

Figura 10 - Gráfico de acompanhamento de desgaste dos raspadores desenvolvidos

Como é possível ver nos gráficos acima, as chapas raspadoras de fundo do misturador revestidas a carbeto de tungstênio apresentaram um desgaste, aproximadamente quatro vezes menor, portanto, é possível dizer que o raspador revestido irá apresentar uma vida útil muito maior do que o original do equipamento.

5.2 Análise Química do material Carbeto de Tungstênio

Os resultados da análise química podem ser vistos na Tabela 2 abaixo. Valores médios de três análises

Tabela 2 - Análise química da pastilha de CW (% em peso)

Identificação	C	Co	Cr	Ni	W
Pastilha de CW	7,36	7,12	0,61	2,65	Bal

A análise via MEV-EDX pode ser vista na Figura 11 a seguir:

Figura 11 - Análise química Via MEV EDX

A especificação química do material que é esperado nas pastilhas dos raspadores do misturador da Usina 8 pode ser vista abaixo:

- Pastilhas de Carbetto de Tungstênio ligado com Cobalto (CW + Co);
- CW > 85%;
- Co Balanço.

Portanto, a análise química evidencia que a amostra da pastilha apresentou composição compatível com a esperada.

5.3 Análise de Dureza

O resultado da análise de dureza pode ser visto na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 - Análise de dureza

Identificação	Tipo	Medidas					Média
Pastilha de CW	HRC	62	62	62	62	62	62

A dureza esperada para essa amostra é de 88,5 Rocwell A, e o material apresentou uma dureza menor do que a esperada, porém, dentro do limite de tolerância. Os valores de dureza

foram convertidos de acordo com a norma ASTM A370-14, método de ensaio normalizado e definições para ensaios mecânicos de produtos siderúrgicos, para fins de comparação.

Dureza Rockwell "C"	Dureza Brinell	Dureza Vickers	Dureza Rockwell "A"
HRC	HB	HV	HRA
65	739	832	83,9
64	722	800	83,4
63	705	772	82,8
62	688	746	82,3
61	670	720	81,8
60	654	697	81,2

Figura 12 - Valores de dureza

5.4 Análise de Micrografia Óptica

Figura 13 - Micrografia óptica das pastilhas

A análise de micrografia óptica indica uma microestrutura de carbeto de tungstênio sinterizados em matriz de cobalto e níquel.

5.5 Comparação entre o raspador original e o testado

Figura 14 - Comparação entre a eficiência dos raspadores

Como é possível ver na Figura 14, o teste entre os raspadores mostrou que o raspador desenvolvido é muito mais eficiente, pois não há material acumulado no fundo do misturador.

6. Ganhos Financeiros

Atualmente, existem na sina 8 de pelotização de Vitória dois misturadores que operam com seis placas de desgaste, quatro suportes anti-horários e dois suportes horários cada. Os itens utilizados anteriormente apresentavam uma vida útil de três meses e, por esse motivo, cada misturador é parado por oito horas quatro vezes ao ano para manutenção (substituição dos componentes). Os dois misturadores em conjunto produzem 550 toneladas por hora de operação. Com a implementação dessa solução, foi possível reduzir o número de paradas para apenas uma por ano.

Tabela 4 - Ganhos Financeiros

Antes		Depois	
Quantidade de Misturadores em operação	2	Quantidade de Misturadores em operação	2
Produção por misturador (toneladas/hora)	550	Produção por misturador (toneladas/hora)	550
Valor da pelota* (USD/tonelada)	\$75.89	Valor da pelota* (USD/tonelada)	\$75.89
Tempo gasto por troca (Horas)	8	Tempo gasto por troca (Horas)	8
Quantidade anual de trocas	4	Quantidade anual de trocas	1
Perda anual de produção (USD)		2671328.00	
		Perda anual de produção (USD)	
		667832.00	
		Redução de Custos	
		2.003.496,00	

*Valor da pelota de acordo com o relatório do quarto trimestre de 2015 da Vale

Figura 15 - Ganhos financeiros

Com a implementação dessa solução, foi possível reduzir a perda de produção, devido ao desgaste prematuro desses componentes, em 2 milhões de dólares por ano, como podemos ver no

Gráfico 15 acima.

Além disso, essa menor incidência de parada para troca das chapas raspadoras de fundo do misturador, irá trazer maior disponibilidade de equipamentos para operação e uma redução de custos devido à mão de obra, porém o ganho mais significativo é em relação ao aumento de produtividade.

7 Conclusão/Sugestões

De uma maneira geral, podemos concluir que existe uma grande gama de oportunidades no segmento de mineração no Brasil. Dentro dessas diversas oportunidades, optou-se por tentar diminuir os custos com paradas não programadas dos misturadores de minérios.

Portanto, podemos dizer que, dentro dos parâmetros considerados no teste, nossos objetivos foram alcançados, mostrando que o material apresentou excelente resultado quanto ao desgaste nos quatro meses de operação, comparando com os raspadores atuais que estavam sendo utilizados nos misturadores.

Conforme as análises comparativas em relação à especificada, verificou-se que a amostra da pastilha em carbeto de tungstênio, utilizada no raspador do misturador da Usina 8, apresentou valor de dureza dentro da faixa especificada e foi considerada aprovada para esse tipo de aplicação com excelente resultado.

Foi observado também que a composição química do material está dentro da faixa especificada na análise micrografia, comprovando que o material utilizado possui uma microestrutura de carbeto de tungstênio, sinterizados em matriz de cobalto e níquel.

Considerando que os resultados obtidos foram aprovados, podemos afirmar que este novo material passará a ser utilizado dentro do Complexo de Pelotização na Usina 8.

Como sugestão de próximos passos, proponho a implementação dos raspadores de fundo do misturador, revestido a carbeto de tungstênio no outro misturador, onde se justifica pelo fato dos ganhos apresentados como: redução de mão de obra e de paradas não programadas para troca dos raspadores por desgaste prematuro, economia na redução do consumo de materiais e maior produtividade da planta por causa do menor numero de paradas dos misturadores para fazer manutenção.

Além disso, continuar o acompanhando técnico das chapas raspadores de fundo do

misturador de minério de ferro para verificar se o desempenho do material implementado continua correspondendo as expectativas e controlar a altura dos raspadores para que não haja acúmulo de material.

8 Referências bibliográficas

- VALE; Disponível: http://www.vale.com/PT/investors/information-market/Press-Releases/ReleaseDocuments/PREPORT1T16_p.pdf; Acessado em: 28 de maio de 2016
- LUZ, A.B; SAMPAIO, J.A; FRANÇA, S.A. Tratamento de Minérios. 5ª ed. Rio de Janeiro, 2010.
- LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. Introdução ao Tratamento de Minérios. Comunicação Técnica elaborada para a 4a Edição do Livro de Tratamento de Minérios, p. 3-16, 2004.
- SOARES, KAREN; Disponível: http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=21365@1&msg=28; Acessado em: 10 de Maio de 2016
- MEYER, K. Pelletizing of Iron Ores. Alemanha, 2000.
- MENDES, J.J. Influência da adição da lama fina de aciaria a oxigênio nas características físicas e microestruturais de pelotas queimadas de minério de ferro. Ouro Preto, 2009.
- LUZ, A. B.; et al. Tratamento de Minérios. CETEM. Rio de Janeiro – RJ, 2002.