

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico  
**Evento:** VI Seminário de Inovação e Tecnologia

## **ANÁLISE COMPARATIVA DE MATERIAIS RESISTENTES À ABRASÃO PARA CANALIZAÇÕES AGRÍCOLAS<sup>1</sup>**

**Patricia Carolina Pedrali<sup>2</sup>, Maicon Silveira<sup>3</sup>, Manfred Litz<sup>4</sup>.**

<sup>1</sup> Trabalho de Conclusão de Curso - Engenharia Mecânica

<sup>2</sup> Professora do Curso de Engenharia Mecânica

<sup>3</sup> Aluno do curso de Engenharia Mecânica

<sup>4</sup> Professor do curso de Engenharia Mecânica

### **1. INTRODUÇÃO**

Diante do grande déficit na armazenagem de grãos no Brasil, que segundo o Ministério da Agricultura (Mapa) a capacidade de armazenagem estática de grãos no país em 2014 é 20% menor do que as 190 milhões de toneladas estimadas para a safra brasileira de 2014/2015. Com esta crescente demanda de armazenagem e escoamento da produção no Brasil, aliada com a liberação de recursos e incentivos por parte do governo federal, as empresas do ramo Metal Mecânico com atuação no segmento de movimentação de graneis, estão cada vez mais alocando recursos para a pesquisa e inovação de seus produtos, aumentando sua capacidade e tecnologia empregada.

Quando se fala em armazenagem de grãos, os primeiros equipamentos que são lembrados são os silos e os armazéns graneleiros, no entanto poucos sabem que existem muitos outros equipamentos interagindo com os silos antes do armazenamento final, tais como moegas, transportadores (verticais e horizontais), máquina de limpeza e secagem, além das canalizações agrícolas. A Canalização é um dos principais componentes para o escoamento de cereais em uma unidade armazenadora, tendo como finalidade principal realizar o manejo de grãos na entrada e saída dos transportadores até a armazenagem ou expedição.

Neste contexto o presente trabalho, irá abordar uma análise do mecanismo de desgaste abrasivo provocado pelo elevado fluxo de grãos (arroz e soja) no interior de uma canalização agrícola de cereais, de modo a pesquisar e comparar os materiais mais utilizados pela indústria metal mecânica, através de testes normatizados, encontrando uma alternativa viável para o efeito de desgaste prematuro das canalizações.

### **2.Revisão Bibliográfica**

#### **2.1 MECANISMO DE DESGASTE**

O desgaste é principalmente de natureza mecânica, mas reações químicas podem também estar envolvidos. (DUCTILE IRON SOCIETY, 2004). O desgaste é um fenômeno complexo, e pode incluir um ou mais dos seguintes mecanismos: (DUCTILE IRON SOCIETY, 2004):

Desgaste abrasivo: Causado pela remoção de material de um corpo, devido ao contato com um corpo mais duro;

&#61623; Desgaste adesivo ou de desgaste por fricção: Causado pelo contato de deslizamento relativo de dois corpos;

&#61623; Desgaste por fricção ou fadiga: Resultante de tensões cíclicas causadas pelo movimento relativo de dois corpos em contato;

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** VI Seminário de Inovação e Tecnologia

• Desgaste por cavitação: Causado pelo movimento de um fluido a alta velocidade ao longo da superfície de um corpo;

Já Bayer (1994), afirma que existem pelo menos três modos em que o desgaste pode ser classificado.

• Pela aparência dos vestígios de dano: Sulcamentos, cavacos, lascamentos, riscamentos, polimentos, fissuras e trincas, entre outros;

• Pelos mecanismos físico-químicos que causam a perda de material: adesão, abrasão, delaminação e oxidação;

• Pelas condições onde o desgaste ocorreu: desgaste lubrificado ou não lubrificado, desgaste por deslizamento metal-metal, desgaste por rolamento, desgaste por deslizamento em alta tensão, desgaste metálico em altas temperaturas, etc. Os modos de desgaste podem ocorrer através de diversos mecanismos. Os mecanismos de desgaste são descritos pela consideração de mudanças complexas na superfície durante o movimento. Em geral, o desgaste ocorre através de mais de um modo, portanto a compreensão de cada mecanismo de desgaste em cada modo se torna importante.

## 2.2 CANALIZAÇÃO AGRÍCOLA PARA CEREAIS

Conforme Milman (2002), canalizações agrícolas são acessórios que interligam o fluxo de grãos entre máquinas e equipamentos utilizados em seu beneficiamento. Compõem-se basicamente de canos, curvas, registros manuais/pneumáticos, bifurcadas manuais/pneumáticas, entradas e saídas especiais para transportadores, reduções e demais acessórios para movimentação e manejo de grãos em uma unidade armazenadora. Define-se movimentação de grãos, como sendo a transferência de uma massa de grãos de um ponto a outro em qualquer direção ou sentido, com o menor dano mecânico possível. (MILMAN, 2002).

Os dutos ou canalizações, podem ser classificados como transportadores gravitacionais, ou seja os grãos se movimentam apenas pela ação da gravidade sem que seja necessária qualquer fonte motora, apesar dos grãos adquirirem energia potencial para possibilitar o fluxo. (MILMAN, 2002).

Segundo Milman (2002), para que seja possível realizar o deslocamento do produto no interior das canalizações com eficiência, deve ser levado em

consideração alguns fatores ligados ao transporte por gravidade, dentre eles pode-se citar:

• Ângulo de repouso dos grãos: o fluxo de escoamento dos grãos através das tubulações é inversamente proporcional ao ângulo de repouso ou talude natural dos grãos; menor ângulo de repouso, maior fluxo;

• Material de constituição dos tubos ou calhas: quanto mais lisas forem as superfícies das tubulações, mais fica favorecido o fluxo de grãos pelo seu interior, superfície mais lisa, maior fluxo;

• Vibração dos Canos ou Calhas: o fluxo de grãos no interior das tubulações fica favorecido pela vibração das tubulações, maior vibração, maior fluxo;

• Inclinação dos tubos ou calhas: a inclinação das tubulações é diretamente proporcional ao fluxo de escoamento dos grãos no seu interior, maior inclinação, maior fluxo;

Devido a estes fatores, as canalizações agrícolas ou transportadores gravitacionais, devem ser projetados considerando a inclinação necessária para cada produto, de modo que os grãos escoem por naturalidade (sem intervenção mecânica).

## 3. Metodologia

### 3.1 MÉTODO DE ENSAIO DE ABRASÃO EM METAIS

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** VI Seminário de Inovação e Tecnologia

A Norma ASTM G65-04 (2010) define os requisitos e métodos de teste padrão para medição da abrasão utilizando o aparelho roda de borracha com areia seca. O equipamento é o mais utilizado para ensaios de abrasão a baixa tensão. O seu princípio de funcionamento consiste em esmerilhar um corpo de prova padronizado, com areia cujo tamanho de grão e a composição são controlados. O abrasivo é introduzido entre o corpo de prova e um anel de borracha de dureza especificada, provocando o riscamento do corpo de prova. (ASTM G 65-04, 2010). O procedimento utiliza de partículas abrasivas de quartzo seca, ASF 50/70,

com fluxo contínuo de 300 a 400 g/min, entre as superfícies da amostra e da roda de borracha (material estireno-butadieno de dureza especificada 60 Shore). ASTM G 65-04, 2010). A amostra é fixada a um sistema de alavanca que permite a aplicação de uma

força normal à amostra via peso morto, enquanto o fluxo de abrasivo escoar por gravidade através de um tubo até a interface de desgaste, permitindo somente a presença de abrasivo novo durante a realização do ensaio de desgaste. A configuração deste sistema, permite a aplicação de alta carga e utilização de um contra-corpo com baixa dureza, promove o deslizamento das partículas abrasivas na interface de desgaste. Os eventos resultantes da movimentação das partículas abrasivas apresentam um forte direcionamento de acordo com o movimento do contra-corpo. (ASTM G 65-04, 2010).

O ensaio pelo método A, tem a duração de 30 minutos, totalizando 6000 rotações e uma distância linear de desgaste abrasivo de 4039m. A Figura 1 representa o dispositivo padronizado para realização dos testes de roda de borracha, detalhando os componentes necessários para o método. (ASTM G 65-04,2010). O desgaste é quantificado via perda de massa pela pesagem dos corpos de prova antes e após o ensaio.

FIGURA1

### 3.2 MÉTODO DE ENSAIO DE ABRASÃO EM POLÍMEROS

A Norma ABNT NBR 14922 (2005) define os requisitos e métodos de ensaios de materiais de ultra alto peso molecular. O método de avaliação da resistência a abrasão consiste na geração de uma ação abrasiva de alta capacidade de desgaste à temperatura ambiente, sem impacto e sem tensionamento, semelhante à das aplicações mecânicas mais comuns. (ABNT

NBR 14922, 2005). O corpo-de-prova é preso a uma haste que gira em uma suspensão de areia em água por tempo suficiente para gerar uma perda por desgaste, procedimento

realizado no equipamento representado na Figura 2. Para cada material, a abrasão é medida por perda de peso e convertida em perda volumétrica pela sua densidade. (ABNT NBR 14922, 2005). O ensaio gera resultados adimensionais de desgaste volumétrico relativo a um padrão de aço-carbono tipo SAE 1020, cujo índice é igual a 100. Um índice menor que 100 indica que o material é mais resistente que o padrão. Quanto menor for este índice, maior será a resistência ao desgaste por abrasão do material.

FIGURA2

### 3.3 MATERIAIS

Para fins de realizar a análise comparativa entre diferentes materiais com relação às suas propriedades ao desgaste abrasivo, foram testados 9 materiais diferentes sendo 5 metais, e 4 polímeros.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 RESULTADOS EM AÇO

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico  
**Evento:** VI Seminário de Inovação e Tecnologia

Foram enviadas ao laboratório 5 corpos de prova por amostragem (tipo de material), sendo adotado pela CCDM a realização de 3 ensaios por amostra para realização de média de perda de massa, totalizando 15 ensaios. A Tabela 1 abaixo especifica os valores de perda de massa (mg) e perda volumétrica (mm<sup>3</sup>), obtidos para cada material.

| Material              | Densidade do aço | Peso Inicial (mg) | Peso Final (mg) | Perda de massa (mg) | Perda volumétrica (mm <sup>3</sup> ) | Desvio padrão |
|-----------------------|------------------|-------------------|-----------------|---------------------|--------------------------------------|---------------|
| MET 150484 (SAE 1008) | 7.872            | 48591,8           | 48190,8         | 401                 | 50,94                                | 12            |
| MET 150483 (ASTM A36) | 7.860            | 38148,1           | 37847,1         | 301                 | 38,29                                | 13            |
| MET 150486 (SAE 1345) | 7,85             | 28491,2           | 28349,2         | 142                 | 17,96                                | 5             |
| MET 150485 (SAE 1045) | 7.850            | 43673,6           | 43511,6         | 162                 | 20,63                                | 6             |
| MET 150482 (RAEX 500) | 7,85             | 43699,3           | 43561,3         | 138                 | 17,58                                | 4             |

Fonte: Autor (2016).

Tabela 1 - Resultado dos ensaios abrasivos em aços

#### 4.2 ENSAIO EM POLIMEROS

Do mesmo modo que nos ensaios realizados em metais, os corpos de prova foram previamente preparados conforme norma. A Tabela 2 abaixo especifica os valores de perda de massa, perda volumétrica, e índice de abrasão obtidos para cada material.

| Material   | Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) | Peso Inicial (g) | Peso Inicial (mg) | Peso Final (g) | Peso Final (mg) | Perda de massa (g) | Perda de massa (mg) | Perda volumétrica (mm <sup>3</sup> ) | Índice de Abrasão "IA" | Desvio padrão (mg) |
|------------|--------------------------------|------------------|-------------------|----------------|-----------------|--------------------|---------------------|--------------------------------------|------------------------|--------------------|
| UHMW       | 0,95                           | 6,2429           | 6242,9            | 6,1325         | 6132,5          | 0,1104             | 110,4               | 116,21                               | 122,97                 | 5                  |
| Nylon      | 1,14                           | 10,0689          | 10068,9           | 9,8527         | 9852,7          | 0,2162             | 216,2               | 189,65                               | 200,68                 | 8                  |
| Rhino Hyde | 1,24                           | 14,8815          | 14881,5           | 14,8298        | 14829,8         | 0,0517             | 51,7                | 41,69                                | 44,12                  | 11                 |
| Ureplay    | 1,11                           | 9,7982           | 9798,2            | 9,7616         | 9761,6          | 0,0366             | 36,6                | 32,97                                | 34,89                  | 4                  |
| Aço 1020   | 7,86                           | 53,5242          | 53524,2           | 52,7814        | 52781,4         | 0,7428             | 742,8               | 94,50                                | 100                    | 7                  |

Fonte: Autor (2016).

Tabela 2 - Resultado dos ensaios abrasivos em polímeros

#### 4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Entre os materiais metálicos testados, se destacaram o aço RAEX 500 com perda volumétrica de 17,58mm<sup>3</sup>, seguido do aço SAE 1345 com perda volumétrica de 17,96mm<sup>3</sup>. Este resultado comprova as características repassadas pelos fabricantes (siderúrgicas) quando a superioridade da resistência a abrasão destes materiais. Pode-se comprovar, pelos resultados obtidos que as ligas

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** VI Seminário de Inovação e Tecnologia

metálicas de C-Mn em porcentagens maiores, propiciam o aumento da resistência a abrasão do aço, conforme descrito na literatura de Chiaverine (1988). Comprovou-se que as propriedades de resistência mecânica e dureza interferem diretamente na resistência a abrasão do aço, ou seja quanto mais elevada propicia menor desgaste abrasivo, de acordo com a literatura pesquisada em Chiaverine (1988). Entre os materiais polímeros testados, se destacaram o material Ureplay com perda volumétrica de 32,97mm<sup>3</sup>, seguido do material Rhino Hyde com perda volumétrica de 41,69mm<sup>3</sup>. Estes resultados comprovam as características especiais repassadas pelos fabricantes quando a superioridade da resistência a abrasão destes materiais.

Como a composição química (porcentagem dos elementos), e as variáveis do processo de fabricação destes materiais não são divulgadas pelos fabricantes devido a elevada competitividade de mercado, não é possível verificar quais são os elementos (aditivos, cargas) que proporcionaram o diferencial no resultado relacionado ao desgaste abrasivo.

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nos ensaios realizados mostram compatibilidade com as informações coletadas durante a pesquisa bibliográfica, principalmente com relação aos aços, onde a resistência mecânica, dureza e ligações químicas C-Mn sob altas taxas, interferem diretamente nas propriedades abrasivas do material. Quanto aos polímeros devido a não se ter informações dos elementos e percentual de cargas e aditivos, presente em cada material, não é possível identificar as propriedades que tornaram os materiais Ureplay e Rhino Hyde superiores. No entanto os resultados comprovam a eficiência perante a abrasão dos materiais repassadas pelos fabricantes.

Com relação ao desgaste prematuro das canalizações, a bibliografia pesquisada especifica que o desgaste ocorre em nível microestrutural devido ao deslocamento de material causado por partículas com alta dureza, criando tensões de compressão que quando concentradas causam fratura frágil no material, desprendendo partículas de aço através de microtrincas. Estes efeitos são minimizados tornando a superfície de ataque polida e com alta dureza superficial. Os polímeros por sua vez apresentam propriedades que auxiliam na amortização do impacto e no deslizamento dos grãos, minimizando o atrito e conseqüentemente o desgaste abrasivo.

A análise realizada foi de caráter comparativo, sendo que os métodos adotados para comparação entre os materiais, diz respeito a variável comum (perda volumétrica em mm<sup>3</sup>) entre os 2 tipos de ensaios realizados (metais e polímeros), ou seja mesmo que alguns revestimentos possibilitem uma melhora no tempo de duração da canalização, não representam um ganho real aos consumidores finais.

Por fim, conclui-se que para aplicação em canalizações redondas as melhores soluções entre as testadas, considerando perda volumétrica e viabilidade econômica são a utilização do SAE 1345 sem revestimento, e SAE 1045 com revestimento Ureplay. Para canalizações quadradas as melhores soluções entre as testadas são a utilização de SAE 1345 com revestimento Ureplay, e RAEX 500 sem revestimento. As quais devem ser comprovadas perante ensaios práticos em campo, onde a situação real pode ser simulada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 14922. Semi-acabados de UHMW - Requisitos e métodos de ensaio, 2005.

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico  
**Evento:** VI Seminário de Inovação e Tecnologia

ASHBY, Michael F. Materials Selection in Mechanical Design. 3ª edição, (2005);  
Editora Elsevier.

ASM METALS HANDBOOK. Friction, Lubrication, and Wear Technology. ASM  
International, Vol. 18, 1996 (IPrinting).

ASTM G65-04. Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry  
Sand/Rubber Wheel Apparatus, 2010.

CHIAVERINI, Vicente. Aços e Ferros Fundidos, Editora ABM, 6ª edição, São  
Paulo, 1988. p. 353 -358.