

# AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DO DESEMPENHO DE DISCOS ABRASIVOS NA PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIES METÁLICAS

Raphael de Souza Costa<sup>1</sup>; Adalto de Farias<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

<sup>2</sup> Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

**Resumo.** *A pesquisa realizada, teve como objetivo o estudo da influência de alguns parâmetros no desempenho de discos abrasivos, para tal estudo foi utilizado um braço robótico para simular uma operação humana na preparação de superfícies metálicas com a utilização de uma esmerilhadeira. Foram realizadas duas baterias de ensaios, a primeira para visualizar a correlação entre micro-deformações no corpo de prova e a força tangencial causada pelo disco, a segunda para visualizar a influência dos parâmetros de entrada no desgaste do disco abrasivo e do corpo de prova, visando a otimização do processo. Foi possível com a segunda bateria de ensaios, prever o desgaste do disco abrasivo em qualquer condição de interesse.*

## Introdução

O esmerilhamento é considerado um processo de usinagem com ferramenta com gume de geometria indefinida. A remoção de material ocorre através da ação de grãos abrasivos de alta dureza, unidos por um ligante. Estes grãos devem ser muito duros, termicamente estáveis e quimicamente estáveis (STEMMER 1995).

Em todos os casos os grãos abrasivos devem ser mais duros quando comparados as peças de trabalho, tendo em conta que durante os processos abrasivos as temperaturas são muito altas, os grãos abrasivos devem manter sua dureza mesmo quando quentes, pois caso contrário o grão que sofrerá o desgaste. A dureza do grão abrasivo é aproximadamente reduzida pela metade quando submetido a 1000 °C, o nitreto de boro cúbico (CBN) mantém sua dureza melhor que a maioria dos abrasivos, porém são mais caros que grãos abrasivos mais comuns como por exemplo, óxido de alumínio e carboneto de silício. A dureza da peça de trabalho também é reduzida em altas temperaturas facilitando o processo (WILLIAM, A. 2004).

Há diferentes formas de desgaste do rebolo. O Desgaste nos grãos inicia-se principalmente nas regiões externas do grão (FUJITA et al., 2006).

Robôs manipuladores industriais são máquinas de propósito geral utilizados na automação industrial a fim de aumentar a produtividade, a flexibilidade e a qualidade dos produtos, outras razões para a utilização de robôs industriais são a redução dos custos e eliminação de trabalhos pesados e insalubres (Victor Barasuol, 2008).

Neste trabalho será estudado o processo de esmerilhamento em conjunto com o braço robótico, e será observado os parâmetros de influência no desgaste do disco, para que dessa forma seja possível uma previsão da vida útil do mesmo e para a otimização do processo de esmerilhamento.

## Material e Métodos

### Preparação para os ensaios

Para os ensaios e a aquisição de dados, foi necessário criar uma adaptação que acoplasse a esmerilhadeira ao braço robótico, para tal foi utilizado um scanner (GOM Inspect) como pode ser observado na Figura 1, para escanear a esmerilhadeira e desta forma criar um desenho em 3D no CAD, no caso foi empregado o NX.

O braço robótico utilizado para os ensaios foi o MOTOMAN MH24 da marca YASKAWA, este que pode ser observado na Figura 2. Para a criação da adaptação foram adquiridas as medidas da flange do robô, as quais foram extraídas do desenho técnico do mesmo, desenho este exposto na Figura 3. O braço robótico utilizado para os ensaios, possui 6 graus de liberdade, o que faz com que seja possível a simulação de uma operação real.

Figura 1 - Escaneamento da esmerilhadeira e a criação de um desenho em 3D.

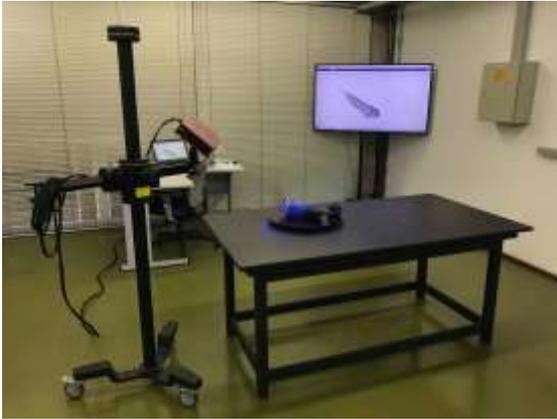
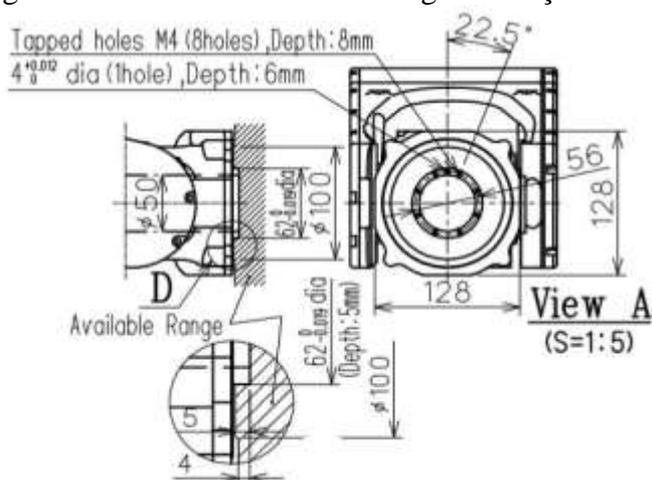


Figura 2 - Braço robótico utilizado para os ensaios.



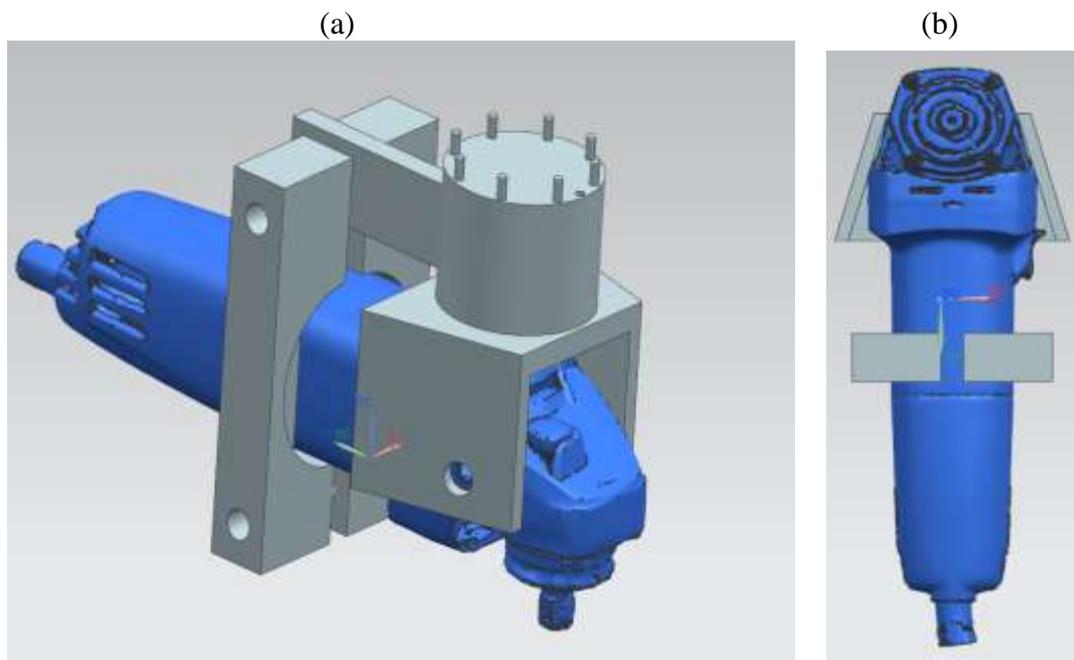
Figura 3 - Desenho técnico da flange do braço robótico.



Aliando o escaneamento da esmerilhadeira junto às medidas retiradas do desenho técnico da flange do braço robótico, foi possível a criação de uma adaptação, a qual pudesse fixar a esmerilhadeira ao braço robótico, e também transmitisse o mínimo de vibrações possíveis à esmerilhadeira, para uma melhor aquisição de dados, sem a influência de fatores externos. Esta adaptação pode ser visualizada na Figura 4(a) (vista isométrica do conjunto) e na Figura 4(b) (vista inferior do conjunto).

Figura 4(a) - Vista isométrica do conjunto.

Figura 4(b) - Vista inferior do conjunto.



A Figura 5 representa a adaptação já usinada e montada no braço robótico. Adaptação esta feita de alumínio para reduzir o peso do conjunto e desta forma ter mais liberdade nos ensaios, de modo que o braço robótico possa exercer uma força maior contra a peça, visto que o mesmo possui uma limitação de até 24 kg de carga útil de trabalho.

Figura 5 - Conjunto já montado no braço robótico.



O próximo passo foi criar um programa no próprio controlador do robô, para simular uma condição de um ser humano usinando uma peça com uma esmerilhadeira. O programa pode ser visualizado na Figura 6.

As primeiras 5 linhas do programa são referentes a aproximação da extremidade do disco na parte superior do corpo de prova, na iminência ao toque.

As outras 9 linhas fazem com que o braço robótico avance X mm (no caso foi escolhido X=80 mm) contra a peça, retorne, desça Y mm (Y é o incremento variável) no eixo Z contra a peça, e avance novamente, criando um looping, até que seja necessário.

Figura 6 - Programa utilizado no braço robótico

```
JOB CONTENT: MASTER
J:SAINT
CONTROL GROUP: R1
0000    NOP
0001 0001 MOVJ VJ=30.00
0002 0002 MOVJ VJ=30.00
0003 0003 MOVJ VJ=30.00
0004 0004 MOVL P010 V=30.0
0005    SET P014 P010
0006    *LOOP
0007    ADD P014 P011
0008 0005 MOVL P014 V=70.0
0009    ADD P014 P012
0010 0006 MOVL P014 V=70.0
0011    ADD P014 P013
0012 0007 MOVL P014 V=70.0
0013    JUMP *LOOP
0014    END
```

### Primeira bateria de ensaios

Na primeira bateria de ensaios foi utilizado um corpo de prova usinado, como pode ser visto na Figura 7, de tal maneira que as tensões residuais se concentrassem na parte central do mesmo. Foi feita a preparação do corpo de prova para a colagem do Strain Gauge (extensômetro, tipo: PA-06-125BA-120-L).

Para a colagem do Strain Gauge, primeiro a peça é lixada, com uma lixa comum, para a melhor aderência do Strain Gauge, então é passado o álcool isopropílico para retirada de qualquer impureza, em seguida é passado o removedor, o qual elimina pequenas oleosidades e gorduras da superfície da peça, posteriormente é aplicado o condicionador, o qual remove pequenas oxidações na superfície do aço, e finalmente é utilizado o neutralizador, o qual possui a função de neutralizar o condicionador no preparo da superfície, após todas essas etapas o Strain Gauge é colado com um adesivo de cianoacrilato o qual possui alta resistência e secagem rápida.

Após a colagem do Strain Gauge na peça, foi feita a calibração, para que desta forma fosse possível correlacionar a força em Newton que agia na peça com a deformação medida pelo Strain Gauge em micro-deformações, a peça foi presa com um grampo contra uma mesa, e na extremidade da peça foram pendurados alguns pesos, todos de 1 Kg cada, este esquema pode ser visto na Figura 8.

Foi observado que aproximadamente para cada 1 Kg suspenso na extremidade da peça, o Strain Gauge acusava 1 micro-deformação.

Figura 7 - Corpo de prova utilizado para a primeira bateria de ensaios.



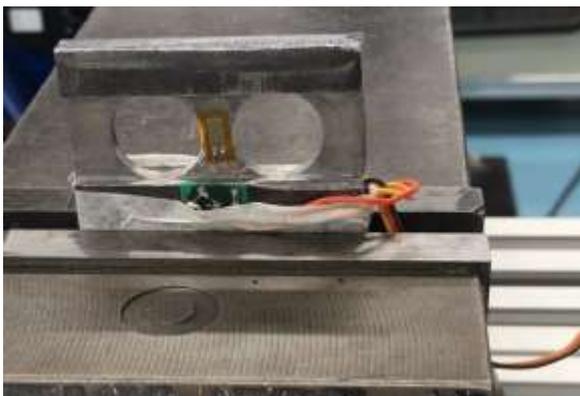
Figura 8 – Calibração



Essa calibração feita previamente com a suspensão dos pesos na extremidade do corpo de prova, é uma correspondência à força tangencial que o disco aplica na parte superior da peça durante o processo de esmerilhamento.

Na Figura 9 pode-se observar que o corpo de prova foi fixado por uma morsa, e também mostra o local onde o Strain Gauge foi colado para uma maior sensibilidade à deformação. A esmerilhadeira fará a preparação da superfície superior do corpo de prova e a força tangencial exercida será adquirida pela leitura das micro-deformações obtidas instantaneamente durante todo o processo de usinagem.

Figura 9 - Usinagem da peça com a aquisição de dados por um Strain Gauge.



Para essa primeira bateria de ensaios a velocidade de avanço da esmerilhadeira contra a peça foi de  $30 \text{ mm.s}^{-1}$ , e durante o processo a esmerilhadeira a cada ciclo, desceu  $0,03 \text{ mm}$  em Z, visto que no início da operação a extremidade da esmerilhadeira já estava na eminência de contato com o corpo de prova.

### Segunda bateria de ensaios

Para a segunda bateria de ensaios foi empregado em planejamento fatorial simples com dois fatores em três níveis ( $3^2$ ) resultando em 9 ensaios sem réplicas.

A segunda bateria de ensaios abordou a questão dos parâmetros que influenciam no desgaste do disco e do corpo de prova, para isso foram fixadas algumas variáveis, como a angulação da esmerilhadeira em relação ao corpo de prova, onde foi adotado  $35^\circ$ , o tempo de ensaio foi de 10 minutos e a fixação da peça na morsa em relação a base do corpo de prova, foi adotada  $20 \text{ mm}$ .

O corpo de prova utilizado foi uma chapa de aço ABNT 1020 com dimensões de  $65 \text{ mm} \times 65 \text{ mm}$  com uma espessura de  $10 \text{ mm}$ .

Os parâmetros que variaram foram, a velocidade da esmerilhadeira contra a peça em  $\text{mm.s}^{-1}$ , e a descida do braço robótico no eixo Z em relação ao corpo de prova em  $\text{mm}$ .

No início de cada ensaio foi necessário o reajuste do ponto de contato entre a extremidade do disco e a parte superior do corpo de prova, e também a mudança de dados de entrada (velocidade e incremento no eixo Z) no programa.

Na Tabela 1 pode-se observar as três velocidades utilizadas de  $30 \text{ mm.s}^{-1}$ ,  $50 \text{ mm.s}^{-1}$  e  $70 \text{ mm.s}^{-1}$ ; e os incrementos de descida no eixo Z de  $0,03 \text{ mm}$ ,  $0,05 \text{ mm}$  e  $0,08 \text{ mm}$ ; foram também pesados com uma balança de precisão com duas casas decimais os corpos de prova e os discos, ambos antes da usinagem e após a retirada de material.

No total foram realizados 9 ensaios, para isso foram necessários 9 discos abrasivos e 9 corpos de prova como pode ser observado na Figura 10.

Tabela 1 - Parâmetros e dados iniciais utilizados nos ensaios

	V (mm/s)	Incremento (mm)	massa do corpo de prova inicialmente (g)	massa do disco inicialmente (g)
Ensaio 1	30	0,03	303.97	164.45
Ensaio 2	30	0,05	311.16	165.27
Ensaio 3	30	0,08	310.93	164.59
Ensaio 4	50	0,03	311.42	164.58
Ensaio 5	50	0,05	309.76	165.03
Ensaio 6	50	0,08	311.45	166.29
Ensaio 7	70	0,03	311.65	165.98
Ensaio 8	70	0,05	311.52	165.97
Ensaio 9	70	0,08	310.62	166.37

Figura 10 - Corpos de provas e discos abrasivos utilizados para o ensaio



Na Figura 11 é possível observar o momento exato onde o disco abrasivo desbasta o corpo de prova retirando material.

Figura 11 - Reprodução dos ensaios



## Resultados e Discussão

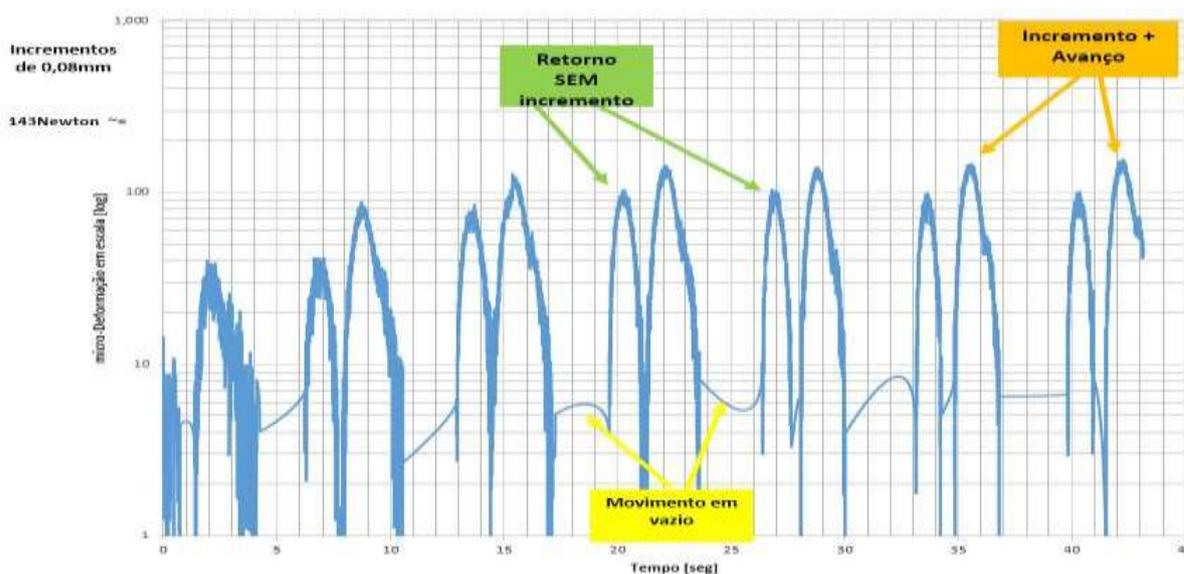
Durante a primeira bateria de ensaios foram coletados os da força tangencial no disco de desbaste com o auxílio do sistema de aquisição de sinais Quantum 840X e o software Catman da HBM. Com estes dados foi possível a plotagem do Gráfico 1, nele pode-se observar a força tangencial que o disco exerce no corpo de prova durante um processo de esmerilhamento.

Os picos mais elevados do gráfico representam o momento em que a esmerilhadeira desce na direção do eixo Z contra a peça e avança sobre a mesma retirando o material, nesta situação é onde pode-se observar que o disco exerce a maior força contra o corpo de prova, de aproximadamente 143 N.

Os picos mais baixos representam a esmerilhadeira retornando e retirando material pela segunda vez após a descida no eixo Z contra a peça, portanto como a maior parte do material já foi retirada na primeira passada, neste caso o disco faz uma força tangencial de aproximadamente 100 N contra o corpo de prova.

Os valores são muito próximos dos simulados, podendo haver algum desvio devido ao aumento brusco de temperatura no momento da usinagem. As ordens de grandeza dos resultados condizem com a literatura de retificação.

Gráfico 1 – Forças tangencias no ensaio



Os gráficos a seguir são referentes a segunda bateria de ensaios, no Gráfico 2, pode-se observar a correlação entre velocidade de avanço da esmerilhadeira contra a peça, o incremento de descida no eixo Z, e a perda de massa do corpo de prova, com este gráfico é possível determinar a influência que estes parâmetros causam na perda de massa do corpo de prova.

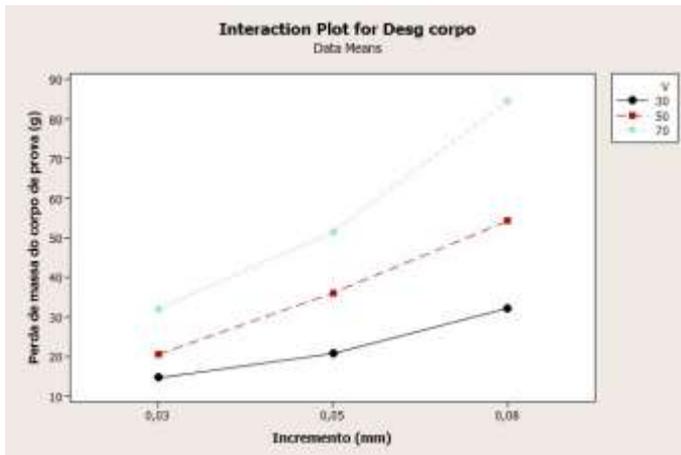
Foi observado que quanto maior o incremento e maior a velocidade de avanço maior será o desgaste da peça, e também é possível identificar que com  $70 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  e o aumento do incremento de 0,05 mm para 0,08 mm o desgaste da peça aumenta rapidamente.

A perda de massa tanto no disco quanto no corpo de prova pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 2 - Perda de massa do corpo de prova e do disco abrasivo, após 10 minutos.

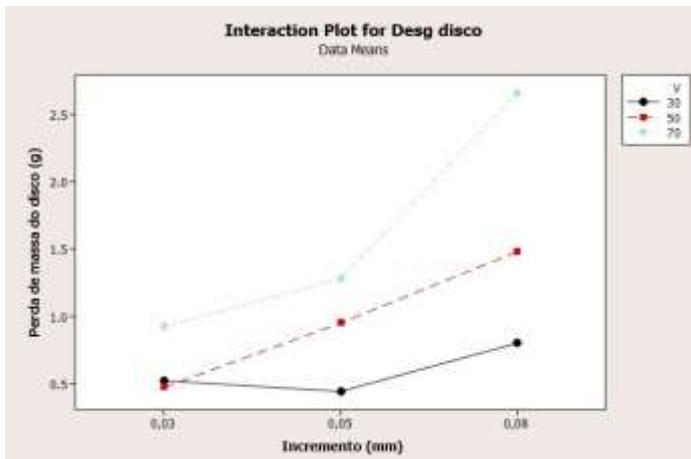
	V (mm/s)	Incremento (mm)	Perda de massa do corpo de prova (g)	Perda de massa do disco (g)
Ensaio 1	30	0,03	14.54	0.52
Ensaio 2	30	0,05	20.73	0.44
Ensaio 3	30	0,08	32.17	0.8
Ensaio 4	50	0,03	20.45	0.47
Ensaio 5	50	0,05	36.05	0.95
Ensaio 6	50	0,08	54.26	1.48
Ensaio 7	70	0,03	31.94	0.92
Ensaio 8	70	0,05	51.54	1.28
Ensaio 9	70	0,08	84.53	2.66

Gráfico 2 - Influência do incremento na perda de massa do corpo de prova



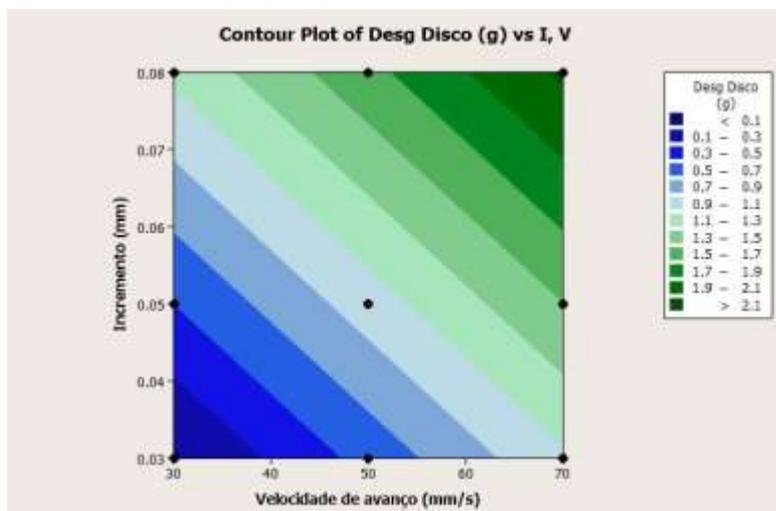
No Gráfico 3 pode-se observar um comportamento similar ao Gráfico 2, porém neste caso o desgaste em estudo é do disco abrasivo, o qual perde massa rapidamente com o aumento de incremento de 0,05 mm para 0,08 mm, por haver uma força maior do disco contra a peça, fazendo com que o mesmo sofra um desgaste elevado. Ambos os gráficos possuem um comportamento linear.

Gráfico 3 - Influência do incremento na perda de massa do disco



Com o Gráfico 4 é possível obter para qualquer correlação de incremento no eixo Z e velocidade de avanço, o desgaste do disco abrasivo, este estudo é muito importante para a previsão do desgaste do disco sem a necessidade de ensaios físicos, podendo prever a vida do disco e a otimização do processo como um todo, podendo variar os dados de entrada.

Gráfico 4 - Desgaste do disco para um incremento e uma velocidade específica



## Conclusões

Com a primeira bateria de ensaios pode-se concluir que a força tangencial exercida sobre o material pelo disco abrasivo, depende da geometria da peça e do tipo de material. Com este tipo de análise é possível escolher o material correto a ser usinado, e se o processo é viável para cada situação específica, também é possível prever os esforços solicitantes gerados na peça.

Já na segunda bateria de ensaios, o foco principal foi a otimização do processo, onde a velocidade de avanço e o incremento no eixo Z influenciam diretamente no desgaste do disco e desta forma, na sua vida útil. Com o aumento do incremento em Z e velocidade de avanço, tem-se um maior desgaste do disco.

O mapa de contorno gerado no estudo do planejamento fatorial permite executar uma estimativa da condição de desgaste para outros níveis de parâmetros não ensaiados.

Com a decisão da viabilidade do processo de esmerilhamento e com a otimização, controlando os dados de entrada, é possível reduzir custos e aumentar a produtividade, sem que haja perda de qualidade na preparação da superfície da peça.

## Referências Bibliográficas

STEMMER, C. E. **Ferramentas de cortes II**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1995, 2 ed.

Barasuol, V. (2008). **Controle de força indireto para manipuladores com transmissões flexíveis empregados em tarefas de esmerilhamento**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

(FUJITA et al., 2006)FUJITA, H. et al. Contribuição ao estudo da retificação abrasiva de materiais cerâmicos. **Cerâmica**, v. 52, n. 324, p. 269–275, 2006.

WILLIAM, A. (2004). **Tribology of Abrasive Machining Processes**. New York: Brent Beckley, 2004.