

# DESENVOLVIMENTO DE REBOLO PARA RETIFICAÇÃO DO CILINDRO DE TRABALHO DO NOVO LAMINADOR DE TIRAS A QUENTE DA USIMINAS<sup>1</sup>

Marcelo Souza de Oliveira<sup>2</sup>  
Cleber Lopes dos Santos<sup>3</sup>  
Sidney Pereira Carvalho<sup>4</sup>

## Resumo

O Rebolo como ferramenta de usinagem de cilindro de laminação, tem significativa importância nos parâmetros de geometria e qualidade superficial do cilindro, conforme a necessidade do laminador. A adequação do tipo do rebolo ao equipamento de retífica utilizada, material do cilindro e os parâmetros exigidos, tem importante influência na produtividade da Oficina de Cilindros e do Laminador, como também no consumo específico do cilindro de laminação. O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho dos rebolos utilizados para usinar cilindros de trabalho do Novo Laminador de Tiras a Quente, da Usina de Cubatão da Usiminas, definindo a qualidade mais adequada às necessidades. Os principais itens avaliados, além do atendimento aos parâmetros geométricos e qualidade superficial, foram o tempo de máquina, remoção média de cilindro e o retrabalho ou necessidade de mais de um ciclo de usinagem.

**Palavras-chave:** Laminação de tiras a quente; Cilindro; Rebolo; Usinagem.

## DEVELOPMENT OF GRINDING WHEEL FOR RECONDITIONING THE WORK ROLLS OF THE USIMINAS NEW HOT STRIP MILL

### Abstract

The grinding wheel as a tool for conditioning roll surface, has significant importance over the parameters of geometric and surface quality of the roll as required by the mill. The fitness of the type of grinding wheel in the grinder used, material of the roll and the required parameters, influence on the productivity of the mill and roll shop, as well as in the specific consumption of the roll. The aim of this study is to evaluate the performance of grinding wheels used to machine rolling mill rolls of the New Hot Strip Mill in the Cubatão Works of Usiminas, defining the most appropriate quality requirements. The main items evaluated, in addition to geometric parameters and surface quality, were the time of machine operation, average removal of roll, expressed in millimeters, and rework or need of an additional grinding cycle.

**Keywords:** Hot strip mill; Roll; Grinding wheel; Grinding.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 50º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 18 a 21 de novembro de 2013, Ouro Preto, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheiro Mecânico. Especialista de Processo – da Gerência Técnica da Laminação a Quente da Usiminas Cubatão. SP, Brasil.*

<sup>3</sup> *Tecnólogo de Manutenção Industrial. Supervisor de Turno – Gerência de Oficina de Cilindros da Usiminas Cubatão. SP, Brasil.*

<sup>4</sup> *Técnico Mecânico. Inspetor de Cilindros – Gerência de Oficina de Cilindros da Usiminas Cubatão. SP, Brasil.*

# 1 INTRODUÇÃO

A Oficina de Cilindros do Laminador de Tiras a Quente 2 da Usiminas Cubatão iniciou a sua operação em fevereiro de 2012 com três retíficas automáticas para a usinagem de cilindros, sendo uma combinada, para a usinagem de diversos tipos de cilindros e duas para a usinagem de cilindros de trabalho do Laminador de Tiras a Quente com mancais montados.

A adequação do rebolo de especificação única que atenda a usinagem dos cilindros de trabalho do Laminador de Tiras a Quente das cadeiras F1 a F6, nos aspectos de forma e superfície, que tenha um consumo aceitável, o mínimo de interferência na produtividade da Oficina de Cilindros e do consumo específico do cilindro é o objetivo do trabalho de avaliação dos rebolos.

Os rebolos utilizados são de liga cerâmica, que tem por características: alta friabilidade e dureza, proporcionando à operação uma maior taxa de remoção, menor ciclo de retificação, redução na frequência e profundidade de dressagem e menor consumo de rebolo, permitindo assim atingir tolerâncias dimensionais estreitas, uma melhor qualidade e uniformidade na retificação.

Os rebolos de liga cerâmica avaliados são de dimensão: Ø1066 x Largura 102 mm, têm as seguintes características básicas, descritas na Tabela 1 e são utilizados para a usinagem dos cilindros de trabalho do laminador de tiras a quente das cadeiras F1 a F6, conforme Tabela 2.

Para estes tipos de cilindros são utilizadas duas retíficas distintas, denominadas N°3 (H3) e N°4(H4). Na retífica H3 retificamos os cilindros de trabalho da F1 a F4 e na retífica H4 os cilindros de trabalho da F5 e F6.

**Tabela 1.** Características básicas dos rebolos avaliados

Rebolo	Granulometria	Dureza	Quantidade de rebolos avaliados	
			Retífica N°3 (H3) (F1 a F4)	Retífica N°4 (H4) (F5 e F6)
<b>A</b>	46	J	4	4
<b>B</b>	36	K	3	2
<b>C</b>	36	H	4	1

**Tabela 2.** Características dos cilindros

Cadeira	Ø máximo	Ø mínimo	Comprimento	Material
F1 a F4	835 mm	735 mm	2180	Ferro Fundido de Alto Cromo 14 a 17% Cr
F5 a F6	695 mm	605 mm	2380	Ferro Fundido Indefinido, Microligado

As tecnologias envolvidas nas cadeiras do Laminador de Tiras a Quente 2 da Usiminas Cubatão, são:

-Cadeiras F1 a F4: Roll bender (+) e Per Cross.

-Cadeiras F5 e F6: Roll bender (+ e -) e Work roll shift ( $\pm$  100 mm).

A avaliação dos rebolos, primeiramente, leva em consideração o atendimento das necessidades de qualidade superficial (rugosidade), geométricas (perfil e conicidade) e que não agregue defeitos, conforme descrito na Tabela 3.

**Tabela 3.** Defeitos com influência do rebolo <sup>(1)</sup>

Problema	Trepidação	Arranhões
Característica	Aparece geralmente com forma cíclica na mesa do cilindro, em ondas ou variação de aspereza sobre a mesma linha do sentido da usinagem.	-Marcas regulares, estreitas e fundas -Marcas irregulares de largura variável -Marcas de grão
Causa	Rebolo muito duro (Anormalidade mecânica da retífica e de cilindro)	Rebolo com grão muito grande e ou rebolo muito macio. (Qualidade do refrigerante)
Solução	Utilizar rebolo mais macio, com estrutura mais espalhada ou com maior tamanho de grão	Utilizar rebolo com grão mais fino e ou rebolo mais duro.

Observações sobre os elementos que constituem um rebolo:

- Grão Abrasivo tem a ação de corte no processo de retífica, dois tipos básicos são o óxido de alumínio e o carbureto de silício. A classificação do tamanho do grão é através de números: 8-1000 (8 a 24 os mais grossos; 30 a 60 médios; 70 a 120 finos; 150 a 240 muito finos e de 280 a 1000 pó). <sup>(2)</sup>
- Aglomerante do Grão mantêm os grãos coesos.
- Dureza de rebolo corresponde à resistência necessária contra o desprendimento dos grãos, devido ação de usinagem, é geralmente indicada por letras (Tabela 4). A linha destacada em amarelo é a faixa de dureza que utilizamos.

**Tabela 4.** Dureza de rebolo <sup>(2)</sup>

	Dureza			
Muito macio	E	F	G	
<b>Macio</b>	<b>H</b>	<b>I</b>	<b>J</b>	<b>K</b>
Médio	L	M	N	O
Duro	P	Q	R	S
Muito duro	T	U	V	W

- Estrutura são os poros ou vazios que define o espaçamento deixado entre grãos e liga (aglomerante) e agem como respiradouros do rebolo, quando em trabalho. <sup>(3)</sup>

A precisão dimensional do cilindro retificado é influenciada por alguns fatores relacionados a máquina e ao cilindro, como:

- lunetas de apoio do cilindro: descentralizadas, desgaste do metal patente;
- mecanismo de acionamento do cilindro com defasagem entre centro do cilindro e o centro da placa universal;
- alinhamento irregular;
- desgaste no mecanismo de coroamento. Folga no mecanismo de transmissão;
- desgaste irregular do barramento da máquina e do carro do rebolo.

Para a avaliação de rebolo apresentada neste trabalho, os fatores acima não terão influência significativa no resultado, devido as retíficas H3 e H4 estarem com apenas um ano de operação e não terem sofrido alterações geométricas (barramento) ou apresentado problema nos mecanismos, porém são fatores que devem sempre ser analisados e corrigidos para que não influenciem no desempenho do rebolo.

Alguns problemas na retificação com origem no rebolo causam dificuldade para se atingir a precisão dimensional necessária, como descrito na tabela 5.

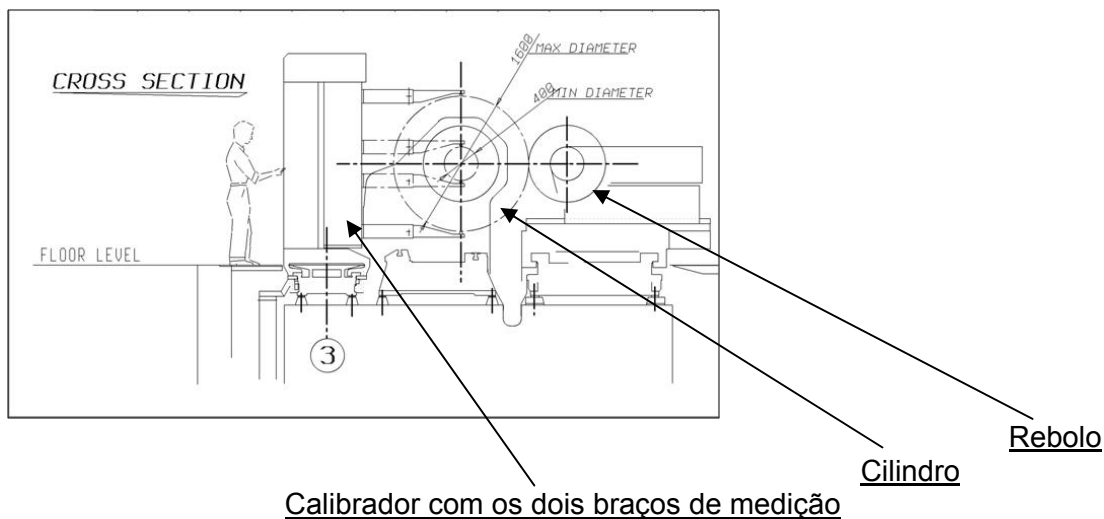
**Tabela 5.** Problemas de rebolo que influenciam na precisão dimensional <sup>(1)</sup>

Problema	“Espelhamento” do Rebolo	“Empastamento” do Rebolo
Característica	Face do rebolo fica lisa, com grãos abrasivos arredondados sem gumes vivos. O rebolo não remove material.	Face do rebolo carregada com limalha de corte. O rebolo liso não corta, gerando calor.
Causa	-Rebolo muito duro -Grão muito fino -Velocidade excessiva do rebolo -Avanço muito pequeno	-Estrutura muito densa -Rebolo muito duro -Velocidade de avanço pequena

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Na avaliação do rebolo foi necessário além da utilização de uma medição confiável do desgaste, tanto do cilindro como do rebolo, um banco de dados da retífica com interação com o banco de dados do sistema de controle de cilindros.

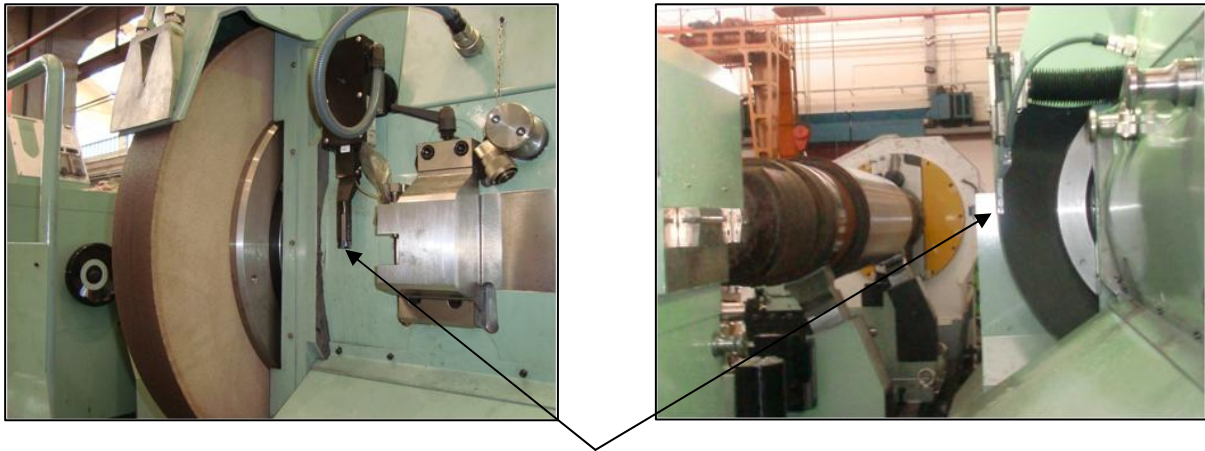
A medição de desgaste do cilindro inicia-se com o registro da medição do diâmetro antes e após a retificação, no caso das retíficas H3 e H4 a medição é automática através de um calibrador (Figura 1). Os valores são enviados ao nível 2, onde os dados são disponibilizados para consulta, correlacionando número de cilindro, material de fabricação, cadeira do laminador e posição da campanha trabalhada, número da retífica onde ocorreu a usinagem, motivo da usinagem e data/hora do início e término.



**Figura 1.** Calibrador.

A medição do desgaste do rebolo é feita de forma automática através de um sensor (Figura 2). O sensor do rebolo é um dispositivo composto de um braço perpendicular ao eixo do eixo-motor que sustenta um cabeçote contendo três sensores indutivos. Esta unidade inteira é provida de um atuador, um servo-motor para o controle de posição, sendo, portanto, um eixo controlado por comando numérico computadorizado (CNC).

Quando o cabeçote do sensor fica alinhado com o ponto de corte do rebolo, o sensor do rebolo está em operação e uma das funções é o controle do diâmetro do rebolo.

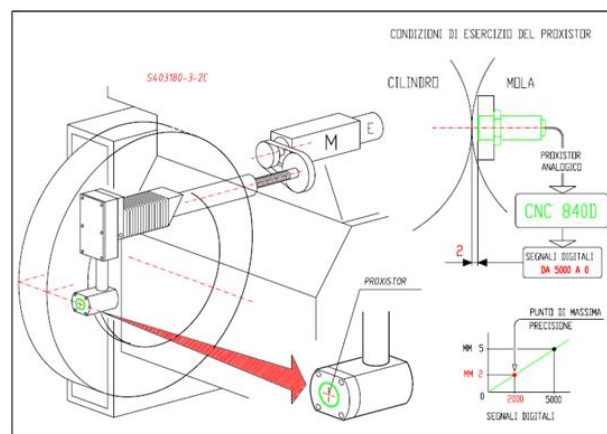


Sensor do Rebolo

**Figura 2.** Foto do sensor no carro do rebolo.

Quando a máquina tiver iniciado o seu ciclo de retífica e o rebolo a diminuir o diâmetro devido a desgaste, o sensor atualizará o seu valor de limiar (a cada passe), retraíndo o braço do sensor do rebolo na mesma proporção que o desgaste sofrido, sempre preservando, portanto, o seu alinhamento para uma aproximação rebolo/peça de trabalho seguinte.

O sensor é controlado a uma distância fixa de 2 mm (0,08") da superfície do cilindro durante a operação de retífica (Figura 3). Portanto, como o sensor fica retraído para manter o mesmo afastamento, ele oferece uma indicação precisa do desgaste do rebolo, enquanto o CNC armazena a posição do eixo do sensor, correspondente ao raio atual do rebolo, em sua memória para aproximações automáticas subsequentes.



**Figura 3.** Esquema de operação do sensor do rebolo.

Os dados dos rebolos A, B e C avaliados, têm o seu início com o cadastro do tipo do rebolo, neste está incluído o fabricante, dimensões básicas ( $\text{Ø}1066 \times L 102 \text{ mm}$ ) e número. Quando o rebolo é montado fisicamente na retífica o mesmo é selecionado no banco de dados da máquina através do número, determinando assim a data do início de operação.

Durante o tempo de permanência do rebolo na máquina os dados dos cilindros retificados são associados a ele.

Os dados utilizados na avaliação foram:

- quantidade de cilindros usinados;
- remoção média de material (mm usinados por cilindro);
- rendimento do rebolo (G-Ratio: mm<sup>3</sup> cilindro/ mm<sup>3</sup> rebolo);
- tempo médio de usinagem (minuto/cilindro);
- consumo específico de cilindro (mm/kt);
- motivo de usinagem.

Motivo de usinagem é uma classificação dada pelo Operador ao término da retificação, selecionado em uma tabela padrão e os principais motivos estão descritos na Tabela 6.

**Tabela 6.** Motivo de Usinagem

Símbolo	Descrição	Observação
N	Normal	Quando a usinagem é concluída no 1º ciclo, sem a necessidade de remoção de defeito no cilindro
NA	Novo Acabamento	Quando o valor de conicidade e ou perfil ficaram fora do padrão. Necessário mais de um ciclo de usinagem.
A	Amassamento	Defeito de origem no laminador e detectado pela inspeção de corrente parasita. Necessário mais de um ciclo de usinagem.
FP	Formação de Par	Usinagem maior que o normal para manter a diferença padrão entre diâmetros dos cilindros pares
TT	Trinca Térmica	Defeito de origem no laminador e detectado pela inspeção de corrente parasita. Necessário mais de um ciclo de usinagem.

A 1ª etapa para podermos avaliar cada rebolo (A, B e C), foi a adequação do Programa de Retífica, objetivando reduzir reusinagens (Novo Acabamento), evitar trepidação e atingir a rugosidade necessária (Tabela 7).

**Tabela 7.** Parâmetro de rugosidade

Cilindros	Rugosidade (µm Ra)
Cadeiras F5 a F6	0,4 a 0,6
Cadeiras F1 a F4	0,7 a 0,9

Como exemplo, ilustramos na Tabela 8 o 1º programa de retífica, o qual utilizava um maior número de passes(NP) no pré-acabamento, maiores velocidades do rebolo, carro e cabeçote fixo (CF) e maior incremento (E.I.A), objetivando atender os valores de rugosidade, comparado ao 2º programa (Tabela 9), que objetiva eliminar a trepidação.

**Tabela 8.** 1º Programa de Retífica

1º Programa de Retífica	Rebolo m/s	CF rpm	NP qtde	Cont. mm/min	E.I.A mm	Carro mm/min
Desbaste	44	34	18	0,06	0,0300	3200
Pré acabamento	38	36	2	0,02	0,0100	2400
	32	36	2	0,01	0,0050	1800
Acabamento	26	38	2	0,005	0,0030	1200
	24	40	1	0,003	0	1000
			25			

**Tabela 9.** 2º Programa de Retífica

2º Programa de Retífica	Rebolo m/s	CF rpm	NP qtde	Cont. mm/min	E.I.A mm	Carro mm/min
Desbaste	42	32	18	0,05	0,0150	3000
Pré acabamento	38	38	2	0,02	0,0050	2400
	0	0	0	0	0	0
Acabamento	32	38	2	0,01	0	1800
	26	38	2	0,005	0	1200
			24			

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Quantidade de Cilindros Usinados por Tipo de Rebolo (Tabela 10)

**Tabela 10.** Quantidade de cilindros usinados por tipo de rebolo

Tipo do Cilindro de Trabalho	Rebolo		
	A	B	C
Cilindros da F5 a F6	1061 (56%)	623 (33%)	214 (11%)
Cilindros da F1 a F4	1119 (40%)	573 (21%)	1090 (39%)

Em função da participação reduzida do rebolo C na quantidade de cilindros usinados da F5 a F6, os resultados mostrados no trabalho são referentes aos rebolos A, B e C que usinaram cilindros das cadeiras F1 a F4.

#### 3.2 Rendimento do Rebolo (G-Ratio: mm<sup>3</sup> cilindro/ mm<sup>3</sup> rebolo) (Figura 4)

É o volume de material retirado do cilindro pelo volume de material do rebolo gasto. Avaliando apenas este gráfico o rebolo B (3,28 mm<sup>3</sup>cil/ mm<sup>3</sup>reb) é o que remove mais material de cilindro com um menor desgaste do rebolo, ou seja, é o que apresenta o melhor rendimento.

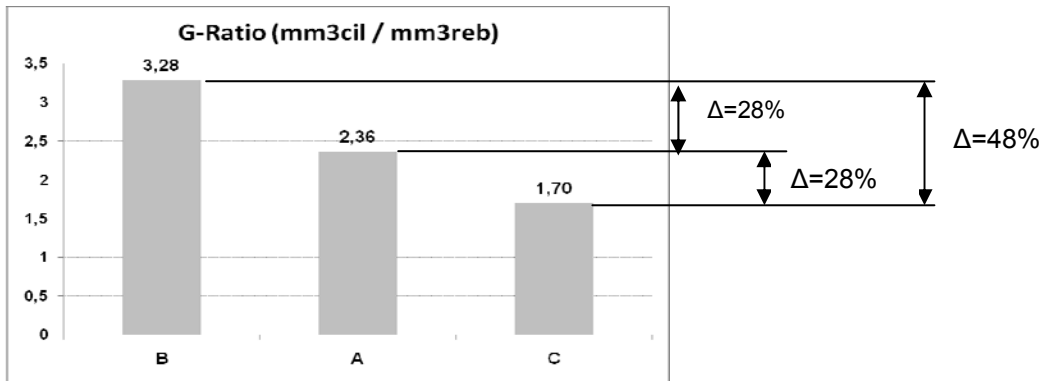


Figura 4. Rendimento dos rebolos

### 3.3 Remoção Média de Material de Cilindro AVG (mm) (Figura 5)

É a média de milímetros usinados por cilindro acabado. Neste caso o rebolo C desbasta menos o cilindro na retificação.

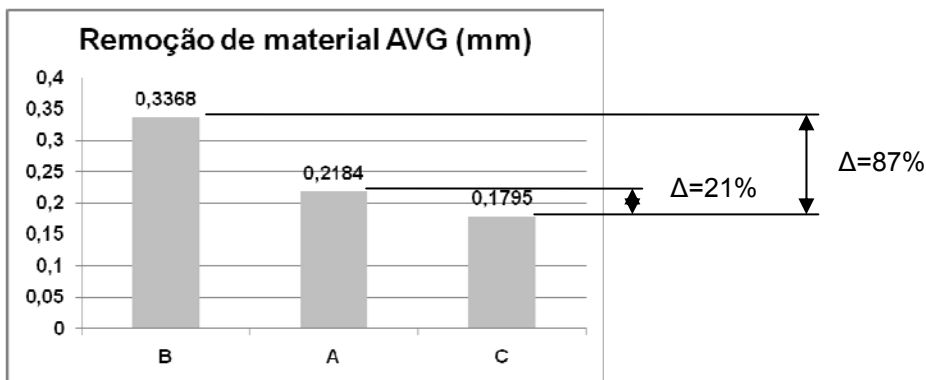


Figura 5. Remoção média de material de cilindro

### 3.4 Tempo Médio de Usinagem AVG (minuto) (Figura 6)

É o tempo médio que foi necessário para retificar os cilindros por tipo de rebolo. O tempo médio de usinagem dos cilindros das cadeiras F1 a F4 para o motivo "Normal" na retífica H3 é de 25 min. Quando é necessária uma reusinagem o tempo é acrescido de 14 min, totalizando 39 min.

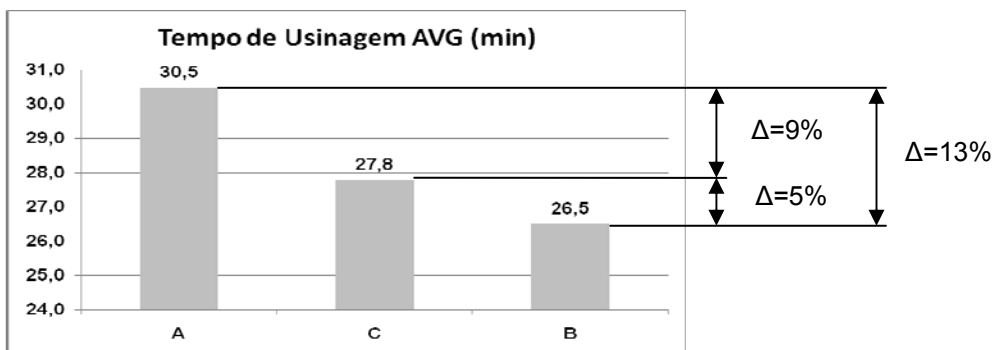


Figura 6. Tempo médio de usinagem



### 3.5 Consumo Estimado de Rebolo por Mês (peças/mês) (Figura 7)

O valor de peças consumidas mês levou em consideração 3 trocas de cilindros por dia o que corresponde a 90 trocas por mês. Para 4 cadeiras (F1 a F4 = 8 cilindros), seriam 720 cilindros retificados no mês.

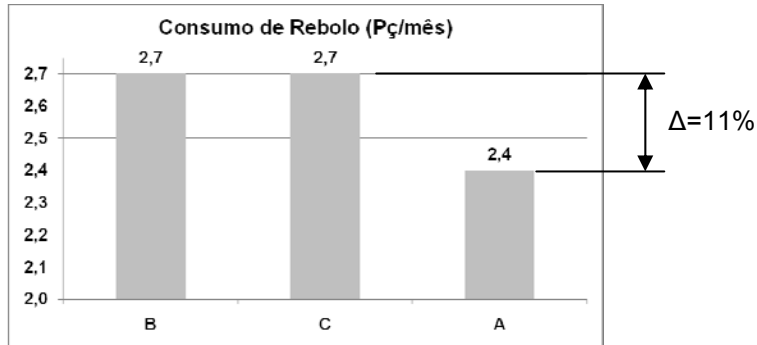


Figura 7: Consumo de rebolo por mês

### 3.6 Percentual de Reusinagens (Figura 8)

Classificamos as reusinagens quando o motivo é NA (Novo Acabamento), houve a necessidade de novo ciclo de usinagem para atingir os parâmetros de forma. O percentual é em relação ao total de cilindros usinados no período avaliado por tipo de rebolo.

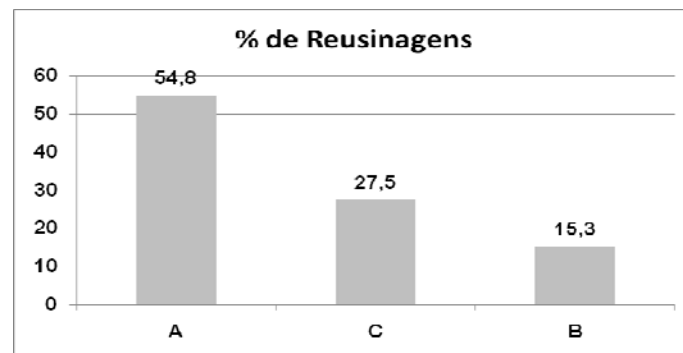


Figura 8. Percentual de reusinagens.

### 3.7 Consumo Específico do Desgaste de Laminação (mm/kt)

Uma avaliação do desgaste de laminação ( $\emptyset$  do cilindro na campanha do laminador –  $\emptyset$  após laminar) se fez necessária para verificar variações significativas no período de avaliação de cada tipo de rebolo, o que poderia influenciar de alguma forma nos resultados mostrados acima.

A Figura 9, nos mostra uma variação máxima foi de 22%, em relação ao valor médio de 0,204 mm/kt, sendo o período de avaliação do rebolo B o que tivemos o maior valor do consumo específico.

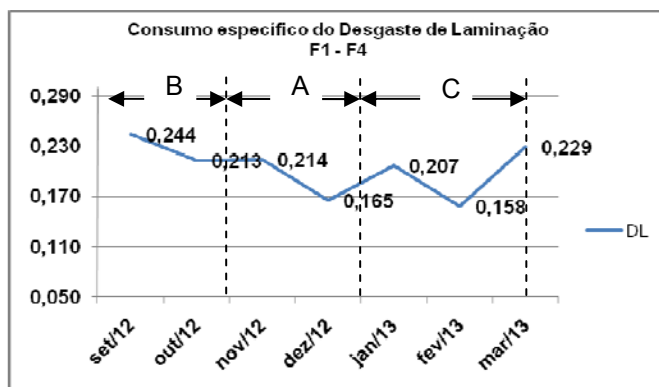


Figura 9. Consumo específico do desgaste de laminação .

## 4 DISCUSSÃO

Na Tabela 11 é mostrado um resumo dos resultados do melhor para o pior.

Tabela 11. Resumo dos resultados

G-Ratio (mm <sup>3</sup> cil/mm <sup>3</sup> reb)	Remoção de Material (mm)	Tempo de Usinagem (min)	Consumo de Rebolo (pç)	Reusinagem (%)
B (3,28)	C (0,1795)	B (26,5)	A (2,4)	B (15,3)
A (2,36)	A (0,2184)	C (27,8)	B e C (2,7)	C (27,5)
C (1,70)	B (0,3368)	A (30,5)		A (54,8)

Com os resultados apresentados poderíamos concluir que o rebolo B é o de melhor desempenho, porém este desempenho está relacionado ao rendimento do rebolo e a produtividade da Oficina de Cilindros, ou seja, o rebolo B desgasta menos para remover mais milímetro de cilindro e com um percentual menor de reusinagem e menor tempo de usinagem, aumenta a disponibilidade de máquina, importante quando a capacidade está no limite para atender a linha de laminação. Porém, o resultado alto no valor médio de remoção de material de cilindro é um ponto extremamente desfavorável para o rebolo B.

A questão da remoção média de material do cilindro influencia no resultado do consumo específico do cilindro, maior remoção, maior será o consumo de cilindro e consequentemente maior o custo. Exemplificando o aumento de custo, consideraremos:

- remoção de material (RM), valores da Tabela 11.
- preço do mm de R\$1500,00 (R\$)
- quantidade de cilindros usinados no mês= 720 (C)
- produção mensal = 200kt (P)
- cálculo do consumo específico(Ce):  $Ce = (C \times RM) / P$
- cálculo do custo:  $Custo = (C \times RM) \times R\$$

Teríamos para cada tipo de rebolo em função do valor correspondente de remoção média de material, um custo mensal e um consumo específico, conforme mostra a Tabela 12.

Tabela 12. Exemplo de custo mensal de milímetro de cilindro

	A	B	C
Consumo específico (mm/kt)	0,786	1,212	<b>0,646</b>
Custo (R\$)	235.800,00	363.600,00	<b>193.800,00</b>

Portanto, utilizando o rebolo B teríamos um custo de milímetro de cilindro 87% maior comparado ao rebolo C e o rebolo A 21% maior, que são os mesmos valores comparativos do resultado da remoção média de material por tipo de rebolo.

## **5 CONCLUSÃO**

Um método de avaliação mais abrangente dos resultados para definir o melhor rebolo, nos mostrou que a influência no consumo específico de cilindro, em função do custo envolvido, é extremamente significativa. O rendimento de rebolo não é o item de avaliação a ser considerado isoladamente.

Considerando os três aspectos:

-Consumo de rebolo, que está associado ao resultado de rendimento do rebolo.

-Produtividade da Oficina de Cilindros, que está associado ao tempo de usinagem e esta a necessidade de mais de um ciclo de usinagem para atender os parâmetros de forma do cilindro.

-Consumo específico de cilindro que está associado com a remoção média de material.

A avaliação neste enfoque torna-se mais completa, dando um subsídio maior no desenvolvimento técnico com o fornecedor do rebolo, objetivando o melhor rebolo que atenda satisfatoriamente os três aspectos.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 SLIP NAXOS, WINTERTHUR Technology Group, Roll Grinding Handbook  
[www.winterthurtechnology.com](http://www.winterthurtechnology.com)
- 2 INABRA ABRASIVOS. [www.inabra.com.br/abrasivosinfotec02.htm](http://www.inabra.com.br/abrasivosinfotec02.htm)
- 3 LIMA STOETERAU, RODRIGO. Processos de Usinagem com Ferramenta de Geometria não Definida. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.  
[www.poli.usp.br/d/pmr2202/arquivos/PMR2202-AULA%20RS3.pdf](http://www.poli.usp.br/d/pmr2202/arquivos/PMR2202-AULA%20RS3.pdf)