

MELHORIA NO DESEMPENHO DE CILINDROS DE LAMINAÇÃO APLICADOS NAS CADEIRAS DESBATADORAS DA LAMINAÇÃO DE PERFIS ESTRUTURAIS¹

Luciano Alves Novelli²
Roberto Sabino Soares³

Resumo

O trabalho é resultado de uma abordagem metodológica que foi aplicada nas cadeiras desbastadoras da laminação de perfis estruturais visando à avaliação do desgaste nos canais dos cilindros. Objetivou-se definir parâmetros operacionais adequados à mudança do material dos cilindros: de aço baixo carbono forjado para aço adamite. A metodologia consistiu em ensaios visuais e na análise de dados de reusinagem dos cilindros. A análise dos resultados permitiu selecionar o aço adamite como o material mais adequado ao processo.

Palavras chave: Cilindros; Desgaste; Perfis estruturais.

IMPROVEMENT IN THE PERFORMANCE OF ROLLING ROLLS USED IN BREAKDOWN STANDS OF STRUCTURAL SECTION MILL¹

Abstract

The work is the result of a methodological approach that was applied to the rolling mill breakdown stands of structural section mill aiming at evaluating the wear on the rolls. The objective is to define appropriate operational parameters to change the material of the rolls: low carbon forged steel for adamite steel. The methodology consisted in visual inspections and data analysis of machining of rolls. The analysis of the results allowed to select the alloyed adamite steel as the material best suited to the process.

Keyword: Rolls; Wear, Structural section.

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

² Engenheiro Metalurgista e de Materiais, MSc. - Facilitador de Melhoria da Oficina de Cilindros – Gerdau Usina Ouro Branco. MG, Brasil.

³ Técnico Mecânico - Facilitador de Melhoria da Oficina de Cilindros – Gerdau Usina Ouro Branco. MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O laminador debastador da unidade de laminação de perfis estruturais é um laminador duo reversível que, utiliza cilindros com 32 toneladas. O formato dos cilindros utilizados neste laminador pode ser visualizado na Figura 1. Durante o processo de laminação, é desenvolvida uma degradação superficial dos cilindros, devido ao contato (atrito) com o material em altas temperaturas. Outros fatores que influenciam este processo são: as altas reduções na espessura e largura, conforme o projeto de passes e a carepa formada no forno de reaquecimento. Para reduzir a evolução do desgaste, é fundamental um bom sistema de refrigeração dos cilindros com bicos de alta pressão. Estes fatores, acima citados, são limitantes na determinação no tamanho das campanhas de laminação e podem comprometer a qualidade do produto acabado, nesta etapa do processo de laminação. Desta forma, foi realizado um estudo e uma nova especificação de cilindro, mudando a qualidade dos cilindros de aço baixo carbono forjado para cilindros em aço adamite, com o principal objetivo de reduzir os desgastes, obtendo melhor desempenho e com um custo menor.

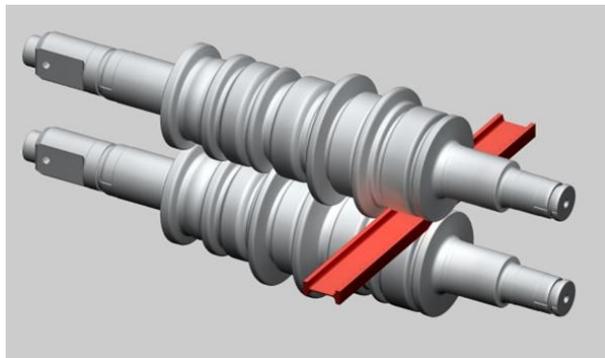


Figura 1. Cilindros do laminador debastador de perfis estruturais.

1.1 Evolução das Qualidades

Dentro da teoria de evolução na qualidade dos cilindros, pode-se verificar a mudança nas qualidades aplicadas desde o início de operação do laminador até as melhores qualidades desenvolvidas atualmente conforme mostrado na Figura 2. Estas alterações são possíveis tão logo se consiga uma estabilidade operacional e, que se tenham os parâmetros operacionais necessários tais como adequadas pressões do sistema de refrigeração e de cargas de laminação menores, suportando o avanço na melhoria do desempenho. É evidente que a mudança na qualidade de aço baixo carbono forjado para aço adamite, implica na melhoria a resistência ao desgaste superficial dos cilindros. Este fator se deve a mudança de composição química e do das etapas de fabricação, com destaque ao processo de tratamento térmico dos cilindros. Conseqüentemente, conseguimos desta forma avançar um pouco na dureza final dos cilindros. Pode-se verificar ainda que, conforme a Figura 2 ocorre um decréscimo no preço do cilindro nesta mudança.

Em contrapartida, tem-se uma redução na resistência às trincas térmicas e, redução significativa na resistência mecânica deixando os cilindros mais susceptíveis as quebras.

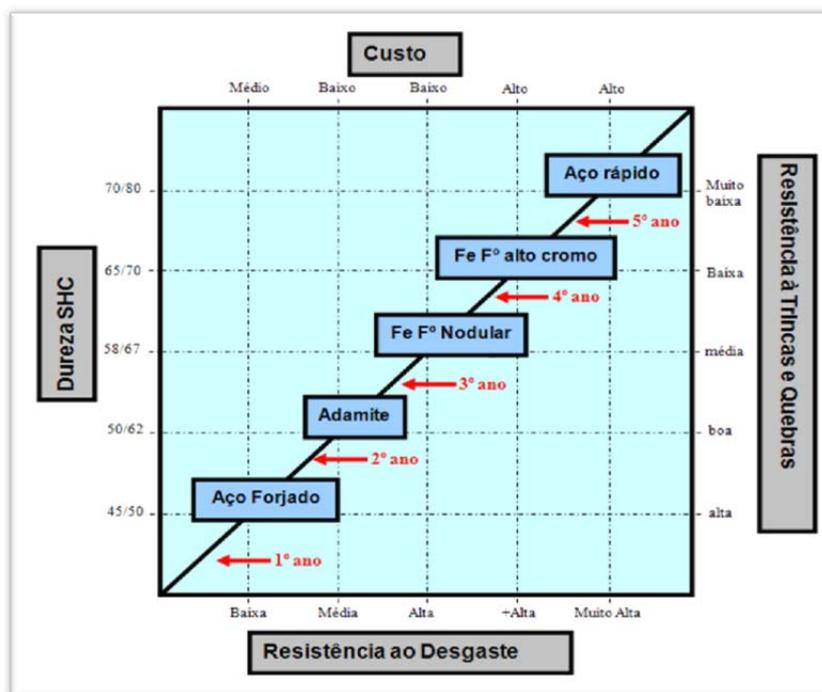


Figura 2. Evolução nos materiais dos cilindros.

1.2 Mecanismos de Degradação dos Cilindros

Os cilindros utilizados no início de operação foram de aço baixo carbono forjado e, especificados de forma a ter uma maior tenacidade e, pouca preocupação em relação à resistência ao desgaste para garantir o início de operação sem acidentes graves. Com a estabilidade operacional, cilindros em aço adamite foram adquiridos, principalmente os adamite objetivando nesta etapa melhores resultados de desempenho, ou seja, menor desgaste superficial.

Os mecanismos de consumo dos cilindros variam de laminador para laminador, de cadeira para cadeira, dependendo das solicitações impostas aos cilindros. As principais solicitações para laminações de longos são:

- atrito com o material laminado;
- ciclagem mecânica devido aos esforços de laminação;
- ciclagem térmica;
- choque térmico e choque mecânico.⁽¹⁾

Neste trabalho, focou apenas nos itens relativos ao desgaste superficial dos cilindros. O desgaste é uma degradação indesejável caracterizado pela operação simultânea de alguns mecanismos, como abrasão (remoção do material por riscamento), oxidação (arrancamento do filme de óxido formado durante a laminação), adesão (fadiga de contato) e fadiga térmica.

A dureza do cilindro é uma das propriedades físicas que tem grande influência na resistência ao desgaste. Entretanto, não se pode considerá-la isoladamente em razão das características microestruturais (tipo, morfologia, tamanho, fração volumétrica e, distribuição dos carbonetos eutéticos) e a composição química do material utilizado para os cilindros também podem alterar a resistência ao desgaste. O tipo de material laminado em contato com os cilindros, a temperatura da região de contato, o tipo e forma de aplicação de agentes refrigerantes e lubrificantes e a pressão e o arco de contato também afetam no desgaste.⁽²⁾

O problema principal é o número ilimitado de parâmetros que podem influenciar no desgaste, que são:

- material em teste: composição, microestrutura, dureza;
- material em processo, o material abrasivo, que pode ser metálico, cerâmico;
- condições de desgaste tipo ângulo de mordida, pressão, velocidade, temperatura, sistema de refrigeração etc.; e
- e a interação de agentes, como ar, água, lubrificantes, e todos os tipos de agentes corrosivos.

E todos estes parâmetros podem variar amplamente então é fácil de entender que é quase impossível estabelecer regras simples ou leis que descrevam o desgaste.⁽³⁾

Os parâmetros escolhidos para quantificar ou qualificar o desgaste foram os de inspeção visual e medição do desgaste, feito pela quantidade de material removido nas reusinagens dos cilindros. Consequentemente, foram coletados os dados para definir um parâmetro de desempenho, largamente utilizado em laminações e, definido pela tonelagem laminada por milímetros consumidos por campanha de laminação aplicada aos dois tipos de cilindros (materiais) em análise. Foi também medida a dureza no final de vida útil dos cilindros de forma a compararmos com a dureza teórica inicial.

2 MATERIAL DOS CILINDROS E SUAS PROPRIEDADES

Os cilindros de laminação são componentes de grande importância na produção de laminados, haja vista que mantêm contato direto com o material sendo processado, sendo um dos principais responsáveis por sua forma e acabamento superficial. Outro fator que destaca os cilindros como elementos de grande importância na laminação é o seu elevado preço, representando um dos principais itens no custo de produção em uma usina siderúrgica. Além disso, as interrupções no processo de laminação devido à necessidade de troca, programada ou não, dos cilindros afetam sobremaneira a produtividade de uma linha de laminação. Observa-se que os cilindros de laminação possuem uma vida útil limitada em decorrência do desgaste desenvolvido na operação a que estão sujeitos. Genericamente se utiliza o termo desgaste do cilindro para indicar a deterioração de sua superfície ou a formação de trincas extensas e profundas.⁽³⁾

Hoje em dia, tais são os níveis de qualidade exigida na laminação, que não faz sentido se falar em cilindros de ferro fundido ou aço que não sejam ligados. A presença, portanto, de elementos de liga, como Cr, Ni, Mo, V, W termina por alterar sobremaneira os campos das fases constituintes do diagrama de equilíbrio ferro-carbono clássico. Essas alterações de cunho termodinâmico, associados às múltiplas variáveis cinéticas que envolvem as transformações de fases nos metais (velocidade de resfriamento, grau de inoculação, nível de impurezas etc.) tornam possível, por exemplo, a existência de cilindros de 1,4% de C com grafita livre na estrutura, ou cilindros em aço com até 2,5% C (campo que já seria dos ferros fundidos).⁽⁴⁾

2.1 Qualidade dos Cilindros

Nos laminadores de produtos longos, os cilindros de aço baixo carbono forjado são utilizados nas cadeiras de desbaste e intermediárias. O teor de carbono pode variar na faixa de 0,11 a 2,2% e, o teor de Cr é mais baixo (1,1 a 1,65%) do que as

composições para cilindros de aço baixo carbono forjado para laminadores de produtos planos.

Os cilindros de aço baixo carbono forjado são aplicados em laminadores desbastadores onde, eventualmente não se tem a tenacidade necessária com cilindros de ferro fundido, por exemplo. Nos cilindros em estudo, foi analisada detalhadamente a micrografia conforme a Figura 3.



Figura 3. Microestrutura de aço baixo carbono forjado em análise.

Os cilindros de aço ligados ao Cr podem ser a princípio separados em 2 grupos: médio carbono até 1,5 % e alto carbono até 2,5 %. Os aços fundidos designados por adamite são aços de teores de carbono na faixa de 1,5% a 2,5%C e teores de cromo entre 1 a 1,5%. Os cilindros de aço adamite ao Cr podem também conter adições de até 1,5%Ni e até 0,6%Mo.⁽⁵⁾ A forma e distribuição no qual a grafita é depositada dependem de um número de fatores, tal como temperatura de vazamento, nucleação, velocidade de resfriamento entre outras. As formas básicas são grafita em flocos, nódulos ou esferoidais.⁽⁵⁾ Os cilindros analisados neste trabalho possuem uma matriz perlítica com carbonetos finais bem distribuídos que dependem da quantidade de elementos de liga. Este material tem uma alta resistência ao desgaste, reduzida tenacidade e boa aderência devido à grafita livre.

Em termos de tratamentos térmicos, é aplicada a têmpera seguida de revenimento. A microestrutura final pode ser vista na Figura 4.

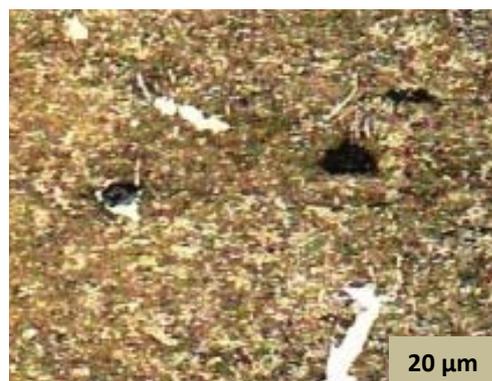


Figura 4. Microestrutura do aço adamite.

2.2 Composição Química dos Cilindros

A seguir, são apresentadas as faixas de composição químicas dos dois tipos de cilindros (materiais) utilizados neste trabalho, conforme Tabelas 1 e 2. Foi verificada a diferença de composição entre os materiais, como visto o aço baixo carbono

forjado (teores de carbono entre 0,5% e 1,0%) do aço adamite (teores de carbono entre 1,7% e 1,9%). Em termos microestruturais, a influência do silício na formação da grafita e, do níquel na obtenção de maior quantidade de carbonetos na estrutura do cilindro adamite define as propriedades finais.

Tabela 1. Composição química do cilindro em aço baixo carbono forjado

FORNECEDOR A									
	%C	%Si	%Mn	%Ni	%Cr	%Mo	%P	%S	%V
Mín.	0,50	0,20	0,85	0,10	1,10	0,25	---	---	---
Máx.	1,00	0,55	1,25	0,40	1,50	0,55	0,15	0,02	0,02

Tabela 2. Composição química do cilindro em aço adamite

FORNECEDOR B									
	%C	%Si	%Mn	%Ni	%Cr	%Mo	%P	%S	%V
Mín.	1,70	0,80	0,70	0,20	1,00	0,10	---	---	---
Máx.	1,90	1,20	1,00	1,50	1,50	0,40	---	---	---

2.3 Propriedades Mecânicas dos Cilindros

Para esta aplicação, em laminador desbastador, é fundamental se ter a maior resistência mecânica (tenacidade) que, é máxima quando se utiliza cilindros em aço baixo carbono forjado, conforme Tabela 3.

É verificado que para os cilindros adamite estes valores de resistência mecânica são reduzidos para praticamente a metade se comparado aos aços baixo carbono (forjados).

Tabela 3. Limite de resistência mecânica dos materiais

PROPRIEDADES MECÂNICAS				
FORNECEDOR	Limite de resistência		Limite elástico	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
A	1200	1500	1100	1400
B	400	500	380	480

A Tabela 4 mostra além da tenacidade maior em aço baixo carbono forjado, o aumento na resistência a fadiga térmica, fato este devido a maior facilidade de transferência de calor nestes materiais e também a menor resistência ao desgaste, definida principalmente pela microestrutura do material.

Tabela 4. Propriedades dos cilindros (materiais)

Propriedades / Material	Tenacidade	Resistência a Fadiga Térmica	Resistência ao Desgaste
Aço Forjado	↑↑↑↑↑	↑↑↑↑↑	↑
Aço Adamite	↑↑↑↑	↑↑↑↑	↑
Ferro Fundido Nodular	↑↑↑	↑↑↑	↑↑

2.4 Dureza dos Cilindros

A dureza, neste caso medida em shore, é resultado do processo de fabricação, composição química e tratamento térmico ao quais os cilindros foram submetidos. A Figura 5 nos mostra as curvas de dureza shore (teóricas) dos dois cilindros em análise ao longo de sua camada útil a partir da superfície. Neste caso, confirmamos

uma pequena redução de dureza do aço adamite (fornecedor B) para o aço baixo carbono forjado (fornecedor A).

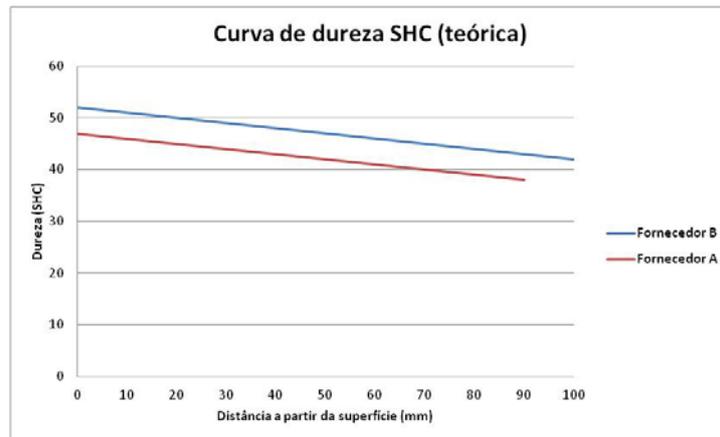


Figura 5. Dureza teórica dos cilindros (materiais).

3 RESULTADOS

3.1 Inspeção Visual

Inicialmente, foram identificados os dois grupos de cilindros (aço baixo carbono forjado e aço adamite) e, após cada campanha de laminação, foram feitas análises visuais e retiradas fotos da superfície dos cilindros. Neste tipo de laminação, o desgaste mais significativo é nas laterais dos canais. Podemos verificar conforme a Figura 6, itens: (a), (b), (c) e (d) a degradação da superfície após laminação utilizando cilindros em aço baixo carbono forjado. Já na Figura 7, itens: (a), (b), (c) e (d) dos cilindros em aço adamite, é evidente uma menor degradação superficial, ou seja, menor desgaste.

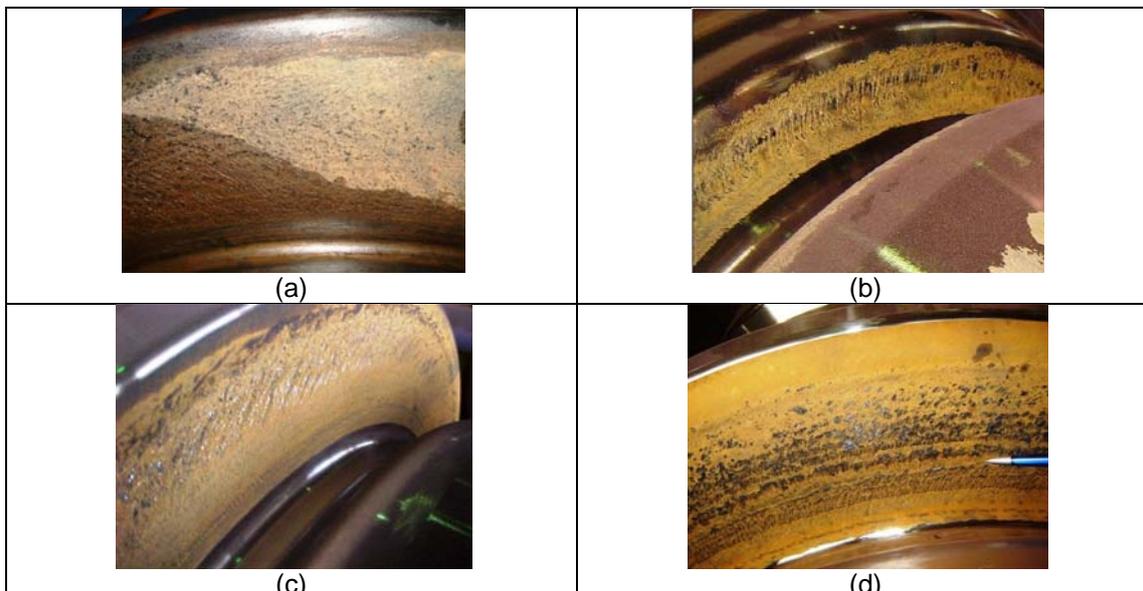


Figura 6. Análise superficial dos canais dos cilindros em aço baixo carbono forjado.

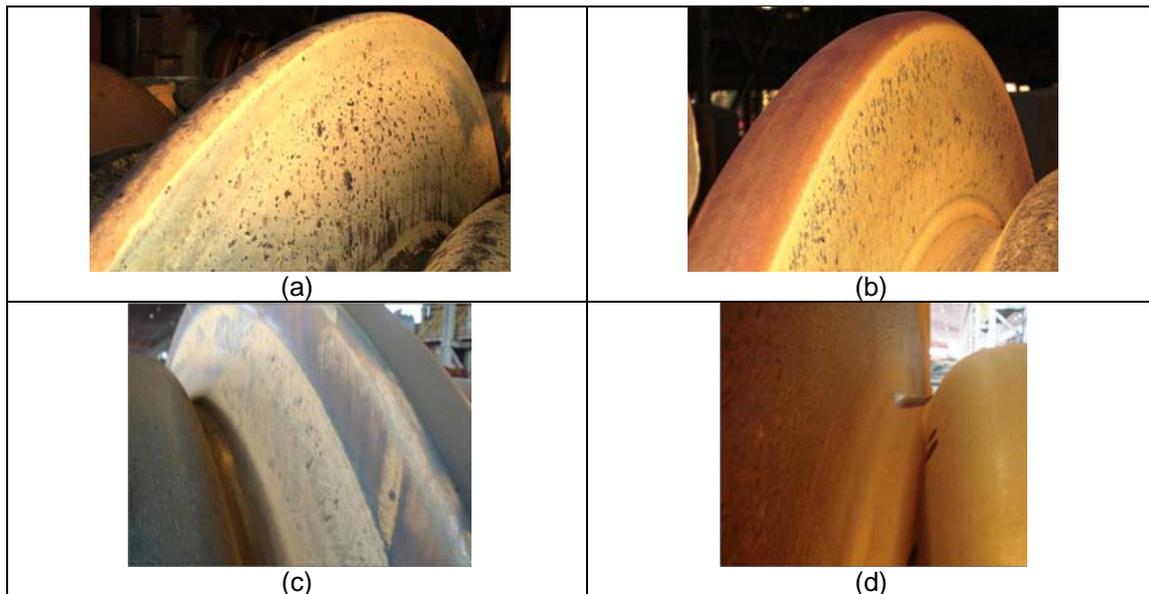


Figura 7. Análise superficial dos canais dos cilindros em aço adamite.

3.2 Consumo de Cilindros

Em seguida, foram realizadas coletas dos dados referentes aos dois grupos de cilindros analisados e, calculado o consumo médio durante as reusinagens dos cilindros. Conforme a Figura 8, o corte médio nos cilindros em aço baixo carbono forjado (E, F, G e H) foi de 8,179 mm no diâmetro e, em cilindros de aço adamite (A, B, C e D) de 6,917mm no diâmetro em cada reusinagem.

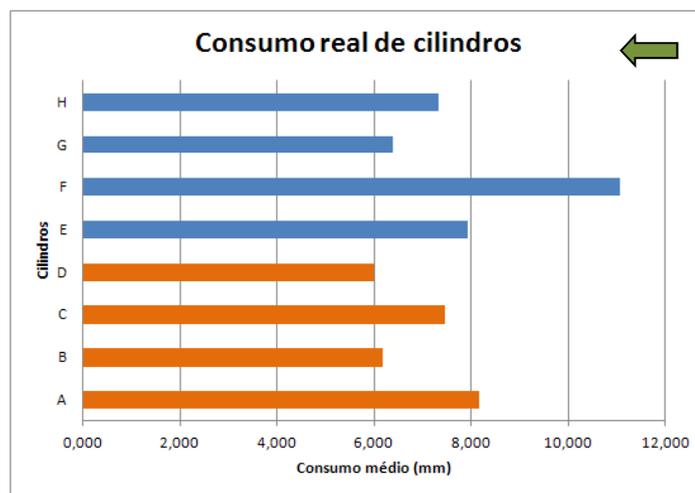


Figura 8. Consumo médio dos cilindros.

3.3 Desempenho dos Cilindros

Em termos de desempenho de cilindros, é mundialmente utilizada relação de tonelagem laminada por milímetros consumidos (t/mm) durante a reusinagem dos cilindros. E, esta medida foi utilizada para determinar os valores de desempenhos dos dois grupos de cilindros em análise neste estudo. A Figura 9 mostra o gráfico com os resultados obtidos com os dados coletados e, tivemos uma média de 1258 t/mm nos cilindros em aço adamite e, de 399t/mm para os cilindros em aço baixo carbono forjados, conseguindo desta forma um aumento de 68% no desempenho

dos cilindros. O grupo (A, B, C, D) dos cilindros em aço fundido e o grupo (E, F, G, H) dos cilindros em aço baixo carbono forjados demonstram estes dados conforme a Figura 9.



Figura 9. Desempenho dos cilindros.

3.4 Dureza Real dos Cilindros

Foram medidas também as durezas dos cilindros no final de vida útil dos grupos de cilindros, aço adamite (A, B, C e D) e aço baixo carbono forjado (E, F, G e H) que é, um dos dados mais importantes para conhecer o comportamento ao longo da vida e, uma comprovação da curva de dureza teórica dos cilindros. Os resultados podem ser visualizados no gráfico da Figura 10.

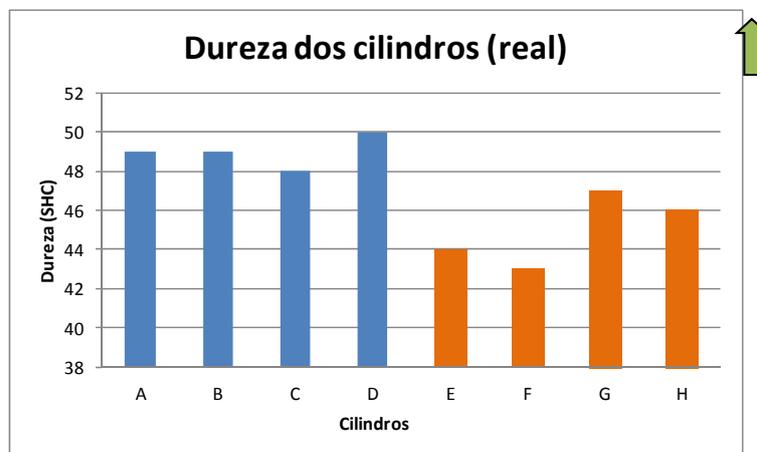


Figura 10. Dureza real dos cilindros.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos, conforme as inspeções e as medições realizadas comprovaram a melhoria na redução do desgaste com a mudança da especificação dos cilindros. A microestrutura dos cilindros em aço adamite foi determinante nos melhores resultados de resistência ao desgaste e, comprovados com os seguintes resultados:

- Em termos de inspeção visual, a superfície dos cilindros após as campanhas, apresentaram uma melhor qualidade ou um menor desgaste.

- Para o consumo em mm(cortes efetuados) de cilindros após cada campanha, houve uma redução de 18,24% dos cilindros em aço adamite para os cilindros em aço baixo carbono forjados.
- Em termos de desempenho, medidos em tonelagem/mm, houve uma redução no consumo em mm e aumento nas tonelagens laminadas e, aumento de 67% na tonelagem/mm com os cilindros em aço adamite.
- A dureza medida tanto no início quanto no fim de vida útil permitiu confirmar a curva de dureza teórica com os valores reais medidos, em ambos os grupos de cilindros.

5 CONCLUSÕES

O trabalho permitiu aumentar o conhecimento sobre os aspectos que impactam na degradação superficial dos cilindros, principalmente em relação ao desgaste. A evolução das qualidades de cilindros é um trabalho que nunca para, uma vez que, as empresas fornecedoras estão em constante desenvolvimento de novas qualidades buscando aliar as melhores propriedades as suas aplicações.

Para esta aplicação, melhorias em sistemas de refrigeração, melhoria na eficiência da descarepação e, em alguns casos, instalação de sistema de lubrificação com misturas de óleo/água podem contribuir na redução da evolução do desgaste durante a laminação.

Agradecimentos

Agradecemos a contribuição e participação das equipes envolvidas neste trabalho, em especial a Oficina de cilindros da Laminação de Perfis e a equipe da área Comercial da Gerdau da Unidade de Ouro Branco - MG.

REFERÊNCIAS

- 1 NOGUEIRA, M. A. S. Cilindros para não planos: Materiais, processos de fabricação e principais causas de consumo. 3ª Edição, São Paulo, página 2 e 6, 1993.
- 2 RIZZO, E.M.S. Processos de Laminação dos Aços: Uma introdução. São Paulo, ABM, 2007.
- 3 SCHRODER, K. H. A basic understanding of the mechanics of rolling Mill rolls, March 2003. Disponível em <http://www.esw.co.at>.
- 4 ASM (American Society for Metals. Friction, lubrication and wear technology. In: Metals Handbook, Vol. 18, 1992.
- 5 VILLANUEVA, R.A. Cilindros laminadores fundidos, Curso de Laminacion – Instituto Argentino de Siderurgia, 1979.