

# ESTUDO DOS EFEITOS DINÂMICOS EM UM PROCESSO DE LAMINAÇÃO A FRIO<sup>1</sup>

Gerson Alves Inácio<sup>2</sup>  
Adauto Martins Assis<sup>3</sup>  
Sérgio Domingos Marinho Junior<sup>4</sup>  
Jaime Pereira Gouvêa<sup>5</sup>

## Resumo

As marcas de vibração sobre a superfície da tira de aço laminada são originadas por um fenômeno denominado chatter, que ocorrem em processos de laminação a frio e são, certamente, uma das preocupações das empresas no que tange a garantia da qualidade do produto. Este estudo apresenta análises superficiais realizadas em materiais de tiras de aço que apresentavam estas marcas, sendo aplicadas metodologias para estudos do perfil de rugosidade visando auxiliar o estudo das causas e a influência do comportamento do laminador na origem das mesmas. Para tanto foram realizados ensaios em locais e equipamentos diferentes para uma melhor identificação do problema, onde foi destacado o perfil ondulado da tira apresentando uma variação sutil de rugosidade, com uma variação mínima de pico e vale, gerando uma sutil descoloração influenciada pelo efeito de chatter de 5ª oitava.

**Palavras-chave:** Laminação a frio; Marcas de vibração; Rugosidade superficial.

## STUDY OF THE DYNAMIC EFFECTS IN A PROCESS OF COLD MILL

### Abstract

The marks of vibration on the surface of the strip of laminated steel are caused by a phenomenon known as chatter, which occur in processes of the cold rolling and are, certainly, one of the preoccupations of the enterprises as regards guarantee of the quality of the product. This study presents superficial analyses carried out in materials of strips from steel that were presenting these marks, and applied methodologies to study the profile of roughness aiming to help the study of the causes and the influence of behaviour of the rolling mill in the origin of same. For so much tests were carried out in places and different equipments for a better identification of the problem, where the wavy profile of the strip was detached presenting a subtle variation of roughness, with a minimum variation of peak and valley, producing a subtle discoloration influenced by the effect of chatter of 5th octave.

**Key words:** Cold mill; Marks of vibration; Superficial roughness.

1 *Contribuição técnica ao 45º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 21 a 24 de outubro de 2008, Ipojuca - Porto de Galinhas - PE.*

2 *Engenheiro Especialista da Gerência de Redução a Frio da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) – Volta Redonda, RJ – Brasil.*

3 *Engenheiro Mecânico, Dsc.- Professor da Universidade Federal Fluminense (UFF) – Volta Redonda, RJ - Brasil.*

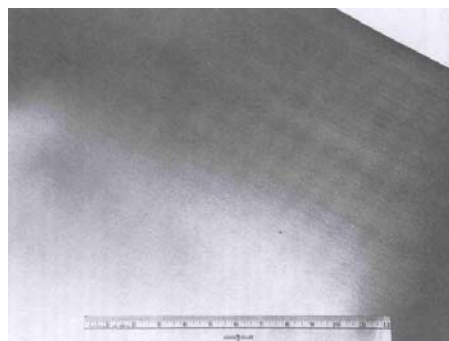
4 *Engenheiro de Operação da Gerência de Redução a Frio da CSN – Volta Redonda, RJ – Brasil.*

5 *Engenheiro Mecânico, Dsc. – Professor da Pós - Graduação da UFF – Volta Redonda, RJ - Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

As superfícies laminadas, ocasionalmente exibem mais ou menos variações de refletividade da superfície. A forma alternada de bandas claras e escuras formada perpendicularmente na direção de laminação está associada com o período do movimento de deslize avante da tira nos cilindros de trabalho, onde sob certas condições, o relativo deslizamento de duas superfícies ocorrerá de uma forma intermitente, onde o movimento de prende – desliza representa uma oscilação usualmente associada com uma variação de coeficiente de atrito com velocidade relativa ou por contatos estáticos originados por vibrações dos equipamentos envolvidos.<sup>(1)</sup>

As possíveis causas estão relacionadas com a variação do comportamento do conjunto cilindro de trabalho e cilindro de encosto sobre o material laminado, levando a surgir bandas claras e escuras que são igualmente espaçadas sobre a tira laminada (Figura 1), devido possivelmente a um efeito de variação de rugosidade. Este efeito está associado ao fenômeno de chatter no laminador definido como: torsional, se a frequência acontece na faixa de 15 a 25 Hz, originada pela frequência dos acionamentos; de terceira oitava, se a frequência acontece na faixa de 150 a 250Hz, criada pela interação de forças entre a tira juntamente com as características ressonantes do laminador; e de quinta oitava, se a frequência ocorre na faixa de 400 a 1000Hz excitada pelos cilindros de trabalho, geralmente quando o laminador está em alta velocidade.



Fonte: CSN

**Figura 1.** Marcas de vibração na superfície da tira.

Examinando as amostras a serem analisadas, verificou-se que as distâncias destas bandas escuras e claras sobre a superfície variam em torno de 12 mm, e apresentam -se com marcas opostas entre a superfície superior e inferior da chapa, ou seja, apresentando uma marca escura na face superior e clara na face inferior e vice-versa. O fato inconveniente é que os efeitos produzidos por estas frequências, na maioria das vezes geram marcas superficiais sutis podendo somente ser observadas por alguns métodos de ensaios de superfícies.

O objetivo deste trabalho consiste em avaliar esta diferença de coloração proveniente da marca de vibração na superfície da tira utilizando para isso alguns métodos e equipamentos para verificação das amostras, analisando a influência da rugosidade e definindo o perfil da tira, seja por variação de espessura ou por forma de onda, utilizando para isso ensaios realizados em laboratórios da UFF –Volta Redonda –RJ: no Centro de Pesquisas da CSN (Companhia Siderúrgica Nacional), localizada em Volta Redonda -RJ e em um laboratório da Quaker Chemical, na Suécia, para verificação do comportamento deste efeito sobre o material laminado a

frio e para uma certificação do problema analisado por equipamentos diferentes e apresentando no trabalho a seguir.

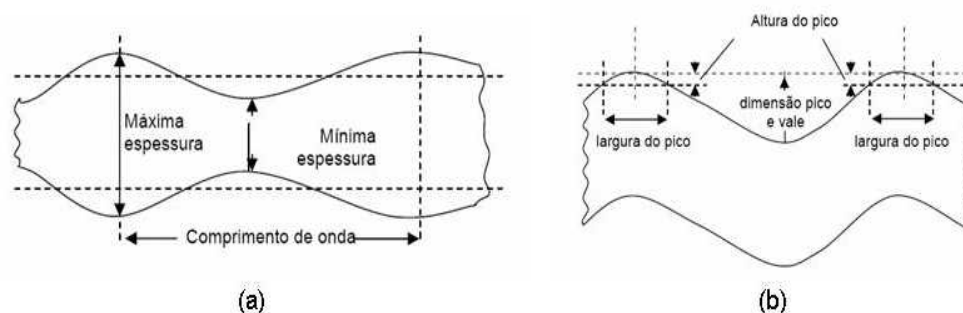
## 1.1 Revisão Bibliográfica

Instrumentos comercialmente disponíveis freqüentemente é o caminho mais rápido para obtenção de um perfil de superfície com magnitude precisa. Uma direção de observação da superfície irregular pode ser feita por um microscópio ótico. A amplificação da altura da rugosidade é sempre desejável e pode ser realizado pelo preparo de uma seção do objeto analisado. Um perfilômetro ou uma fotografia de uma micro seção, apresenta em geral, uma boa indicação de topografia de superfície, providenciando dados exatos sobre a distribuição geral das rugosidades.<sup>(1)</sup>

Além da mudança de refletividade da superfície, que é um parâmetro de difícil medição, a tira que está sendo laminada sob condições de chatter pode exibir modulações de espessura e/ ou ondulações na direção de laminação. As modulações de espessura são mais convenientemente medidas por perfilômetros que são os mais utilizados para medir o perfil da seção transversal de tira laminada. Ao ser realizado um perfil longitudinal de espessura são observados os seguintes pontos:<sup>(2)</sup>

a) A profundidade da modulação da espessura da tira - Figura 2(a).

b) O comprimento de onda (ou a separação das posições adjacentes de máxima espessura)- Figura 2(b).



**Figura 2. (a)** Variação na espessura da tira e **(b)** ondulação devido ao chatter.<sup>(2)</sup>

Os comprimentos de onda destas marcas de chatter são melhores avaliadas pelas medidas dos comprimentos de um grupo de 10 a 20 e computando os valores medidos periodicamente. Nas corrugações, os picos das oscilações são determinados para uma largura finita considerando a rugosidade de superfície da tira e as propriedades físicas da tira (espessura, elasticidade e outros).<sup>(2)</sup>

### 1.1.1 Parâmetros de rugosidade de superfície

Um dos problemas que enfrentamos ao realizar qualquer tipo de medição consiste em eliminar ou filtrar alguns fatores indesejáveis que influenciam o resultado. A ondulação ou textura secundária pode ser considerada como um erro macro geométrico, mas a tendência é avaliá-la com os mesmos meios que se avalia a rugosidade.

Dentro da metrologia de superfície não se mede a dimensão de um corpo, e sim os desvios em relação a uma forma ideal, desta maneira podemos usar como linha de referência uma forma ideal. A linha de referência utilizada é a Linha Média e

a norma NBR ISO 4287 a define como a linha de perfil de rugosidade com a mesma forma geométrica, paralelamente à direção do perfil dentro de um comprimento de medição unitário.<sup>(3)</sup> Os resultados são apresentados como sendo o valor médio de vários comprimentos de medição unitários, sendo indicada a quantidade de comprimentos de medição. A linha de referência é para medição da rugosidade da linha média de ondulações do perfil efetivo gerada por um filtro.<sup>(4)</sup>

Foram utilizados os seguintes parâmetros de rugosidade para as análises comparativas: Ra, Rq e Rz. A Rugosidade média Ra que é o valor médio aritmético de todos os desvios do perfil de rugosidade, é determinado pela equação (1), onde  $y(x)$  são os desvios do perfil de rugosidade.

A Rugosidade média Rq, equação (2) conhecida como RMS (Root Mean Square) é o valor médio quadrático de todos os desvios do perfil de rugosidade, sendo o padrão de desvio de altura de perfil, Figura 3(a).

A Rugosidade média Rz, Figura 3(b) é o valor médio absoluto dos cinco maiores picos e os menores vales, definida pela equação (3).

$$R_a = (1/l) \int_0^l |y(x)| dx \quad (1)$$

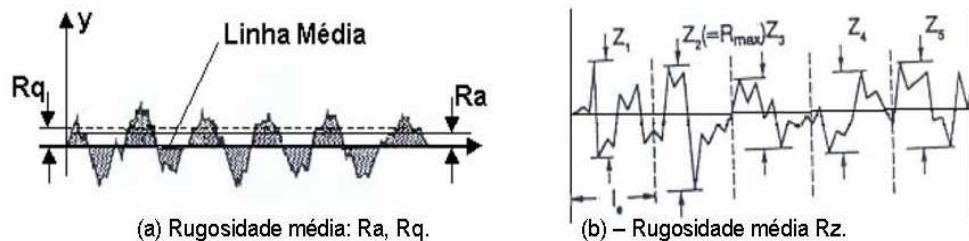


Figura 3. Parâmetros de Rugosidade.<sup>(4)</sup>

$$R_q = \sqrt{(1/l) \int_0^l y^2(x) dx} \quad (2)$$

$$R_z = (1/5) \cdot (Rz_1 + Rz_2 + Rz_3 + Rz_4 + Rz_5) \quad (3)$$

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram retiradas amostras de tiras que apresentaram o problema de marca de vibração e foram submetidas a três análises em locais diferentes, utilizando para isso três amostras oriundas do mesmo material e grau e que apresentavam as marcas.

### 2.1 Análise de Rugosidade de Superfície – UFF

Nesta Análise foi utilizado o Rugosímetro Mitutoyo – Filtro Gauss com range automático e Cut Off: 0,8 x 5 mm, do Laboratório de ensaios mecânicos da UFF em Volta Redonda –RJ.

## 2.2 Análise de Rugosidade de Superfície – Quaker

Realizou-se uma identificação do defeito com o Perfilômetro Ótico Wyko NT 1100 do Laboratório da Quaker Chemical, na Suécia. O primeiro parâmetro que foi medido foi o valor de Ra, mas os valores de Ra nas faixas escuras e claras são iguais. Na ciência da análise de texturas de superfícies, contudo, existe mais que um parâmetro para quantificar aspectos de superfície: superfícies de igual valor de Ra podem ainda ser bem diferente. <sup>(5)</sup>

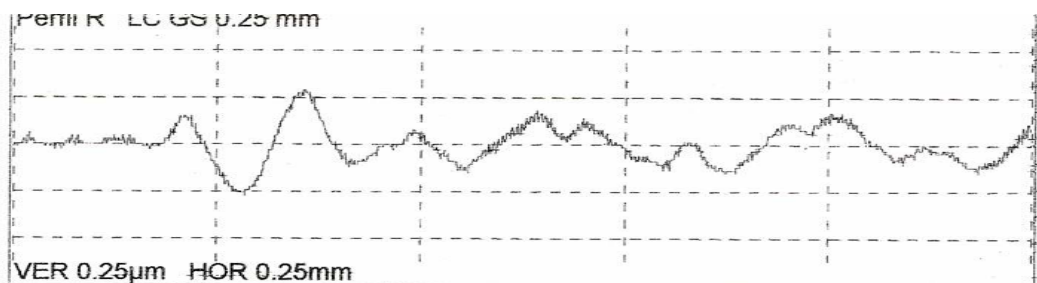
## 2.3 Análise de Superfície Utilizando MEV - CSN

O objetivo da análise destas imagens seria verificar a existência de uma correlação entre as duas superfícies laminadas, da mesma chapa analisada, verificar se existe uma influência direta do material processado com a diferença de tonalidade, se as características superficiais deste material poderia estar contribuindo com esta variação de tom.

Foram realizados ensaios no Microscópio Eletrônico de Varredura DSM 962 (Digital Scanning Microscope) do Laboratório de Pesquisas da CSN – Companhia Siderúrgica Nacional sendo registradas as fotos mostradas abaixo, através do detector de imagens SE (elétrons secundário) que proporciona uma imagem tridimensional.

## 3 RESULTADOS

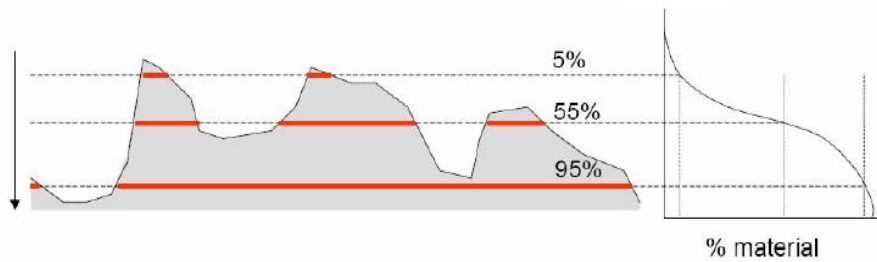
Na primeira análise, utilizando um rugosímetro a laser, obtivemos o perfil de rugosidades mostrado na Figura 4, abaixo:



Fonte: UFF

**Figura 4.** Comparação de parâmetros de rugosidade das linhas claras e escuras.

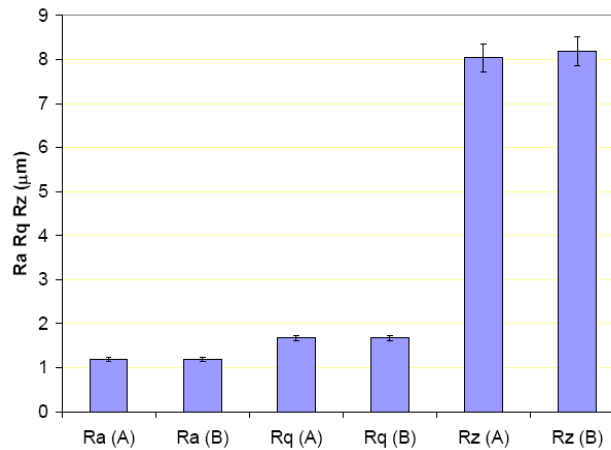
Na segunda análise utilizando recursos de laboratório obtivemos uma curva de fração de contato (Curva de Abbott) que indica a quantidade de material em relação a um nível de corte, isto descreve como os componentes picos (metal; material) e vales são distribuídos, ou em outras palavras, isto representa a proporção de material quando corta a superfície a uma certa altura. Isto é importante com respeito ao desgaste de picos elevados, equivalentes à variação de superfície (variação de uma carga) (Figura 5). <sup>(5)</sup>



**Figura 5.** Ilustração da Curva de Abbott, com um plano imaginário cortando completamente a superfície.<sup>(5)</sup>

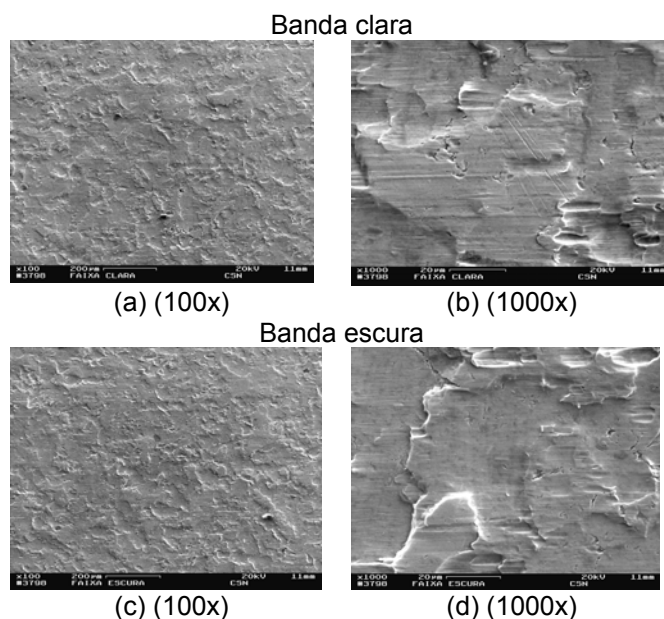
As superfícies (linhas claras e escuras) foram analisadas em 12 posições ao longo das linhas para obter a significância estatística. Todas 24 áreas foram analisadas para os mencionados parâmetros de textura de superfície.

Como pode ser visto na Figura 6, nenhuma significativa diferença existe entre os parâmetros de textura da superfície nas bandas claras e escuras.



**Figura 6.** Comparação de parâmetros de rugosidade das linhas claras e escuras.<sup>(5)</sup>

Na terceira análise utilizando o MEV obtivemos as fotos que foram realizadas sobre a superfície da chapa, considerando o lado escuro e lado claro da marca de vibração, cobrindo uma faixa de 12 mm de largura e foram ampliadas 100 e 1000 vezes, conforme apresentadas nas fotos das Figuras 7 (a) a (d) para cada lado analisado.



Fonte: CSN

**Figura 7.** Fotos tira no Microscópio de Varredura Eletrônica.

## 4 DISCUSSÃO

Nos ensaios que foram realizados constata-se que as amostras analisadas não possuíam variação de espessuras, se apresentando assim em forma de ondulações. Levando-se em conta que o comprimento de onda da amostra era em torno de 12mm, que a uma velocidade média de 900m/min, geraria uma frequência de aproximadamente 1400 Hz, gerando o chamado chatter de 5ª oitava, causado pela vibração em fase dos cilindros de trabalho.

Na primeira análise observam-se os valores muito baixos de rugosidade, onde a diferença destaca-se na casa de menos de 01 micrón.

As bandas claras e escuras foram observadas no outro lado da tira, mas elas não se coincidem. A banda clara coincide sobre o lado reverso com a banda escura.

A análise topográfica qualitativa, a princípio, revela superfícies idênticas. Contudo, a análise quantitativa da topografia mostra que a área escura possui maior área de vale. Este fato mostrado pelo MEV indica, provavelmente, que a área escura possui maior rugosidade superficial em relação à área mais brilhante. <sup>(6)</sup>

## 5 CONCLUSÃO

A superfície topográfica é e tem sido um tópico de fundamental importância. Várias técnicas tem sido criada para medir e registrar aspecto de superfície, amplificando a altura de rugosidade para fazer uma forma melhor de conferência para os olhos.

Os defeitos de superfícies visíveis com o olho nu são algumas vezes difíceis para quantificar com o perfilômetro de superfície. Uma propriedade que algumas vezes mostra alguma diferença é a intensidade da refletividade. Sempre quando todos parâmetros de rugosidade são iguais, a refletividade pode ainda ser diferente, devido o fato de que a superfície áspera em uma área é ligeiramente suave comparado à outra área. Esta intensidade de refletividade foi observada, porém

nenhuma diferença foi observada entre as bandas claras e escuras, sendo necessário outros estudos para o avanço desta pesquisa.

Esta diferença de tonalidade (clara e escura) que, é muito leve, é devida aos efeitos dinâmicos do laminador provocado pelo fenômeno do chatter, não sendo causada pelo material processado. O efeito de diferença de tonalidade é similar ao amassado de pelos, ou seja, algo muito sensível.

Nos três ensaios realizados pode-se perceber uma melhor identificação do problema na utilização do rugosímetro (item 2.1), apresentando uma melhor sensibilidade da variação de rugosidade e no MEV, onde se verificou a diferença nas quantidades de picos e vales caracterizando as áreas escuras como as áreas com maior rugosidade.

## **Agradecimentos**

A todas os amigos CSN – Companhia Siderúrgica Nacional (Equipe da Gerência de Redução a Frio e Gerência de Desenvolvimento e Pesquisa), UFF – Universidade Federal Fluminense e Quaker Chemical que colaboraram direta e indiretamente nas informações que relevaram esta pesquisa.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 SCHEY, J. A. Metal Deformation Processes - Friction and Lubrication, Marcel Dekker Inc., New York, 1970.
- 2 ROBERTS, W. L. Flat Processing of Steel. Marcel Dekker Inc, New York, 1988.
- 3 NBR ISO 4287, Especificações Geométricas do Produto (GPS) – Rugosidade: Método do Perfil – Termos, Definições e parâmetros da rugosidade. ABNT, Rio de Janeiro, 2002.
- 4 MAHR, Perthometer Parâmetros de rugosidade, Mahr GmbH, Göttingen, Alemanha, 1997.
- 5 SMEULDERS, B. Vibration Marks at CSN #3. Surface Analysis Report of Quaker Chemical. Suécia, 2007.
- 6 OLIVEIRA, Augusto César L. de, Resultados da Caracterização do Material BZ apresentando o de Defeito Marca de Vibração – CSN / GGDP / GDZ, 2006.