

# AVALIAÇÃO TRIDIMENSIONAL DA TEXTURA SUPERFICIAL DO AÇO IF LAMINADO A FRIO NA USIMINAS<sup>1</sup>

Flávio de Oliveira Mendonça<sup>2</sup>  
Aldo Henrique de Almeida Barbosa<sup>3</sup>  
Geralda Cristina Durães de Godoy<sup>4</sup>

## Resumo

Para avaliar tridimensionalmente a evolução da textura superficial das chapas de aço *Interstitial Free* (IF) da Usiminas, em função do comprimento laminado nos processos de laminação a frio e de encruamento, foram selecionadas nove bobinas, laminadas a frio e encruadas em regiões específicas do comprimento laminado de cada seqüência de laminação: inicial, intermediária e final. Os valores dos parâmetros de perfilometria tridimensional foram dispostos graficamente, relacionando-se a tendência de evolução da textura superficial à região do comprimento laminado. Tanto para o processo de laminação a frio quanto para o de encruamento, os resultados das medições nas amostras indicaram que os valores dos parâmetros de amplitude decresceram com o aumento do comprimento, devido ao desgaste natural do perfil dos cilindros de trabalho. Também foi verificado que o aspecto da textura superficial tendeu a apresentar uma distribuição das amplitudes próximas da linha média, não sendo um perfil do tipo platô ou do tipo com grande concentração de material abaixo da linha média.

**Palavras-chave:** textura superficial, perfilometria tridimensional, laminação a frio.

---

<sup>1</sup> Contribuição Técnica ao 41º Seminário de Laminação da ABM - Processos e Produtos Laminados e Revestidos; Joinville, SC, 26 a 28 de outubro de 2004.

<sup>2</sup> Engenheiro Metalurgista, M.Sc., ASQ/CQE; Gerência de Laminação a Frio da Usiminas; Ipatinga, MG.

<sup>3</sup> Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista, M.Sc.; Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas; Ipatinga, MG.

<sup>4</sup> Profa, Dra.; Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFMG; Belo Horizonte, MG.

## 1 INTRODUÇÃO

Nas indústrias, para avaliar a textura superficial dos cilindros ou chapas, utilizam-se aparelhos portáteis com apalpadores mecânicos simples, cuja principal vantagem, além do baixo custo, é a facilidade de obtenção de resultados rápidos no local onde estão os cilindros ou as chapas. Por outro lado, quando se deseja uma avaliação detalhada da textura superficial, pode-se executar um mapeamento topográfico da superfície através de representações tridimensionais. Este envolve a medição de uma série de perfis bidimensionais organizados em forma de matriz através de programas computacionais, que são avaliados simultaneamente nos sentidos transversal e longitudinal.

O mais importante a destacar é que as análises de topografia representam a superfície em questão com mais realismo que o perfil bidimensional, uma vez que, durante a medição bidimensional pode ocorrer que a região medida seja somente próxima dos cumes ou dos fundos dos vales. Na análise tridimensional, são medidas várias cotas dos picos e vales, representando melhor os parâmetros avaliados, sendo que os resultados obtidos têm menor variância, especialmente quando se trata de superfícies de chapas originadas de processos estocásticos tais como *Electrical Discharge Texturing* (EDT) e *Shot Blast Texturing* (SBT)<sup>1</sup>.

As características da textura superficial das chapas são influenciadas não só pela textura superficial dos cilindros de trabalho, como também pelo tipo de aço, redução de espessura visada nos laminadores, comprimento laminado do processo, entre outros. Se a chapa avaliada for de um produto final, ou seja, após a laminação de encruamento, tem-se que considerar ainda a textura intermediária<sup>2</sup>. Portanto, este trabalho foi realizado seguindo critérios de seleção e práticas operacionais com o objetivo de se avaliar a evolução da textura superficial de chapas de aço *Interstitial Free* (IF) em função do comprimento laminado nos processos de laminação a frio e de encruamento.

## 2 METODOLOGIA

Foi selecionado o aço IF ao titânio com limite de escoamento entre 140 MPa e 180 MPa, por ele ser amplamente utilizado pela indústria automobilística para a estampagem de painéis e, também, por oferecer uma menor resistência à impressão da textura superficial em relação a um aço de alta resistência.

No processo de laminação a frio, utilizaram-se cilindros de trabalho com rugosidade média ( $R_a$ ) de  $3,5 \mu\text{m}$  e o comprimento laminado total foi de 87 km. A redução total de espessura imposta pela cadeira 5 do laminador foi a mesma para as bobinas em teste.

No processo de encruamento, o baixo desgaste dos cilindros de trabalho possibilita grandes seqüências de laminação com os valores de  $R_a$  e densidade de picos (RPC) dos produtos finais dentro das faixas desejadas pelos clientes. O comprimento laminado total foi de 750 km, a redução de espessura das bobinas em teste foi de 0,5% e foram utilizados cilindros de trabalho com  $R_a$  de  $2,5 \mu\text{m}$ .

Conforme mostrado na Tabela 1, para avaliar a evolução da textura superficial, considerou-se o comprimento laminado do processo de laminação a frio, que foi dividido em três regiões distintas. Foram selecionadas três bobinas por região, nas quais retiraram-se as amostras. Após este processo e o de recozimento, as nove bobinas selecionadas foram também processadas na laminação de

encruamento em regiões específicas do seu comprimento laminado e em seguida amostradas.

Tabela 1 - Comprimento laminado por processo e região.

Laminação a frio		Laminação de encruamento	
Região	Comprimento laminado (km)	Região	Comprimento laminado (km)
L1	< 20	E1	< 10
L2	30 a 50	E2	10 a 25
L3	> 70	E3	> 700

Para cada uma das 18 amostras foi avaliada a textura superficial através do perfilômetro Hommelwerke Tester T4000 de resolução nanométrica. O tamanho das amostras foi de 100 mm de comprimento por 100 mm de largura, onde a área de medição foi de 10,89 mm<sup>2</sup>. O comprimento medido foi de 3,3 mm, com um espaçamento entre cada medida (passo) de 165 µm, totalizando 21 perfis bidimensionais por medição<sup>3</sup>. Em cada uma das 18 amostras foram feitas três medições.

O conjunto destes perfis alinhados em paralelo forneceu o perfil tridimensional. É importante distinguir a nomenclatura dos parâmetros bidimensionais em relação aos tridimensionais. Usualmente para as análises do perfil bidimensional de rugosidade utiliza-se a letra “R” antes do parâmetro propriamente dito e, para tridimensional, utiliza-se a letra “S”<sup>1,4,5</sup>.

Os dados foram tratados no *software Hommelmdp Expert* e para que a análise topográfica fosse somente do perfil de rugosidade, utilizou-se filtro Gaussiano com *cut-off* de 0,8 mm. As linhas de corte C1 e C2 foram de 0,50 µm.

A evolução dos parâmetros de perfilometria em relação ao comprimento laminado foi representada por um gráfico de tendência, tanto para o processo de laminação a frio, quanto para o de encruamento. A igualdade das médias entre os valores iniciais e finais de cada processo foi verificada estatisticamente através de uma análise de variância com um nível de significância de 5%.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização da textura superficial

Ao observar a Figura 1 não é possível notar visualmente que o aspecto da textura superficial das chapas é diferente dentre e entre os processos de laminação a frio e de encruamento. Para verificar esta diferença, foi necessário um tratamento estatístico dos parâmetros de perfilometria.

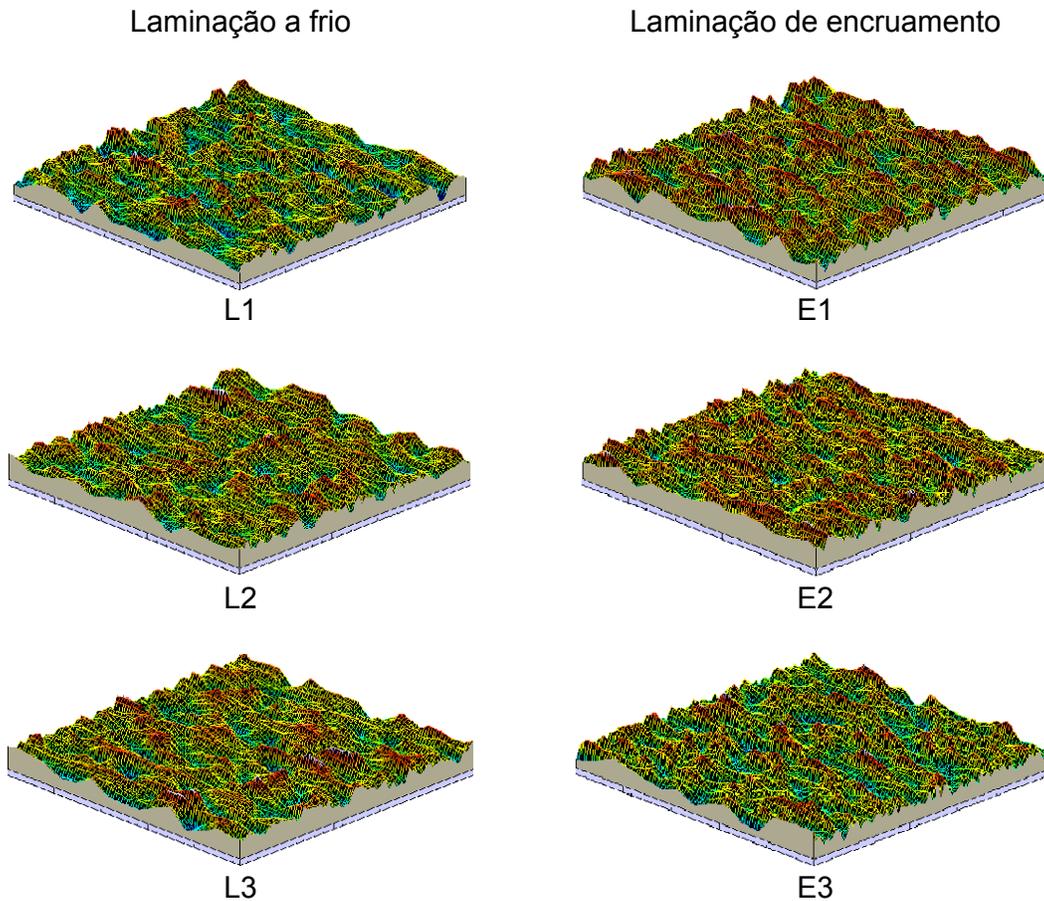


Figura 1 - Perfis tridimensionais obtidos pelo *software Mountains Map Universal*.

### 3.2 Relação entre o comprimento laminado e os parâmetros de perfilometria

#### 3.2.1 Parâmetros de amplitude

Observa-se na Figura 2 que os valores obtidos para os parâmetros de amplitude, rugosidade média ( $S_a$ ), desvio quadrático médio ( $S_q$ ), altura dos 10 pontos da superfície ( $S_z$ ) e altura total da superfície ( $S_t$ ) diminuíram à medida que o comprimento laminado aumentou. Este fato foi resultante do desgaste superficial dos cilindros de trabalho, que foi mais acentuado para o processo de laminação a frio que para o de encruamento.

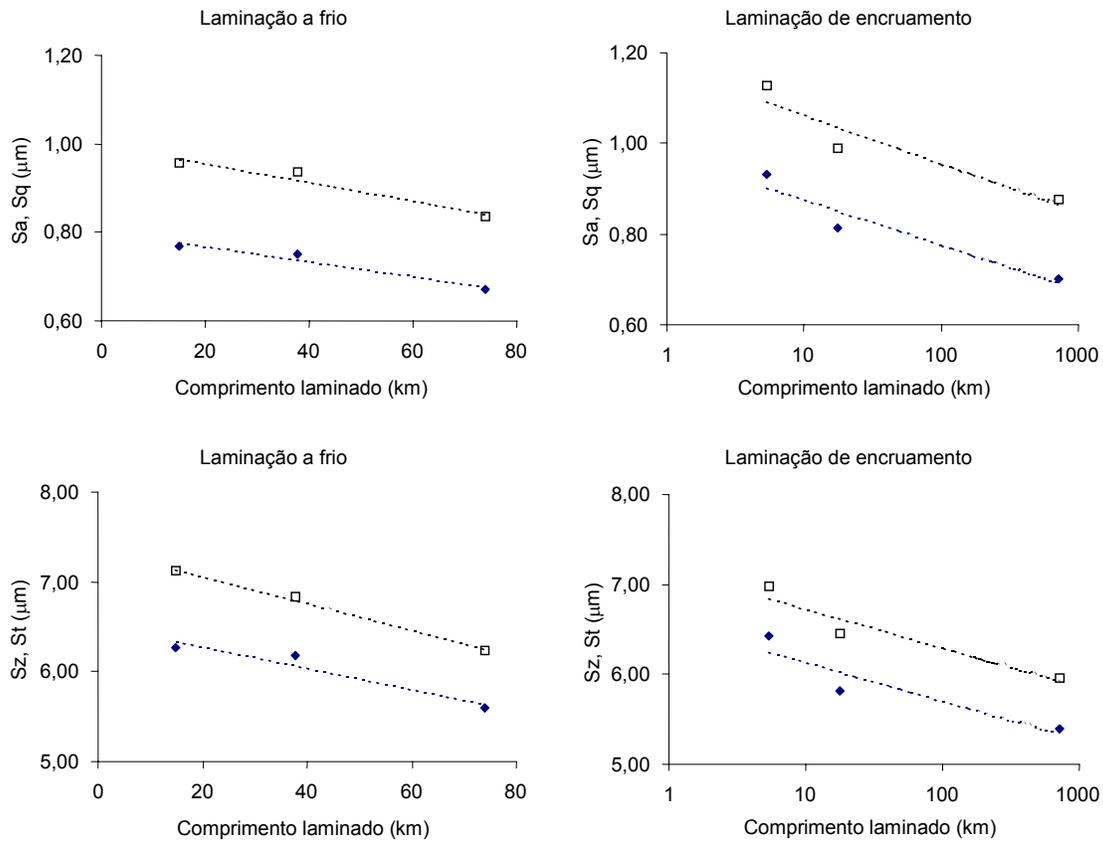


Figura 2 - Evolução de  $S_a$ ,  $S_q$ ,  $S_z$  e  $S_t$  em relação ao comprimento laminado.

Durante todo o comprimento laminado do processo de laminação a frio, os valores de assimetria ( $S_{sk}$ ), Figura 3, permaneceram negativos. Já para o processo de encruamento, os valores foram positivos. Porém, nos dois processos, pela análise de variância, a hipótese nula não foi rejeitada, não sendo possível afirmar que houve mudança nos valores ao longo do comprimento laminado.

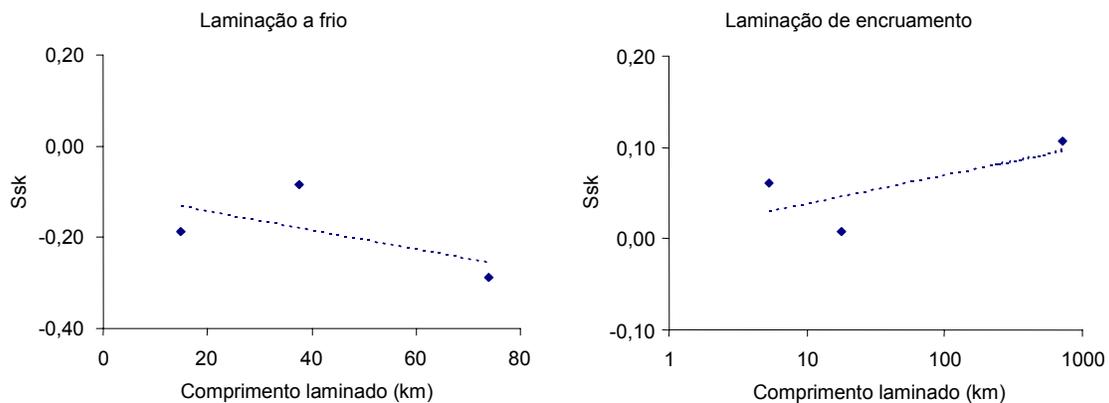


Figura 3 - Evolução de  $S_{sk}$  em relação ao comprimento laminado.

Observa-se na Figura 4, que os valores do coeficiente de curtose ( $S_{ku}$ ) estão próximos de 3, indicando que a distribuição das alturas do perfil se aproxima de uma curva gaussiana mesocúrtica. Tanto para o processo de laminação a frio, quanto para o processo de encruamento, houve um equilíbrio da distribuição do perfil à medida do aumento do comprimento laminado, não ocorrendo perfis com concentração de picos ou vales<sup>4,5</sup>.

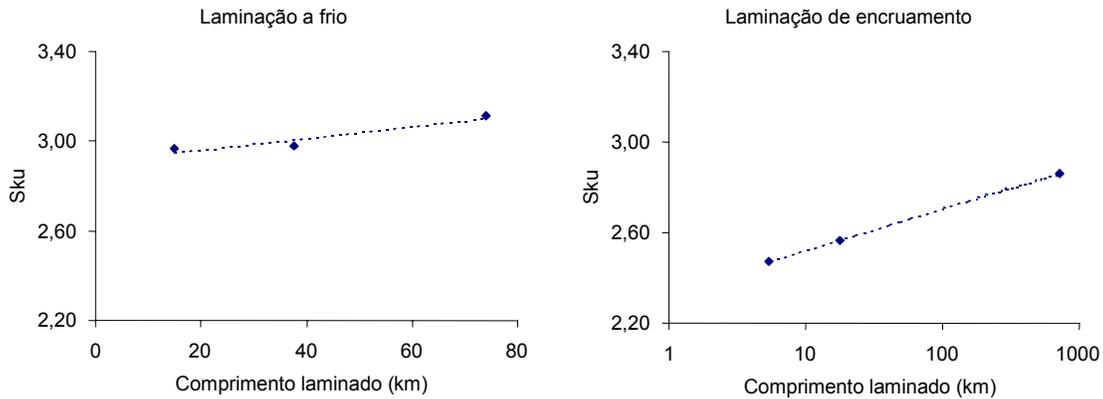


Figura 4 - Evolução de  $S_{ku}$  em relação ao comprimento laminado.

### 3.2.2 Parâmetro de espaçamento

No processo de laminação a frio, pela análise de variância, a hipótese nula não foi rejeitada, impossibilitando afirmar que houve uma relação entre o comprimento laminado e o parâmetro tridimensional de densidade de picos ( $S_{Pc}$ ), Figura 5. O mesmo não ocorreu para o processo de laminação de encruamento, no qual a hipótese nula foi rejeitada. A justificativa para esta diferença foi que na laminação a frio o comprimento laminado não chegou a 80 km, enquanto que na laminação de encruamento passou de 750 km.

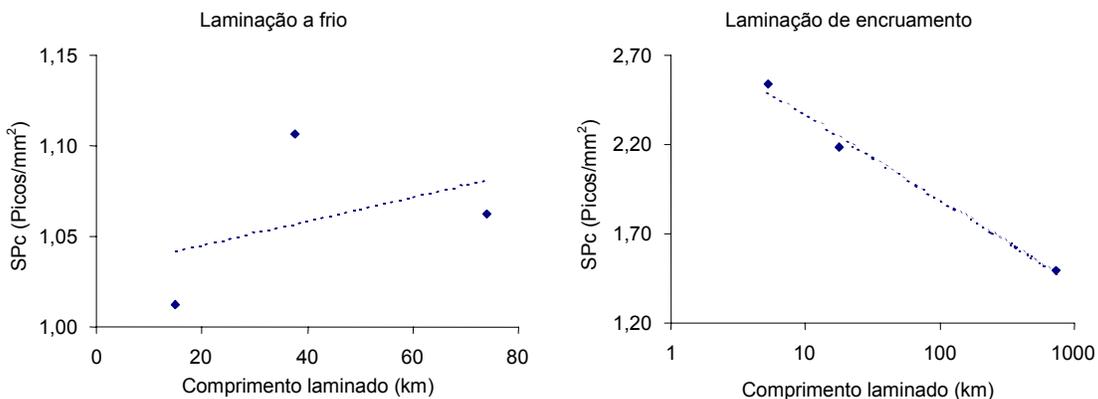


Figura 5 - Evolução de  $S_{Pc}$  em relação ao comprimento laminado.

### 3.2.3 Parâmetros funcionais

A Figura 6 mostra que para os processos de laminação a frio e de encruamento há uma tendência de diminuição dos valores do parâmetro de

rugosidade central ( $S_k$ ) em relação ao comprimento laminado devido aos desgastes dos cilindros de trabalho. Apesar deste fato, o aspecto do perfil superficial não foi alterado de maneira significativa. Não houve uma tendência do mesmo evoluir para um perfil do tipo platô, que é aquele com grande quantidade de material acima da linha média, nem para um perfil de muitos picos com concentração de material abaixo da linha média. O resultado final foi que o perfil superficial apresentou a sua distribuição das amplitudes mais próximas da linha média.

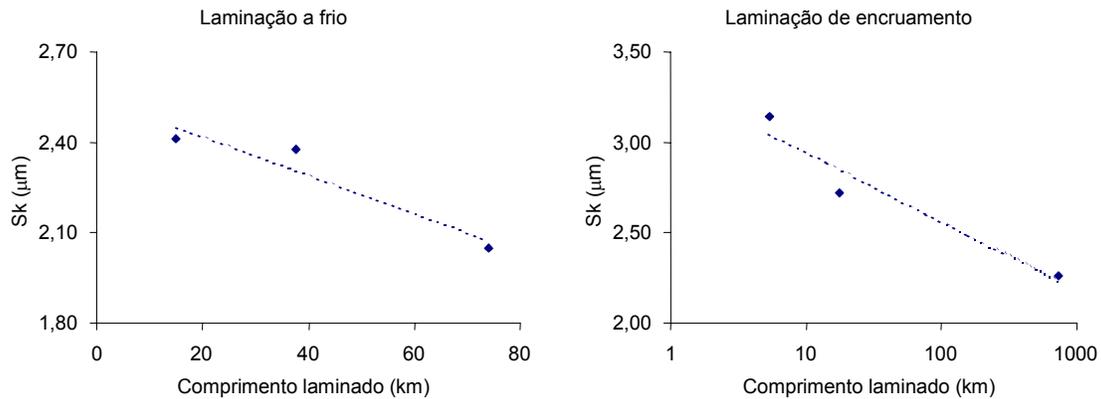


Figura 6 - Evolução de  $S_k$  em relação ao comprimento laminado.

Para o processo de laminação a frio, pela análise de variância, a hipótese nula não foi rejeitada, portanto não se pode afirmar que houve uma relação entre o comprimento laminado e o parâmetro de altura reduzida de picos ( $S_{pk}$ ), Figura 7. Já para o processo de laminação de encruamento, a hipótese nula foi rejeitada, devido ao seu maior comprimento laminado em relação ao processo de laminação a frio.

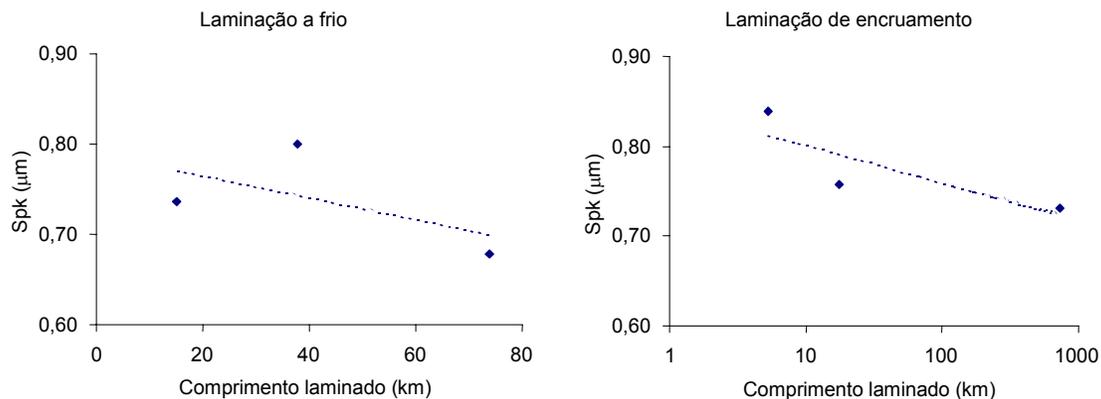


Figura 7 - Evolução de  $S_{pk}$  em relação ao comprimento laminado.

#### 4 CONCLUSÕES

Pelas imagens dos perfis tridimensionais não foi possível afirmar visualmente que há diferença da textura superficial dentre e entre os processos de laminação a frio e de encruamento. Para isto, foi necessário um tratamento estatístico dos parâmetros de perfilometria.

Através da análise de variância, inferiu-se que houve diferença entre os valores iniciais e finais dos parâmetros de perfilometria, com exceção dos parâmetros Ssk de ambos os processos, SPc e Spk do processo de laminação a frio. Sendo assim, tanto para o processo de laminação a frio, quanto para o de encruamento, os valores dos parâmetros de amplitude decresceram com o aumento do comprimento laminado. A assimetria do perfil superficial não mudou em relação ao comprimento laminado. Também foi verificado que a textura superficial das chapas não tendeu para um perfil do tipo platô. Esta apresentou-se com uma distribuição das amplitudes mais próximas da linha média.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MENDONÇA, F. O., Caracterização da Textura Superficial do Aço IF da Usiminas Processado Com Cilindros Texturizados Via EDT. Dissertação de Mestrado - UFMG, 2003.
2. MENDONÇA, F. O., BARBOSA, A. H. A., BARROSO, R. C. Obtenção de textura Superficial Via "Electrical Discharge Texturing" (EDT) em Tiras Laminadas a Frio. SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO. 39, 2001, Florianópolis. Processos e produtos laminados e revestidos, ABM. p. 373-381.
3. SACERDOTTI, F., GRIFFITHS, B., BENATI, F., KANG, H. The variability of functional and amplitude three-dimensional roughness parameters for electron-beam and electro-discharged textured surfaces. Meas. Sci. Technol., vol. 11, p. 171-177, 2000.
4. STOUT, K. J., Parameters for Characterizing 3-D Surfaces. In: STOUT, K. J.; Development of Methods for the Characterization of Roughness in Three Dimensions. 2<sup>nd</sup> edition. London: Penton Press, 2000. Chapter 10, p. 130-174.
5. STOUT, K. J., Parameters for Characterizing 3-D Surfaces. In: STOUT, K. J.; Development of Methods for the Characterization of Roughness in Three Dimensions. 2<sup>nd</sup> edition. London: Penton Press, 2000. Chapter 12, p. 216-249.

# THREE-DIMENSIONAL EVALUATION OF SURFACE TEXTURE OF IF STEEL COLD ROLLED IN USIMINAS<sup>(1)</sup>

Flávio de Oliveira Mendonça<sup>(2)</sup>  
Aldo Henrique de Almeida Barbosa<sup>(3)</sup>  
Geralda Cristina Durães de Godoy<sup>(4)</sup>

## Abstract

The evolution of the three-dimensional surface texture of the IF steel plates of Usiminas is evaluate in function of the roll chance in the cold rolling processes and skin pass process. Nine cold coils were selected, cold rolled and skin passed in specific areas of the roll sequence: initial, intermediate and final. The three-dimensional parameters were disposed graphically to make a relationship between the evolution trend of the surface texture and the specific area of the roll sequence of each process. For the cold rolling process or the skin pass process, the results of the measurements in the samples indicated that the values of the amplitude parameters decrease with the increase of the roll sequence length. It can be concluded that decrease is due to the waste of the surface profile of the work rolls. It was also shown that the aspect of the surface texture tended to present a distribution of the closest heights to medium line, not being as a profile of the type plateau neither of the type with great material concentration below the medium line.

**Keywords:** surface texture, three-dimensional topography, cold rolling.

---

<sup>(1)</sup> Technical Contribution to the 41<sup>st</sup> Rolling Seminar of Brazilian Society for Metallurgy and Materials (ABM) - Process Rolled and Coated Products; Joinville, SC, Brazil, October 26-28, 2004.

<sup>(2)</sup> Metallurgical Engineer, M.Sc., ASQ/CQE; Department of Cold Rolling Process, Usiminas; Ipatinga, MG, Brazil.

<sup>(3)</sup> Member of ABM; Metallurgical Engineer, M.Sc.; Research and Development Center, Usiminas; Ipatinga, MG, Brazil.

<sup>(4)</sup> D.Sc., Professor, Department of Metallurgical and Materials Engineering of Federal University of Minas Gerais; Belo Horizonte, MG, Brazil.