

# OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE ENCRUAMENTO PARA MATERIAIS COM EXIGÊNCIA DE RUGOSIDADE ATRAVÉS DO USO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE<sup>1</sup>

Anderson Santos Leite<sup>2</sup>  
Giuliano Cesar Aguiar Costa<sup>3</sup>  
Nivaldo Maia dos Santos Junior<sup>4</sup>

## Resumo

Diante dos desafios atuais e futuros da siderurgia nacional, se faz necessário uma contínua busca pela excelência nos processos. Para isto, utilizou-se as ferramentas da qualidade para otimizar o processo de encruamento para materiais com exigência de rugosidade entre 1,3  $\mu\text{m}$  e 2,1  $\mu\text{m}$  na Usiminas, planta de Ipatinga. O presente trabalho mostra as melhorias no processo de encruamento da Laminação a Frio, através do uso de ferramentas estatísticas para melhoria contínua, com foco na redução dos custos operacionais, aumento de produtividade com a garantia assegurada dos produtos para os clientes.

**Palavras-chave:** Ferramentas da qualidade; Rugosidade; Melhoria contínua; Aumento de produtividade.

## OPTIMIZATION OF THE SKIN PASS PROCESS FOR MATERIAL THAT REQUIRE ROUGHNESS USING STATISTICAL TOOLS

## Abstract

Given the current and future challenges of the national steel industry, it is necessary a continuous search for excellence in processes. For this, we used quality tools to optimize the process of the skin pass for materials with required roughness between 1.3  $\mu\text{m}$  and 2.1  $\mu\text{m}$  at Usiminas, Ipatinga plant. This paper shows the improvements in the process of hardening in the Cold Rolling through the use of statistical tools for continuous improvement, focusing on reducing operational costs and increasing productivity with the assurance of guaranteed products to clients.

**Key words:** Quality tools; Roughness; Continuous improvement; Increasing productivity.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 48º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 24 a 27 de outubro de 2011, Santos, SP.

<sup>2</sup> Engenheiro Metalurgista, Superintendência de Laminação a Frio, Usiminas – Ipatinga, MG.

<sup>3</sup> Gerente de Produção de Recozimento em Caixa, Encruamento e Oficina de Cilindros, Superintendência de Laminação a Frio, Usiminas – Ipatinga, MG.

<sup>4</sup> Supervisor de Produção, Gerência de Produção de Recozimento em Caixa, Encruamento e Oficina de Cilindros, Usiminas – Ipatinga, MG.

## 1 INTRODUÇÃO

A laminação a frio da Usina de Ipatinga é composta de duas rotas: Tiras a Frio 1 (TF1) e Tiras a Frio 2 (TF2).

As bobinas, utilizados neste trabalho se referem à rota TF1, que é composta das seguintes linhas: Decapagem, Laminador a Frio (TCM), Limpeza Eletrolítica (LLE), Recozimento em Caixa, Laminador de Encruamento (HCM) e Eletro galvanização (EGL) ou Acabamento.

Durante o processo do laminado a frio, a bobina quente (BQ) é processada na Decapagem para retirada do óxido de ferro, em seguida o produto é processado no Laminador de Tiras a Frio. Nesta etapa do processo o material tem sua espessura reduzida, em média, cerca de 75%. Após a etapa de laminação, a bobina a frio (BF) é tratada termicamente através do recozimento em caixa. Esta etapa tem por finalidade recuperar e recristalizar os grãos encruados.

A bobina depois de recozida é encaminhada para o processo na linha de encruamento que tem como finalidades:

- eliminar o patamar de escoamento;
- garantir planicidade sem geração de defeitos superficiais;
- garantir o limite de escoamento e de ruptura dentro dos padrões exigidos; e
- imprimir rugosidade média (Ra) e densidade de pico (Pc), de acordo com a faixa especificada de cada cliente.

Para isto, conta-se com a linha de encruamento, conforme pode ser visto na Tabela 1.

**Tabela 1.** Especificações básicas da linha de encruamento - HCM

LINHA	HCM (High Cold Mill)
Fabricante	Hitachi
Tipo	1 Cadeira x 6 HI
Capacidade de produção	60.000 t/mês
Peso máximo de bobina	30,0 t
Faixa de espessura	0,20 a 2,00 mm
Faixa de largura	700 a 1.620 mm
Velocidade máxima	1.200 mm
Dimensões do diâmetro do cilindro de trabalho	490 a 538 mm
Dimensões do diâmetro do cilindro intermediário	508 a 538 mm
Dimensões do diâmetro do cilindro de encosto	1.270 a 1.420 mm

Após o processo de encruamento, a BF é inspecionada nas linhas de acabamento para avaliação da superfície, verificação do peso, largura e espessura. Nesta etapa do processo também é retirada amostra e enviada para o Laboratório de Teste Mecânico (LTM), onde são realizados testes de rugosidade, dureza, limite de escoamento e outros, sendo que cada teste está direcionado à aplicação final dos produtos. Depois de testado e aprovado, o produto acabado é despachado para o cliente.

A linha de encruamento possui demanda de vários produtos que necessitam de atenção ao valor de Ra, pois tal parâmetro é definido pelos clientes, de acordo com a aplicação final do material. Isto faz com que ocorram várias trocas de cilindros no mês, conseqüentemente, impactando diretamente no índice de utilização do equipamento, além de gerar aumento nos custos operacionais do processo.

Para aumentar a produtividade e diminuir os custos operacionais foram utilizadas as ferramentas da qualidade com foco no ciclo PDCA, a fim de modificar o processo de encruamento em materiais com exigência de rugosidade de 1,3  $\mu\text{m}$  a 2,1  $\mu\text{m}$ .

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Sabe-se que o valor de Ra é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento ( $y_i$ ), dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do percurso de medição ( $l_m$ ). Essa grandeza pode corresponder à altura de um retângulo, cuja área é igual à soma absoluta das áreas delimitadas pelo perfil, conforme equação [1] e Figura 1.

$$Ra = \frac{\sum |y_i|}{n}$$

[1]

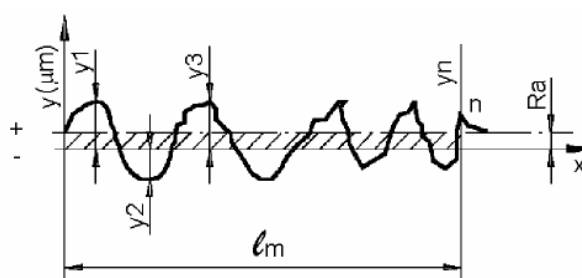


Figura 1. Medição da rugosidade média (Ra).

Tal parâmetro influencia na resistência ao desgaste, resistência oferecida pela superfície ao escoamento de fluidos e lubrificantes, qualidade de aderência que a estrutura oferece às camadas protetoras, aparência e outros. Devido às diversas aplicações do aço, existe demanda de vários produtos com exigências de rugosidades distintas. Por este motivo há diferentes códigos de rugosidade para os cilindros de trabalho (TW) conforme Tabela 2 de referência.

Tabela 2. Tabela de referência de rugosidade de cilindro no laminador de encruamento

Código de Rugosidade	Faixa de Rugosidade Visada do Cilindro [ $\mu\text{m}$ ]
A2/D8	de 3,95 a 4,35
A8/D1	de 3,10 a 3,50

Para otimizar o processo de encruamento, verificou-se a possibilidade de ganho na alteração do TW de código de rugosidade A2/D8 para o código de rugosidade A8/D1, em materiais com exigência de Ra entre 1,3  $\mu\text{m}$  e 2,1  $\mu\text{m}$ .

Para isto, foram selecionadas 80 bobinas a frio, sendo 40 para o processo atual utilizando o cilindro A2/D8 e as outras 40 para o processo proposto utilizando o cilindro A8/D1. O ensaio de rugosidade foi realizado no Laboratório de Teste Mecânico da Usina de Ipatinga de acordo com a norma JIS-B-0601-2001.<sup>(1)</sup>

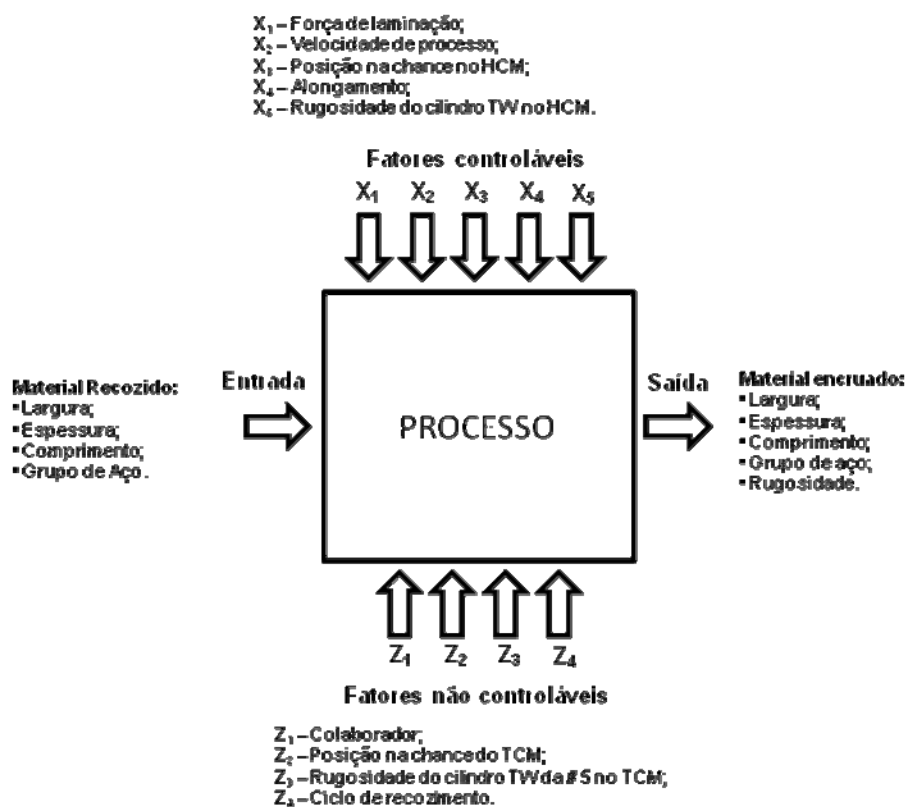
Baseado nos dados coletados foram utilizadas as ferramentas da qualidade para verificar a capacidade do processo e analisar se a alteração proposta será capaz de atingir a condição 6 sigma, ou seja, a condição de 3,4 DPMO (defeitos por milhão de oportunidades) (Tabela 3).

**Tabela 3.** Referência para o nível de qualidade sigma<sup>(2)</sup>

Nível de qualidade	DPMO (defeitos por milhão de oportunidades)	Percentual Conforme	Custo da não qualidade
2σ	308.537	69,15	30 – 40%
3σ	66.807	93,32	20 – 30%
4σ	6.210	99,379	15 – 20%
5σ	233	99,9767	10 – 15%
6σ	3,4	99,99966	< 10%

## 2.1 Controle de Entrada e Saída do Processo de Encruamento

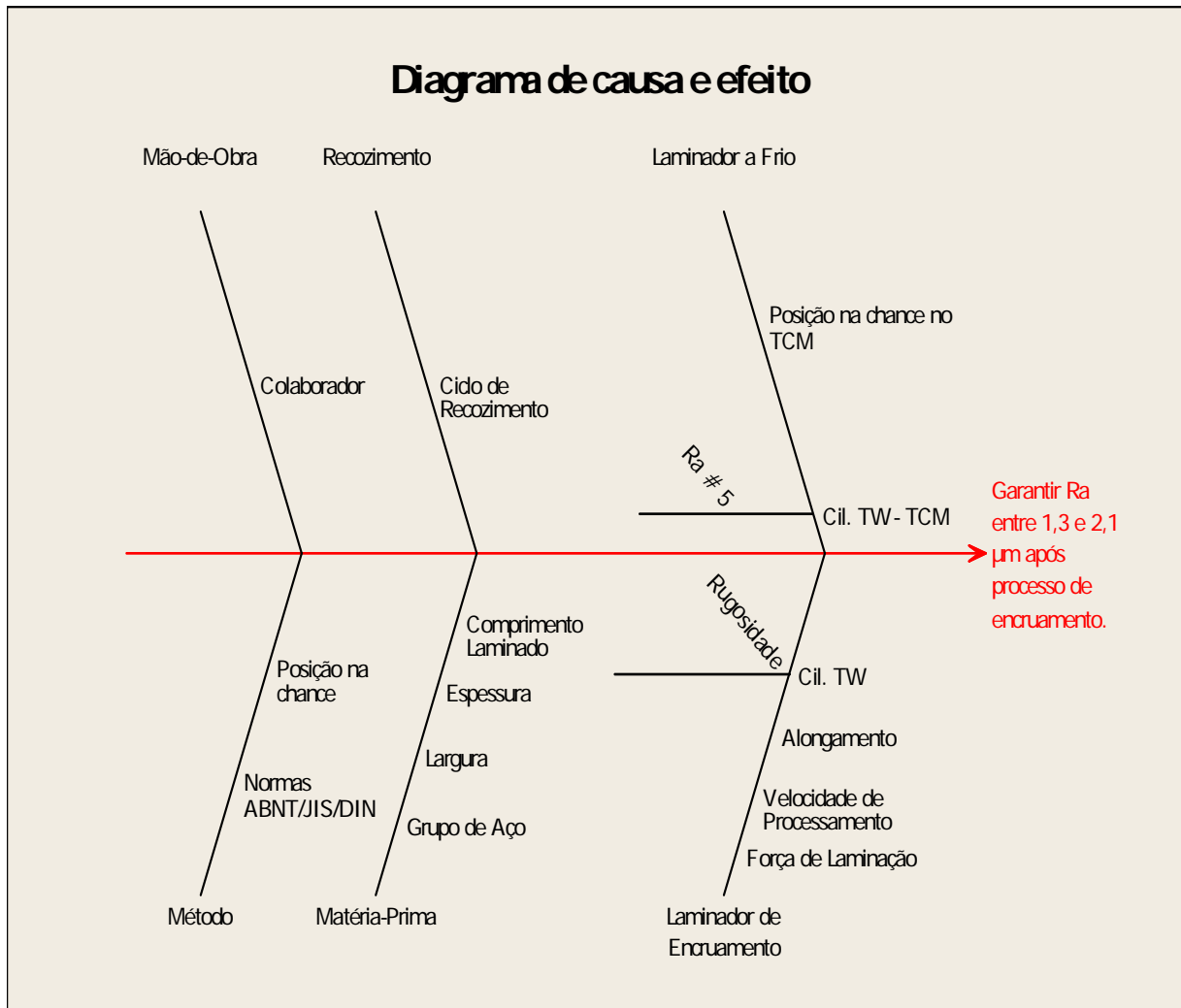
Com base na norma NBR ISO 9000:2005,<sup>(3)</sup> define-se processo como um conjunto de atividades inter-relacionadas ou interativas, que transformam insumos (entradas) em produtos (saídas). A Figura 2 exemplifica a situação esquemática do processo de encruamento com suas entradas, seus fatores controláveis, seus fatores incontroláveis (ruídos) e suas saídas.



**Figura 2.** Esboço das variáveis de entrada e saída no processo de encruamento.

## 2.2 Diagrama de Causa e Efeito

Conforme pode ser visto na Figura 3, o diagrama de causa e efeito foi utilizado para demonstrar as variáveis que influenciam no resultado final da rugosidade para o produto acabado. Com a finalidade de atuar o mínimo possível nos processos, optou-se por analisar somente a variável código de rugosidade do cilindro de trabalho no laminador de encruamento, para a obtenção da faixa exigida entre 1,3 μm e 2,1 μm, evitando assim mudanças em outros processos e um possível aumento nos custos de produção.



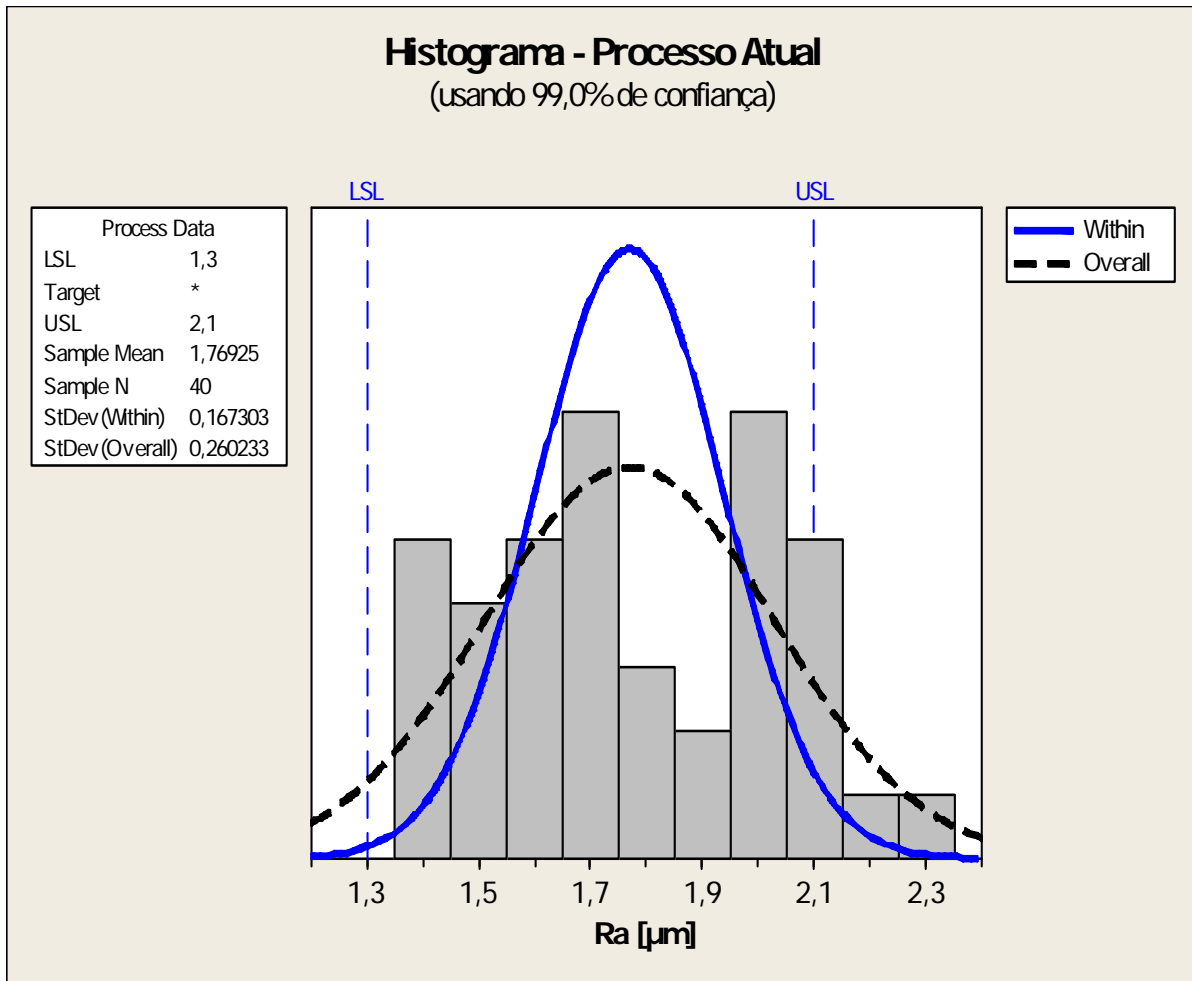
**Figura 3.** Diagrama de causa e efeito.

### 3 RESULTADO E DISCUSSÃO

#### 3.1 Histograma

O histograma é uma ferramenta da qualidade utilizada para verificar a frequência dos dados coletados e como encontram-se distribuídos entre as faixas mínima e máxima dos valores limites. Conforme pode ser verificado na Figura 4, o histograma representa o resultado médio dos ensaios realizados no LTM de 40 bobinas acabadas, de acordo com os parâmetros atuais de processo.

Para um intervalo de confiança de 99%, pode-se verificar que nem todos os resultados obtidos encontram-se entre o valor mínimo e máximo exigidos pelo cliente. Esta diferença nos resultados gera retrabalhos por rugosidade alta, aumento nos custos de processo e conseqüentemente diminuição na margem de lucro do produto final. Além disto, os dados para o processo atual não apresentaram uma distribuição normal.



**Figura 4.** Histograma do processo atual.

Com a mudança no código de rugosidade do cilindro TW, pode-se verificar, para um mesmo intervalo de confiança (Figura 5), que os resultados obtidos no LTM para o processo proposto, das 40 bobinas acabadas, ficaram entre os limites máximo e mínimo de controle.

Pode-se verificar também um desvio-padrão menor no processo proposto, indicando menor variabilidade nos dados.

Outro fator importante é a forma e a localização dos dados. Antes da mudança os valores de rugosidade eram de 1,4  $\mu\text{m}$  a 2,3  $\mu\text{m}$ , após a mudança os valores ficaram distribuídos entre 1,5  $\mu\text{m}$  a 2,0  $\mu\text{m}$ .

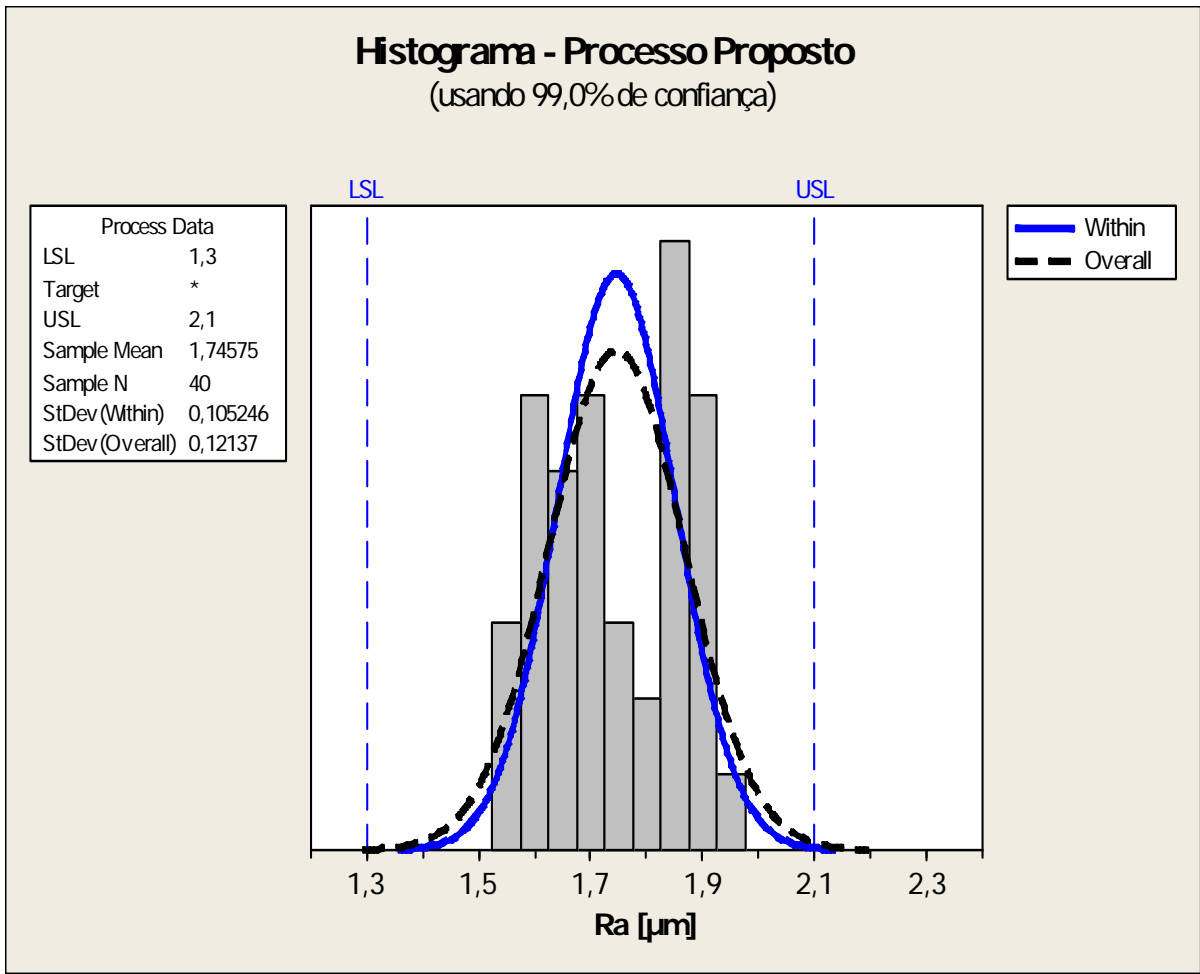


Figura 5. Histograma do processo proposto.

### 3.2 Carta de Controle

Optou-se por utilizar os gráficos de controle para medidas individuais, pois as amostras utilizadas na construção dos gráficos de controle têm tamanhos unitários, sendo empregado em inspeção em que toda unidade produzida é avaliada, além disto, o processo de avaliação é muito moroso. Neste caso, o gráfico de controle para medidas individuais se torna viável. Sendo que nas Figuras 6 e 7, a Carta I baseia-se nos cálculos dos parâmetros das equações [2], [3], [4]:

$$LSC = \bar{x} + 3 \frac{\overline{am}}{d_2} \quad [2]$$

$$LC = \bar{x} \quad [3]$$

$$LIC = \bar{x} - 3 \frac{\overline{am}}{d_2} \quad [4]$$

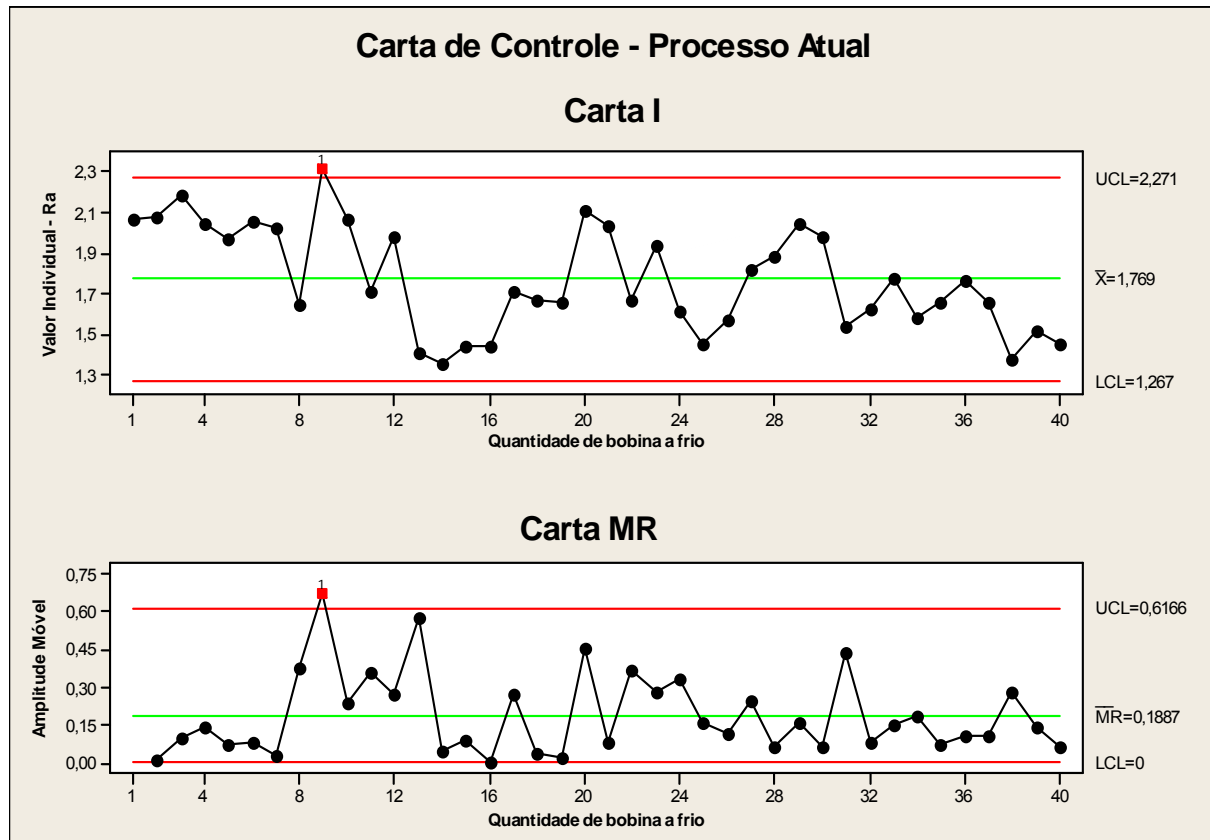
E para a Carta MR os cálculos dos parâmetros das equações [5], [6] e [7] são:

$$LSC = D_4 \cdot \overline{am} \quad [5]$$

$$LC = \overline{am} \quad [6]$$

$$LIC = D_3 \cdot \overline{am} \quad [7]$$

Nos resultados de rugosidade obtidos no processo atual (Figura 6), pode se verificar que a média dos valores é 1,769  $\mu\text{m}$ , encontrando-se descentralizado do valor nominal 1,700  $\mu\text{m}$ . Há uma amostra fora dos limites da carta de controle, condição característica de instabilidade do processo. Além disto, os valores limites mínimo e máximo ficaram, respectivamente, abaixo e acima das especificações exigidas entre 1,300  $\mu\text{m}$  e 2,100  $\mu\text{m}$ .



**Figura 6.** Carta de controle do processo atual.

Para a carta de controle MR, pode se verificar que um ponto está fora de controle indicando instabilidade de processo.

Observa-se (Figura 7), que os resultados de rugosidade obtidos para o processo proposto indicados na carta de controle tem uma variabilidade menor entre os dados. A média dos valores é 1,746  $\mu\text{m}$ , que está mais próxima do valor nominal e os pontos estão dentro dos limites de controle mínimo e máximo, valores estes que encontram-se dentro da faixa de rugosidade exigida pelo cliente de 1,3  $\mu\text{m}$  a 2,1  $\mu\text{m}$ . Além disto, para a carta de controle MR, tem-se uma menor variabilidade em comparação com processo atual. Dessa forma podemos inferir que os dados são mais homogêneos. Estas condições sugerem uma situação estável de processo.



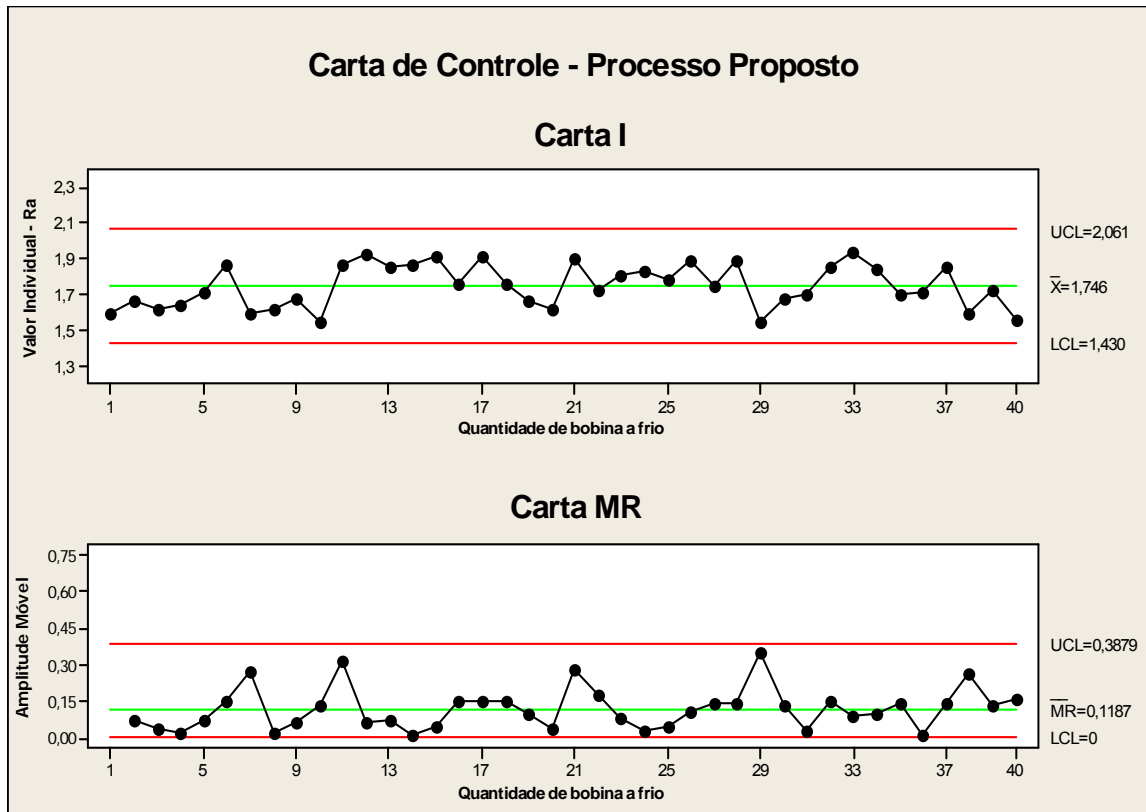


Figura 7. Carta de controle do processo proposto.

### 3.3 Capacidade do Processo

De acordo com a norma NBR ISO 9000:2005,<sup>(3)</sup> capacidade é definida como a aptidão de uma organização, sistema ou processo de realizar um produto, que irá atender aos requisitos especificados para esse produto. Em termos estatísticos, a capacidade e o desempenho de um processo são representados por meio dos cálculos dos parâmetros, definidos pelas equações [8], [9], [10], [11]. Tais parâmetros representam a taxa de tolerância total da variação do processo e a distância da média do processo, em relação aos limites da especificação gerados dos resultados amostrais.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad [8]$$

$$C_{pk} = \min\left(\frac{\bar{x} - LIE}{3\sigma}, \frac{LSE - \bar{x}}{3\sigma}\right) \quad [9]$$

$$F_p = \frac{LSE - LIE}{6S} \quad [10]$$

$$F_{pk} = \min\left(\frac{\bar{x} - LIE}{3S}, \frac{LSE - \bar{x}}{3S}\right) \quad [11]$$

Para verificar se o processo é capaz de produzir produtos com nível de qualidade de 6 sigma foi utilizada, como referência (Tabela 4), que mostra os valores padrões de Cp e Cpk.

**Tabela 4.** Referência dos valores de Cp e Cpk

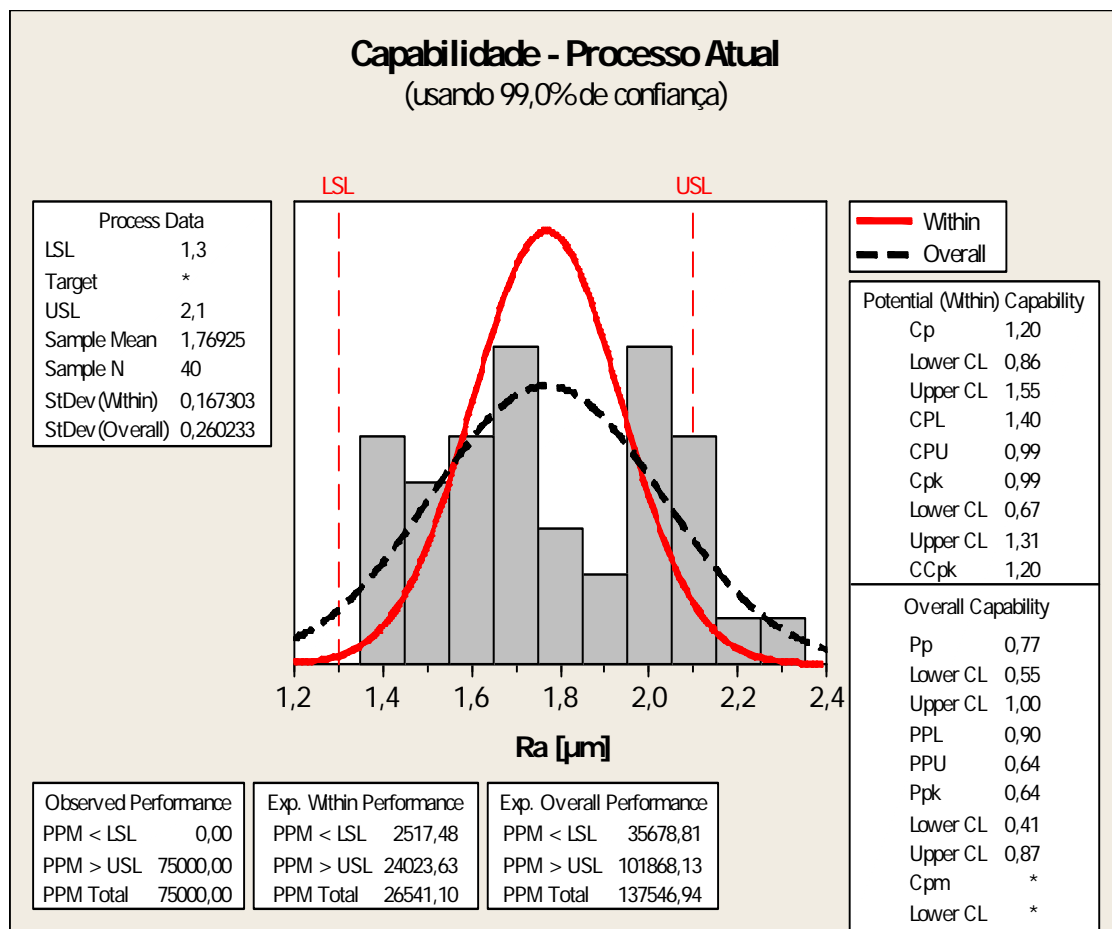
Cp	Cpk	Condição
$\geq 1,33$	$\geq 1,33$	Capaz
$1 < Cp < 1,33$	$1 < Cpk < 1,33$	Aceitável
$\leq 1$	$\leq 1$	Incapaz

Foi também utilizada como referência a tabela 5, que mostra os valores de Pp e Ppk.

**Tabela 5.** Referência dos valores de Pp e Ppk

Pp	Ppk	Condição
$\geq 1,33$	$\geq 1,33$	Capaz
$1 < Pp < 1,33$	$1 < Ppk < 1,33$	Aceitável
$\leq 1$	$\leq 1$	Incapaz

Na Figura 8, o processo atual encontra-se com os valores de Cp e Cpk de 1,20 e 0,99 respectivamente, indicando um processo incapaz. Observa-se também que os valores de desempenho de Pp e Ppk encontram-se com valores de 0,77 e 0,64 que estão abaixo da condição aceitável. Verifica-se que o processo atual é incapaz de gerar produtos com nível de qualidade requerido de 6 sigma.



**Figura 8.** Processo de capacidade atual.

Observa-se, na Figura 9, que o processo proposto encontra-se com os valores de Cp e Cpk acima da referência 1,33 indicando que o processo é capaz. Pode-se verificar que o nível de qualidade requerido é 6 sigma com percentual de material conforme de 99,99966%. Além disto, os valores de Pp e Ppk encontram-se dentro da faixa estabelecida como aceitável, ou seja, o desempenho do processo é satisfatório.

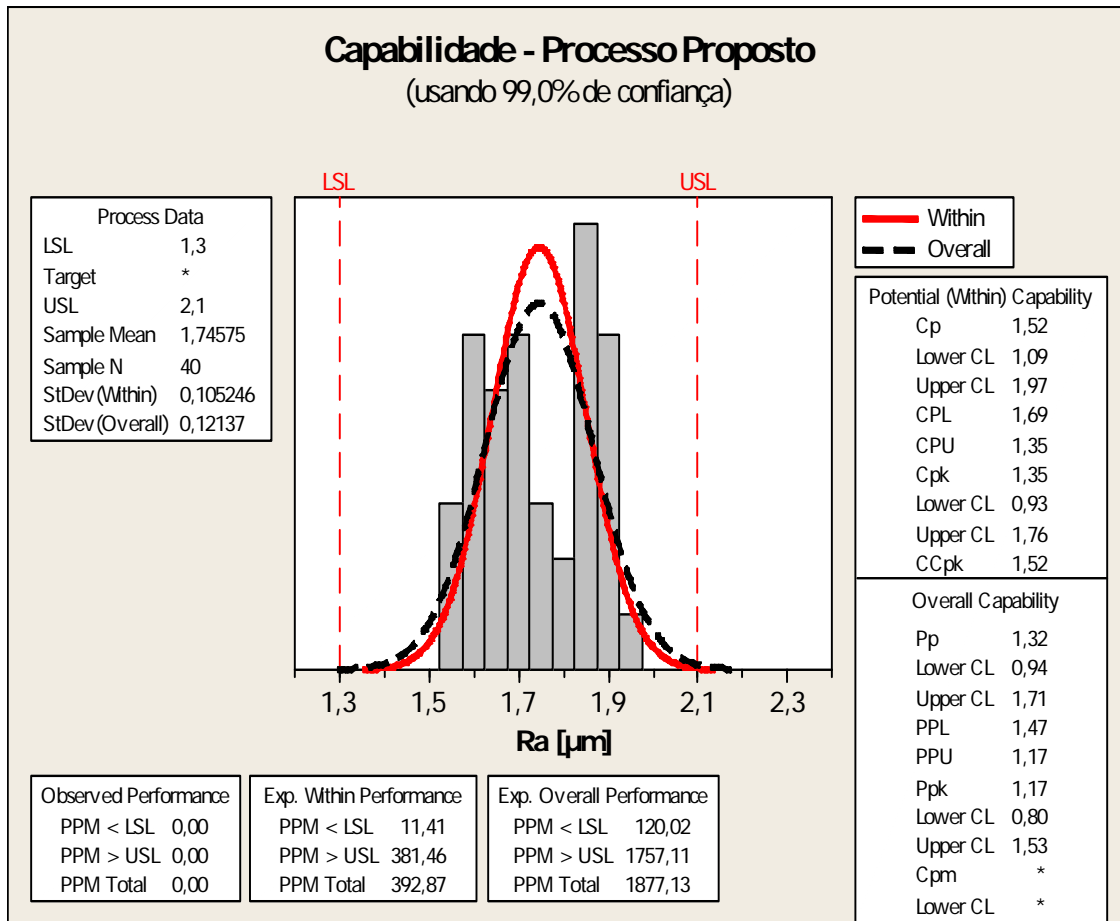


Figura 9. Processo de capacidade proposto.

## 4 CONCLUSÃO

Através da utilização das ferramentas da qualidade com foco no ciclo PDCA pôde-se criar uma metodologia de análise e constatar que o processo atual era capaz de produzir material com exigência de rugosidade entre 1,3 µm e 2,1 µm com um nível de conformidade aceitável entre 69,15% e 93,32%, ou seja, entre 2 e 3 sigma.

Esta é uma condição imprópria para uma empresa de nível global, gerando custos ao processo. Com a alteração no código de rugosidade proposto para o cilindro de trabalho pôde-se observar que o processo passou a ter um nível de conformidade de 99,9767%, condição de empresa competitiva, com uma capacidade de processo capaz e o desempenho de processo satisfatório.

Nestas condições o processo passa a ter uma redução nos custos de produção passando de um patamar entre 2 e 3 sigma para uma nível de qualidade 5 sigma.

## REFERÊNCIAS

- 1 JIS. B 601. Geometrical product specification (GPS) - Surface texture: Profile method - Terms, definitions and surface texture parameters. Edição 2001.
- 2 HARRY, M.J. Six Sigma: A Breakthrough Strategy for Profitability. New York: Quality Progress, 31, 5, p.60-64, May 1998.
- 3 NBR ISO 9000:2005. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO 9000:2005 Sistema de Gestão da Qualidade – Fundamentos e Vocabulário. Rio de Janeiro, 2000.