

# REDUÇÃO DO DEFEITO COLAMENTO EM LAMINADOS A FRIO ATRAVÉS DO DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE LAMINAÇÃO, RECOZIMENTO E ENCRUAMENTO <sup>1</sup>

Kleidon Rodrigues de Almeida <sup>2</sup>  
Celso Ney Nogueira <sup>3</sup>  
Henry Saar <sup>4</sup>  
Jose Carlos Goncalves Bela <sup>5</sup>  
Luciano Colzani <sup>6</sup>  
Luiz Fernando Carlos Sebastião <sup>7</sup>  
Magleife Eden Guasti Rampinelli <sup>8</sup>  
Sérgio dos Santos Rocha <sup>9</sup>  
Thiago Alves König <sup>10</sup>

## Resumo

Os clientes do mercado de laminados a frio têm aumentado a cada dia o grau de exigência de seus produtos, isto eleva o nível de pesquisa e desenvolvimento na siderurgia para se obter produtos não revestidos com um nível de qualidade cada vez maior, a fim de atender às inúmeras exigências do mercado. A qualidade superficial é de fato um dos mais importantes requisitos dos clientes para que o aço possa ter um bom desempenho em sua aplicação final, quer seja na indústria automobilística ou não. Portanto, um grau mínimo de qualidade deve ser alcançado no produto após o seu processamento nas linhas siderúrgicas. O defeito “Colamento” é considerado um dos principais e mais graves dos produtos laminados a frio, devido à sua morfologia/aspecto e por ser altamente prejudicial à sua aplicação. Este ocorre somente durante o processo de Recozimento em Caixa, linha a qual todo material laminado a frio deve processar. O “Colamento” é caracterizado por “estrias superficiais” com curvaturas leves, médias ou de grandes extensões, podendo apresentar-se de forma isolada ou aglomerada, sempre nas duas faces da bobina. Inúmeras são as causas de ocorrência de “Colamento”, sendo as principais, a baixa rugosidade e/ou alta tensão de bobinamento da bobina na saída do laminador a frio, planicidade ruim (seja do tipo localizada, de bordas ou central) e temperatura do ciclo térmico no Recozimento em Caixa acima da especificada. Por ser um defeito não passivo de correção, este causa um aumento significativo nos custos de produção, sendo assim altamente indesejada a sua ocorrência, contudo, inúmeros são os procedimentos que devem ser cumpridos para que este não venha a ocorrer.

**Palavras-chave:** “Colamento”; Laminado a frio; Recozimento em caixa.

## REDUCTION OF STICKING PROBLEMS ON COLD-ROLLED STEEL STRIPS AFTER BATCH ANNEALING PROCESS AT ARCELORMITTAL VEGA

### Abstract

The customers of the cold-rolled steel strips have been increasing the requirements for such products constantly, which raise the level of research and improvement of the steel industry in order to obtain non-coated products of higher quality rate every day to comply with the innumerable market's demands. Superficial finishing quality is in fact one of the customer's most important requirements so the steel may have the desired performance in its final application, whether at the automobile industry or not. Therefore a minimum quality rate is to be reached by the product at the end of its production line. The sticking defect is considered one of the majors and more serious defects of the cold-rolled steel strips due to its visual aspect, shape and high harmfulness to the strip's final application. Such defect occurs only in the pot annealing process, which is the heat-treating process every cold-rolled steel strip must suffer. The sticking defect is characterized by short, medium and long extension superficial curves in an isolated or agglomerated way, always on both faces of the strip. The causes of such defect are numerous, being the major ones the low roughness and/or high coiling tension at the exit of the tandem cold mill, improper flatness and over specified temperature of the heat-treatment in the pot annealing process. Since it's a non-treatable defect, it causes a significant increase in production costs, which is the reason for its high undesirable occurrence. Therefore, innumerable are the procedures to be followed in order to avoid its occurrence.

**Key words:** Sticking; Cold-rolled steel strips; Batch annealing.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 45º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 21 a 24 de outubro de 2008, Ipojuca - Porto de Garças - PE

<sup>2</sup> Técnico de Processo de Recozimento e Encruamento da ArcelorMittal Vega.

<sup>3</sup> Consultor Técnico da Gerência de Decapagem e Laminação da ArcelorMittal Vega.

<sup>4</sup> Supervisor do Núcleo de Controle da ArcelorMittal Vega.

<sup>5</sup> Consultor Técnico da Gerência de Decapagem e Laminação da ArcelorMittal Vega.

<sup>6</sup> Coordenador de Processos da ArcelorMittal Vega.

<sup>7</sup> Técnico de Controle de Qualidade da Gerência de Metalurgia e Qualidade da ArcelorMittal Vega.

<sup>8</sup> Supervisor de Processo de Decapagem e Laminação da ArcelorMittal Vega.

<sup>9</sup> Gerente da Gerência de Decapagem e Laminação da ArcelorMittal Vega.

<sup>10</sup> Técnico de Processo de Decapagem e Laminação da ArcelorMittal Vega.

## 1 INTRODUÇÃO

A ArcelorMittal Vega, planta de laminação a frio do Grupo Arcelor Mittal, situada em São Francisco do Sul no estado de Santa Catarina, desde seu *start up* no final de 2004 vem aprimorando o seu processo produtivo numa busca constante da excelência em qualidade para seus produtos, objetivando a completa satisfação de seus clientes.

A planta é constituída de:

- Linha de Decapagem e Laminador a Frio acoplados (PLTCM), com capacidade de produção de 1,0 milhão de toneladas/ano, com versatilidade de desacoplamento para a produção de bobinas a quente decapadas, a Linha de Decapagem, do tipo turbulenta, é composta por Desempenadeira Tensionada, três tanques de decapagem e uma seção de lavagem da tira composta de quatro células distintas. O Laminador a Frio é do tipo quadro contínuo de quatro cadeiras, dotado de cilindros de trabalho e encosto do tipo CVC com deslocamento axial e sistema automático de controle de planicidade, entre outros.
- Linha de Galvanização, tipo por imersão a quente, com capacidade de produção de 500 mil toneladas/ano.
- Linha de Fornos de Recozimento em Caixa composta por 12 fornos e 24 bases do tipo Hicon-H2 (alta convecção), tendo como combustível para aquecimento o Gás Natural, com capacidade de produção de 400 mil toneladas/ano.
- Laminador de Encruamento tipo quadro de uma cadeira dotado de *bridle roll* na entrada e sistema de controle automático de alongamento, oleamento eletrostático, com capacidade de produção de 400 mil toneladas/ano.
- Linha de Rebobinamento e Inspeção de produto acabado com capacidade de produção de 150 mil toneladas/ano.

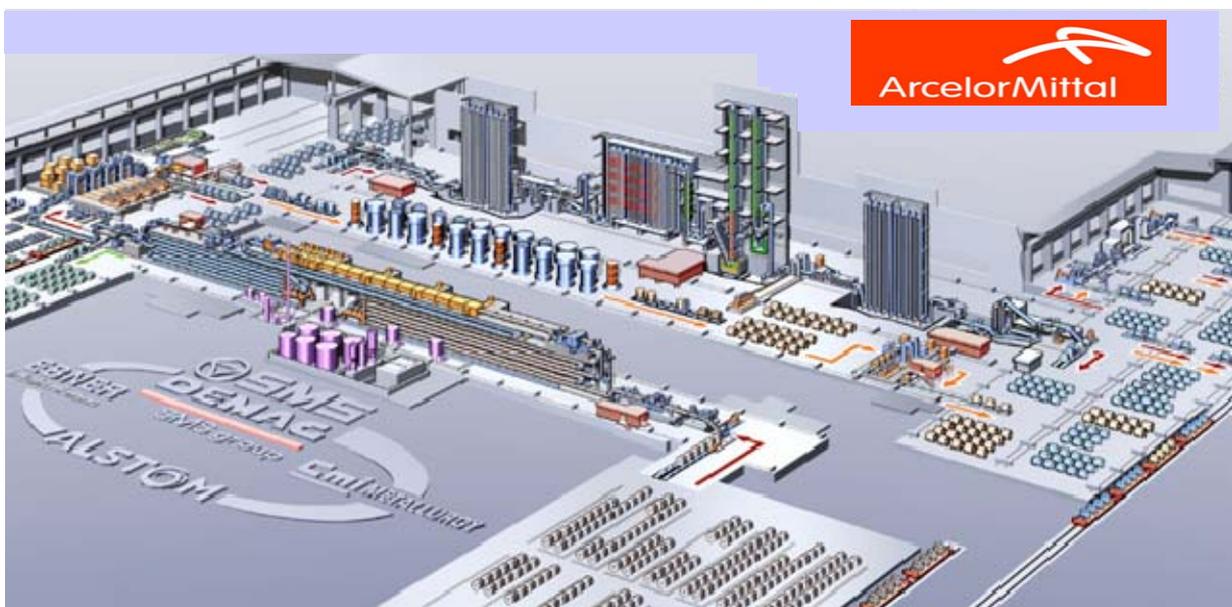


Figura 1 - Esquemático da Planta da ArcelorMittal Vega

Conforme a necessidade do mercado de laminados a frio, principalmente dos clientes dos segmentos da indústria automobilística e de eletrodomésticos, em receber tiras de aço cada vez mais agregadas de atributos de qualidade, as siderúrgicas de um modo geral tem seus custos aumentados em virtude da maior rigidez de inspeção de qualidade de seus produtos acabados, podendo as vezes

aumentar os índices de recusas internas, resultando em maiores custos de produção.

Preocupada não só com a redução de seus custos operacionais, mas principalmente em atender cada vez melhor seus clientes, a ArcelorMittal Vega constituiu Grupos de Trabalho multidirecionais com a finalidade de identificar oportunidades, e dentro desse contexto foi identificado o defeito superficial “Colamento” como uma grande possibilidade de ganho, não somente em redução de custos, mas principalmente em aumentar ainda mais a satisfação de seus clientes.

O defeito superficial “Colamento” é originado no processo de Recozimento em Caixa, e pode ser influenciado não só pelas variáveis deste processo, mas também pelo tipo de aço e condições de laminação a quente e a frio. Portanto, para execução desse trabalho, foi necessária a utilização de métodos de estratificação, de análise e solução de problemas (PDCA) e recursos de estudos e desenvolvimento de engenharia para pequenas adequações de equipamentos.

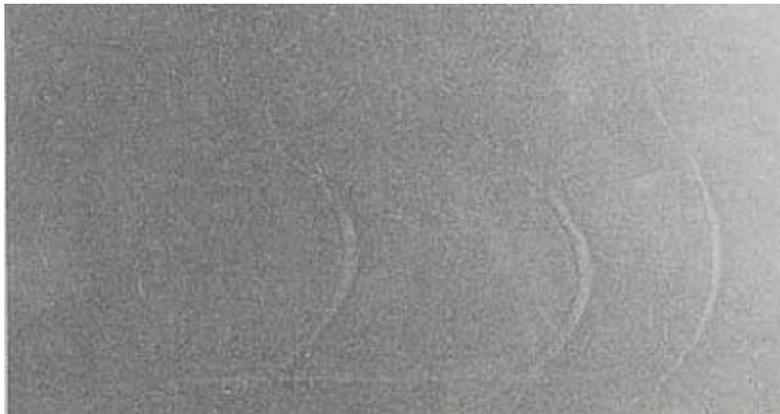
Com a implantação das recomendações sugeridas ao término do trabalho, foi possível constatar uma expressiva redução na ocorrência desse defeito superficial.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Identificação do Problema

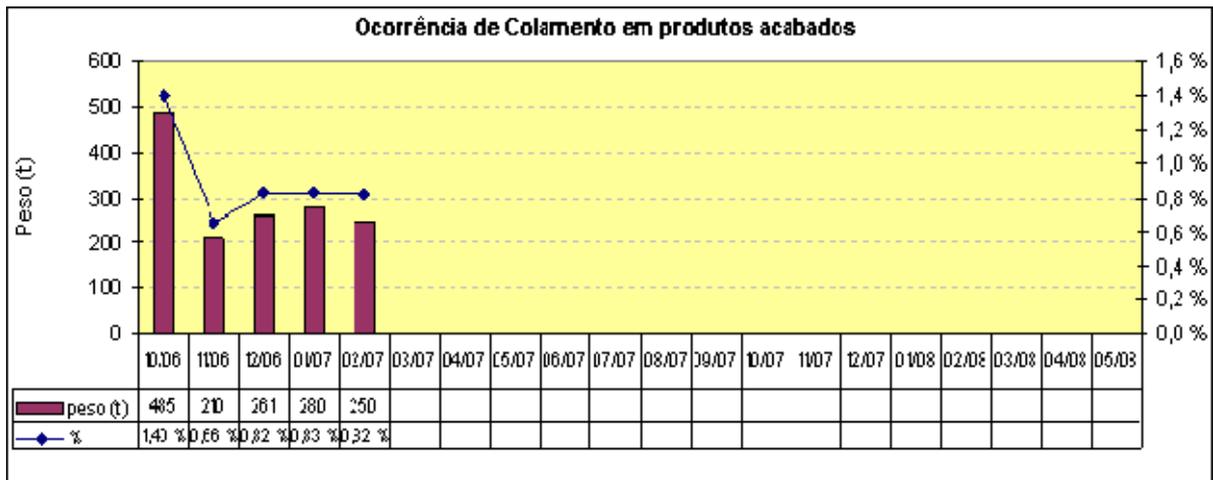
Esse trabalho tem como objetivo a redução do defeito “Colamento” em aços laminados a frio através do desenvolvimento dos processos de Laminação a Frio, Recozimento em Caixa e Encruamento.

O defeito “Colamento” é caracterizado por “estrias superficiais” com curvaturas leves, médias ou de grandes extensões, podendo apresentar-se de forma isoladas ou aglomeradas, sempre nas duas faces da bobina.



**Figura 2** – Foto do defeito “Colamento”

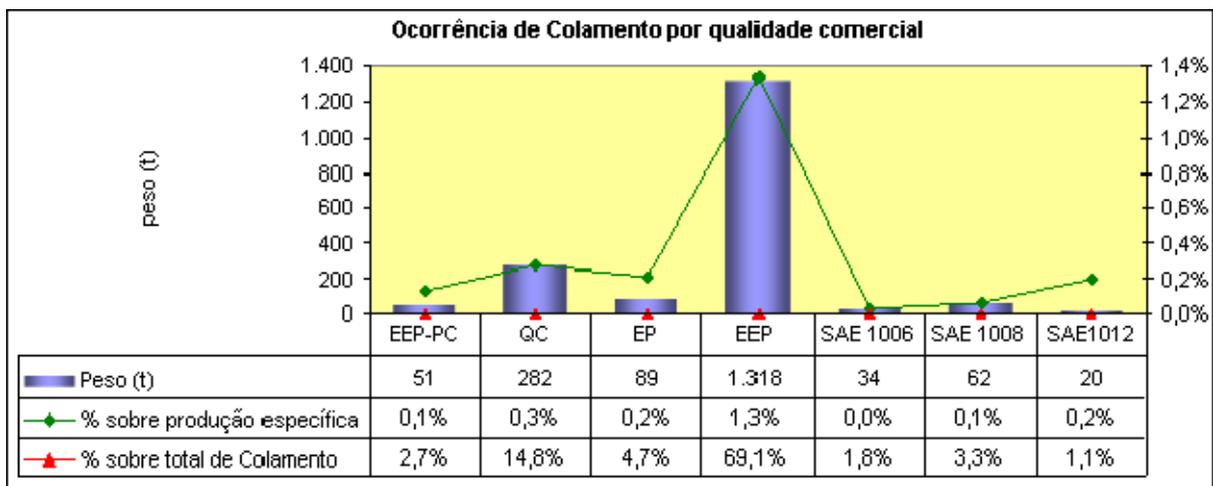
A morfologia do defeito (Figura 2) foi predominante nas ocorrências do produto laminado a frio, sempre ocorrendo na região central da bobina no (sentido transversal). Quando a bobina apresentava o defeito com intensidade de média para forte, a sua identificação e caracterização foi facilitada devido à forte geração de ruído na entrada da linha de Encruamento *off line* no momento do desbobinamento. Se a velocidade de processo de Encruamento for reduzida em função do defeito, a sua intensidade pode aumentar fortemente.



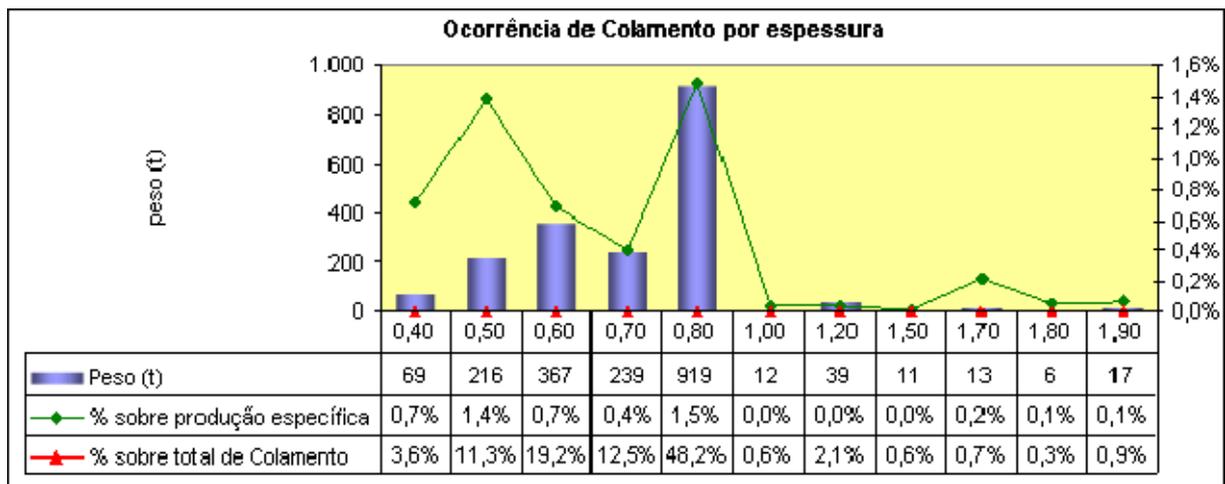
**Figura 3** – Gráfico de “Colamento” antes do trabalho de redução do defeito

## 2.1 Análise de Ocorrência do Defeito

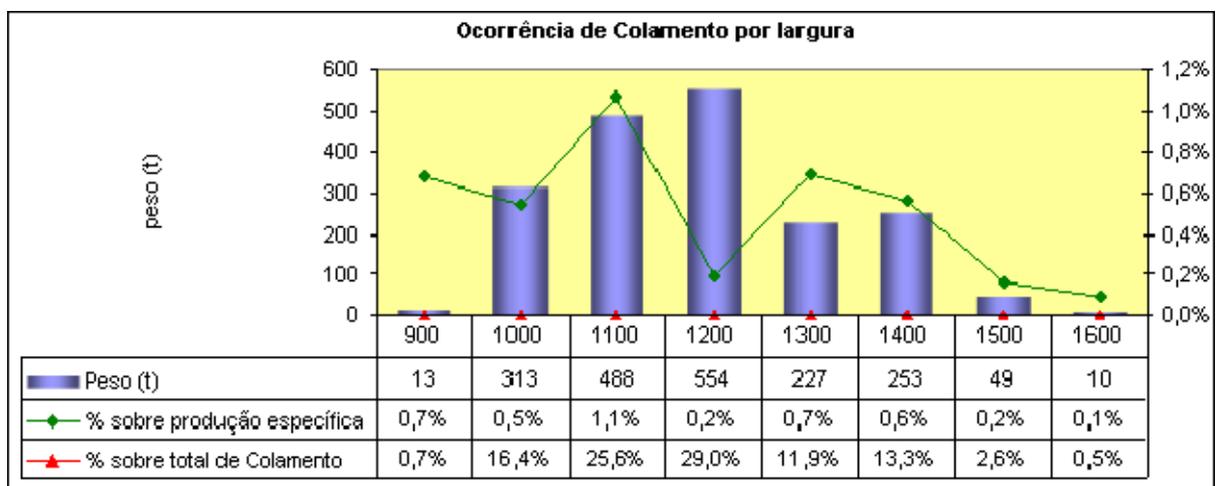
Com o objetivo de identificar mais facilmente a(s) causa(s) do defeito “Colamento”, uma análise estatística foi realizada. A sua ocorrência foi evidenciada com uma tendência forte em um tipo de material (qualidade técnica e dimensão), o que facilitou a estratificação dos dados e posteriormente a criação de planos de ações a fim de se concretizar a proposta em reduzir a ocorrência do defeito.



**Figura 4** – Ocorrência de Colamento por qualidade comercial



**Figura 5 – Ocorrência de Colamento por espessura**



**Figura 6 – Ocorrência de “Colamento” por largura**

Baseado nos três gráficos de ocorrências (Figuras 4, 5 e 6), pode-se concluir que o defeito ocorria fortemente no material de Estampagem Extra Profunda (EEP), em bobinas de espessura inferior a 1,00 mm e que estava com ocorrência mais distribuída em relação à largura. Além da análise estatística, foi feito uso de outras ferramentas de qualidade como Ishikawa, 5W2H e 5 Porquês. O uso destas ferramentas contribuiu de maneira positiva e favoreceu uma tomada de decisão de forma eficiente/eficaz.

## 2.2 Plano de Ação

Com a realização do trabalho, foi possível identificar as mais prováveis causas do defeito, e algumas correlações foram também observadas. Foi dado maior foco ao que mais fortemente poderia influenciar para a ocorrência do defeito “Colamento”.

Causas do defeito e correlações mais relevantes:

- Equilíbrio entre as tensões de enrolamento e desenrolamento dos laminadores;
- Necessidade de aperfeiçoar o patamar de sobre-tensão no Laminador a Frio;
- Necessidade de otimizar a rugosidade do produto no Laminador a Frio;

- Maior ocorrência do defeito em ciclos de Recozimento de alta temperatura de encharque e de espessura menor que 1,00 mm.

### 2.2.1 Equilíbrio entre as tensões de enrolamento e desenrolamento dos laminadores

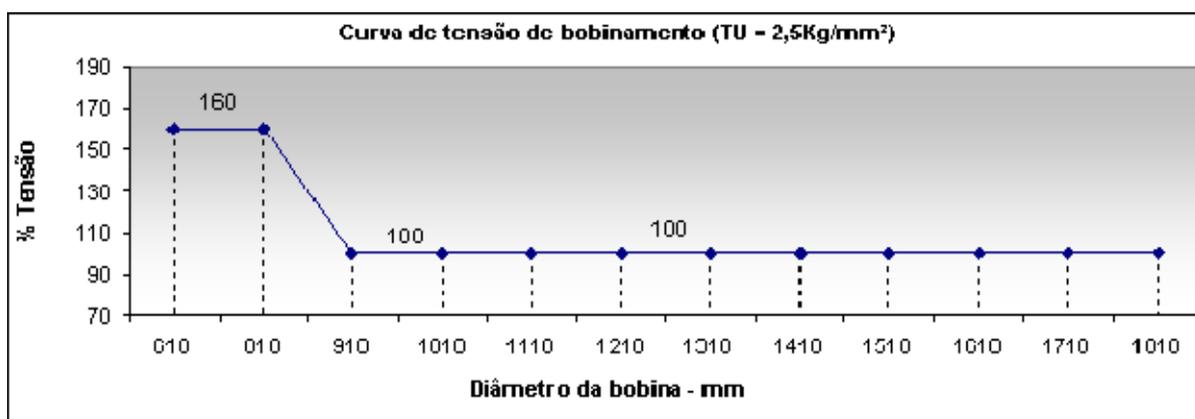
Inicialmente foi identificado que as tensões de bobinamento do Laminador a Frio em relação à tensão de desbobinamento do Encruamento precisavam trabalhar em equilíbrio, pois esta variável é uma das principais causa do defeito. Foi evidenciado que o laminador de Encruamento estava operando com tensão específica de desbobinamento muito próxima da tensão de bobinamento do Laminador a Frio, isto poderia aumentar a possibilidade de ocorrência do defeito.

**Tabela 1** – Histórico de tensões específicas do Laminador a Frio e Encruamento

Momento	Tensão de desbobinamento (Kgf/mm <sup>2</sup> )	
	Laminador a Frio	Encruamento
Antes do trabalho de redução do defeito	2,5	2,3
Após melhorias	2,8	2,0

### 2.2.2 Necessidade de aperfeiçoar o patamar de sobre-tensão no Laminador a Frio

Uma importante necessidade de melhoria foi vista durante o trabalho e ações foram tomadas a fim de se obter um perfil de curva em um formato que melhor atendesse aos processos de Laminação a Frio, Recozimento em Caixa e Encruamento. Realizou-se primeiramente um *benchmark* entre as empresas do grupo ArcelorMittal (Europa) para serem conhecidos os tipos de curvas de tensão usados nos laminadores. Com base nas informações obtidas de tensões praticadas na Europa, das particularidades dos processos e produtos da VEGA, diferentes curvas (novos patamares de sobre-tensão) foram experimentadas no Laminador a Frio. Sempre levando em consideração, o ciclo de Recozimento que o material iria sofrer e qual a tensão ideal de desbobinamento iria sofrer no Encruamento posteriormente.



**Figura 7** - Tensão de bobinamento antes do trabalho de redução de “Colamento”

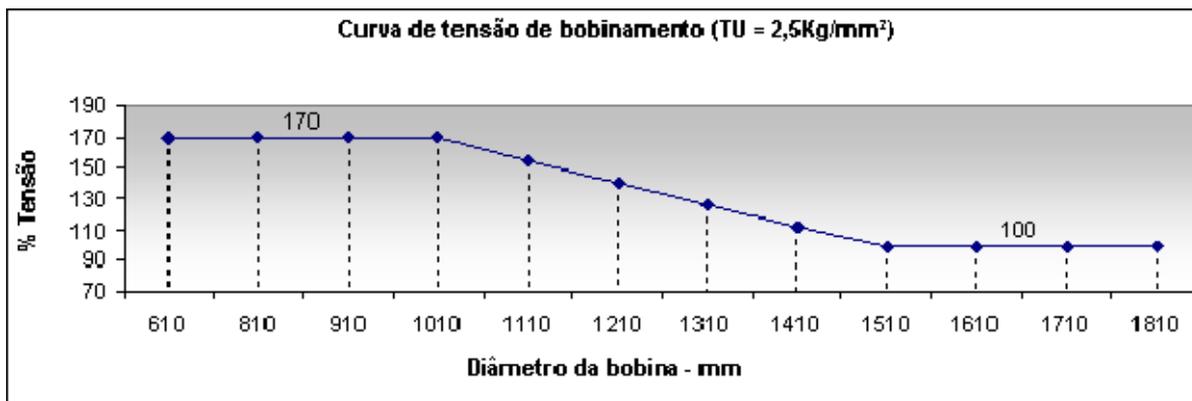


Figura 8 – Nova tensão de bobinamento desenvolvida para “aços comuns”

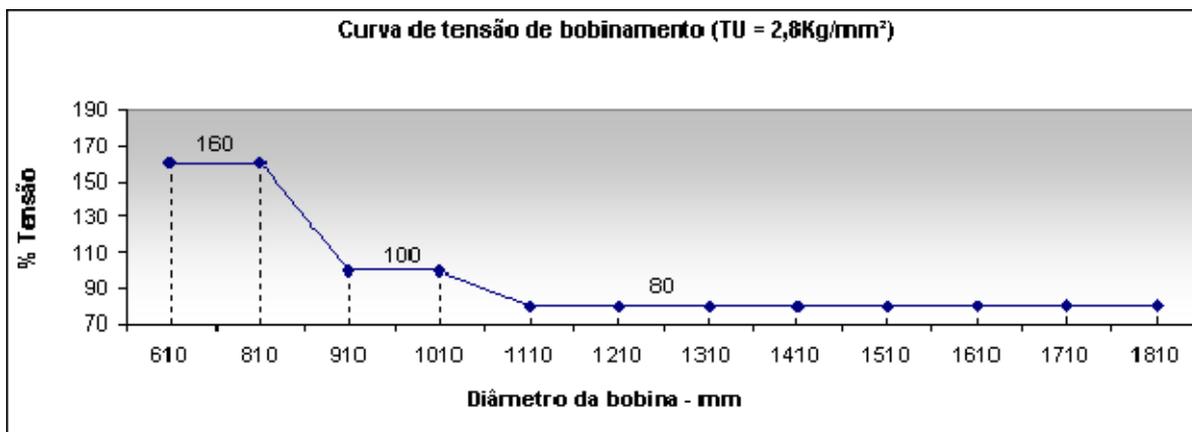


Figura 9 – Nova tensão de bobinamento desenvolvida para aços EEP

Analisando os gráficos de perfil de tensão (Figuras 7, 8 e 9), é possível verificar as alterações as quais o processo sofreu, foi fortemente alterado o patamar de sobre-tensão ao mesmo tempo em que foi mudado o valor da tensão específica (TU – Tensão Unitária).

### 2.2.3 Necessidade de otimizar a rugosidade do produto no Laminador a Frio

Todos os trabalhos já desenvolvidos para a redução de “Colamento” citam a rugosidade como causa relevante ao defeito no produto laminado a frio, e que é necessária uma atenção especial na definição dos valores a ser usado nos cilindros de trabalho do Laminador a Frio. Neste trabalho, esta variável sofreu uma alteração e ao mesmo tempo em que foi otimizado o processo, foi verificado quais seriam os resultados obtidos na rugosidade final após processo no Encruamento.

Tabela 2 – Histórico de rugosidades na saída do Laminador a Frio

	Rugosidade do cilindro de trabalho (µm)	
	Mínima	Máximo
Antes do trabalho de redução do defeito	4,20	4,60
Após melhorias	4,80	5,20

A alteração dos valores de rugosidade da tabela 02 ocorreu nos cilindros de trabalho da quarta cadeira.

Após a definição dos valores de rugosidade dos cilindros de trabalho no Laminador a Frio, foi necessário um ajuste de rugosidade dos cilindros de trabalho do Encruamento, uma vez que houve uma alteração da rugosidade final do produto após o processo de Encruamento.

### 2.2.4 Maior ocorrência do defeito em ciclos de Recozimento de alta temperatura de encharque

O aço EEP possuía uma das maiores temperaturas de encharque no Recozimento em Caixa da ArcelorMittal Vega antes da realização deste trabalho de melhoria. Usava-se uma temperatura de 720°C e após inúmeras experiências, a temperatura de encharque passou para 700°C. Outra importante mudança ocorrida no processo de Recozimento em Caixa, foi o desenvolvimento do processo Recozimento com o uso de um modelo matemático, o qual determina pelo tipo de produto, dimensão da carga e ponto frio visado o formato do ciclo a ser aplicado.

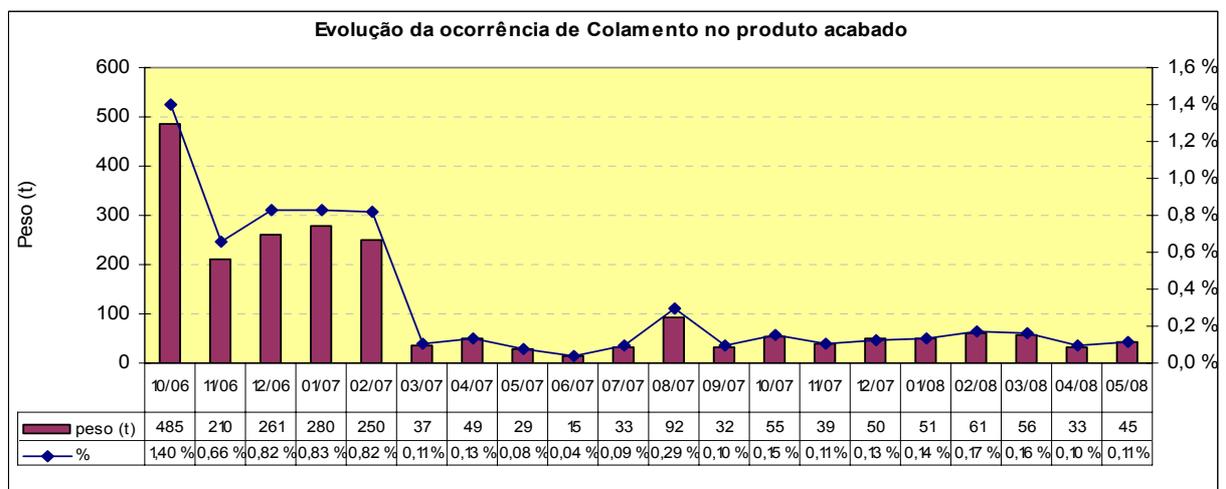
Além da evolução quanto à ocorrência/perda por “Colamento” com o modelo matemático, houve um ganho significativo na produtividade. Um forte trabalho de definição do ponto frio ideal foi desenvolvido para que os bons resultados de qualidade fossem alcançados sem afetar as propriedades mecânicas do aço EEP. O modelo matemático também foi experimentado e está sendo aplicado para o aço EP (Estampagem Profunda).

Principais características quanto ao uso do modelo matemático:

- Aumento da produtividade;
- Eliminação dos patamares de aquecimento;
- Redução do tempo total de aquecimento;
- Redução no consumo de insumos.

## 3 RESULTADOS

As ações tomadas durante a realização deste trabalho para a redução de ocorrência e perdas causadas pelo defeito “Colamento” foram eficazes. Tal redução foi muito significativa por envolver um defeito tido como crítico, pois uma gama relevante de variáveis que podem influenciar em sua ocorrência.



**Figura 10 – Evolução da qualidade quanto ao defeito “Colamento”**

Além da evolução de qualidade interna, outro importante resultado obtido com esse trabalho foi no quesito reclamações de clientes externos. Várias ocorrências foram registradas tanto no ano de 2006 quanto em 2007, e de janeiro a junho de 2008, nenhuma nova reclamação foi aberta para o defeito “Colamento”.

Em paralelo ao trabalho de redução do defeito “Colamento”, a mesma equipe desenvolveu um trabalho de redução do defeito “Deslizamento”, que ocorria numa outra gama de produtos laminados a frio e importantes resultados também foram obtidos.

#### **4 CONCLUSÃO**

Por intermédio de um forte trabalho em equipe e com a escolha de adequados métodos de análises e solução de problemas, somado a recursos de engenharia, as causas do defeito “Colamento” foram identificadas nos processos produtivos da ArcelorMittal Vega. Isto conduziu a tomada de decisões eficazes/eficientes, eliminando assim um dos mais complexos defeitos dos produtos laminados a frio.

Com base nos resultados obtidos na evolução da qualidade, pode-se evidenciar uma significativa redução de 92% na ocorrência do defeito “Colamento” em produtos laminados a frio, mostrando que a ArcelorMittal Vega tem uma constante preocupação com o seu negócio e com satisfação plena de seus clientes.

#### **Agradecimentos**

À participação efetiva no início deste trabalho de José Francisco da Silva Filho (Coordenador de Produtos), Leandro Trindade (Técnico de Controle de Qualidade), Alexandre Rocha Lopes (Técnico de Controle de Qualidade). Durante a execução das ações, ao Tiago Martins Sousa (Técnico de Confiabilidade) e a todos Técnicos de Operação, de Auto Controle e Operadores das linhas de Recozimento e Encruamento. Todos contribuíram para o sucesso deste trabalho.