

DESENVOLVIMENTO DE NOVAS ESPECIFICAÇÕES PARA MATERIAIS DUPLAMENTE REDUZIDOS¹

Alexandre Lorandes²
Anderson Pires de Oliveira³
Cleverson Roberto Godinho⁴
Eduardo Amorim Motta⁵
Sidiclei Bezerra de Lima⁶
Tomé Moreira de Alvarenga Neto⁷
Thais Dias do Nascimento⁸
Willian Costa do Nascimento⁹

Resumo

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento, em função de freqüentes solicitações do mercado, de especificações ainda não atendidas pela Usina Presidente Vargas - CSN. São elas: TH 480 (DR 480) e TH 520 (DR520) em espessuras iguais a 0.150 mm e 0.140 mm respectivamente. A etapa crítica deste desenvolvimento foi o processo de laminação a frio de espessuras iguais a 0.179 mm e 0.170 mm. Após o processo de recozimento contínuo, as espessuras a frio supracitadas sofrerão uma segunda redução a frio no laminador de dupla redução, sendo esta a etapa de processo determinante para obtenção das propriedades mecânicas desejadas. As novas especificações desenvolvidas promoveram também, o atendimento a solicitação do mercado, de especificações simples redução com espessuras inferiores a 0,180 mm, espessura mínima possível até o desenvolvimento deste trabalho; promovendo assim, a manutenção do mercado e da competitividade das folhas metálicas no seguimento de embalagens.

Palavras-chave: Folha metálica; Laminador; Propriedade mecânica; Especificação.

DEVELOPMENT OF NEW SPECIFICATION FOR MATERIAL DOUBLY REDUCED

Abstract

This paper show us the development, due to request of the market of specifications there aren't in the Usina Presidente Vargas – CSN. They are: TH 480 (DR 480) and TH 520 (DR 520) in thickness equal 0,15 mm and 0,140 mm respectively. The critical step of this development was the cold Rolling process of thickness equal 0,179 mm and 0,170 mm. After of the continuous annealing process, the cold thickness will be submitted the second cold reduction in the temper mill, being this the step process which will determine the mechanical properties required. The new specifications developed possibilited the delivery to the market of simple reduction specification with thickness smaller than 0,180 mm, the minimum thickness possible until the development this paper, standing market in the competitive segment of tin sheet to packing.

Key words: Tin sheet; Rolling mill; Mechanical properties; Specification.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Engº Metalúrgico, Engº de produção da Gerência de laminação a frio da Companhia Siderúrgica Nacional.

³ Arquiteto, Supervisor de célula da Gerência de laminação a frio da Companhia Siderúrgica Nacional.

⁴ Engº Mecânico, Engº de desenvolvimento da Gerência de Proc. da Laminação da Companhia Siderúrgica Nacional.

⁵ Engº Metalúrgico, Msc em materiais, Engº especialista da Gerência Geral de Folhas Metálicas da Companhia Siderúrgica Nacional.

⁶ Arquiteto, Técnico de desenvolvimento da Gerência de laminação a frio da Companhia Siderúrgica Nacional.

⁷ Engº Metalúrgico, Msc em metalurgia, Coord. da Gerência de Proc. da Laminação da Companhia Siderúrgica Nacional.

⁸ Engª Metalúrgica, Estagiária da Gerência de Processos da Laminação da Companhia Siderúrgica Nacional.

⁹ Engº Metalúrgico, Engº de desenvolvimento da Gerência de Processos da Laminação da Companhia Siderúrgica Nacional.

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho descreve o desenvolvimento de especificações de menor espessura e limite de escoamento, conforme solicitado pelo mercado consumidor de aço para folhas metálicas, esta solicitação visa principalmente à redução do custo produtivo do cliente consumidor. O desenvolvimento dessas especificações conforme EN10202⁽¹⁾ TH 480 (DR 480) e EN10202⁽¹⁾ TH 520 (DR 520), normas europeias, nas espessuras a frio de 0,150 mm e 0,140 mm respectivamente, tem como finalidade a redução do limite de escoamento do material, facilitando a fabricação de “corpos” de embalagens de aço; este desenvolvimento possibilitou também o atendimento do mercado consumidor de materiais simples redução com espessura menor que 0,180 mm. A Tabela 1 nos mostra a disponibilidade da CSN relacionada ao atendimento de materiais DR (dupla redução).

Tabela 1. Especificações e propriedades mecânicas (limite de escoamento)⁽²⁾

Classe segundo propriedade mecânica EN10202/01	LE nominal (a 0,2%) MPa
TH 520	520 (+/- 50 MPa)
TH 550	550 (+/- 50 MPa)
TH 580	580 (+/- 70 MPa)
TH 620	620 (+/- 50 MPa)

O processo de dupla redução consiste em dar um passe de redução a frio com valores em torno de 10% a 33% no laminador de dupla redução, após o material ter sido processado no laminador de tiras a frio e nas linhas de recozimento contínuo.

As folhas metálicas de aço de dupla redução são especificadas e classificadas conforme NBR6665⁽³⁾ (norma brasileira) e ou EN10202⁽²⁾ (norma europeia) segundo a classe de propriedade mecânica onde, cada classe está associada a uma faixa de limite de escoamento a 0,2% de alongamento permanente. Esses materiais são processados conforme a especificação de dupla redução e utilizados na fabricação dos “corpos” para embalagens de aço devido à sua alta resistência.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O limite de escoamento do material é diretamente proporcional a taxa de redução atribuída a ele após o processo de laminação a frio e recozimento onde, para o desenvolvimento das novas especificações com os valores de limite de escoamento conforme solicitado pelo cliente, na espessura final de 0,15 mm e 0,14 mm foi extremamente necessário a diminuição da espessura do material processado no laminador de tiras a frio que, até o desenvolvimento das especificações supracitadas era de 0,180 mm. Desta maneira através da aplicação de conhecimentos metalúrgicos, foi identificado as necessidades para redução da espessura no laminador de tiras a frio e conseqüente redução do limite de escoamento do material.

Para diminuição da redução a frio, identificou-se como uma das necessidades a redução da espessura da bobina a quente decapada, com fins a redução da espessura a frio e conseqüentemente a diminuição do limite de escoamento do material através da diminuição da redução total no laminador de dupla redução. Porém para este desenvolvimento a necessidade redução da espessura da bobina a quente decapada foi descartada devido às prováveis perdas de produção no laminador de tiras a quente e na linha de decapagem contínua. Assim, todo o desenvolvimento foi atribuído ao processo de laminação a frio. Uma das preocupações prioritárias rela-

cionadas ao processo, diz respeito ao aumento da redução total atribuída ao material em consequência da diminuição da espessura no laminador de tiras a frio, este fato, acarretaria como consequência um aumento da carga de laminação por cadeira, a qual se trata do parâmetro quantitativo mais importante do processo de laminação, pois:⁽⁴⁾

- afeta as solicitações mecânicas da cadeira de laminação e seus componentes;
- afeta o torque e a potência dos motores;
- afeta a precisão dimensional do esboço plano devido à cedagem da cadeira; e
- afeta a planicidade do material.

Além disso, um aumento da carga de laminação poderia levar a ocorrência de *chatter*^(5,6) de 3ª oitava, ocasionando assim um descontrole no processo de laminação, podendo vir a causar variações bruscas na espessura do material laminado a frio, desclassificando o produto e também podendo ocasionar rompimento da tira durante o processo. Desta maneira uma das alternativas realizadas com fins a reduzir o efeito do aumento da carga de laminação devido ao aumento da redução total, foi a redução do efeito do mecanismo de endurecimento por solução sólida⁽⁷⁾ através da utilização de um grau de aço com menor teor de carbono e manganês, este fato reduziria a resistência mecânica a deformação, tendo desta maneira um melhor controle da carga de laminação necessária para o processo de um material com menor espessura e maior redução total. Outra preocupação relacionada com o aumento da redução total, diz respeito a qualidade da planicidade do material laminado a frio, assim, houve a necessidade do desenvolvimento de curvas de meta de planicidade otimizadas, de forma a tornar o material apto para seu processo nas linhas de recozimento contínuo, além disso, desenvolvimentos anteriores ao trabalho, onde estabeleceu-se o uso de luvas *short key* em todos os mancais dos cilindros de encosto de cada cadeira de laminação, este fato diminuiu sensivelmente o nível vibracional do equipamento fato que, reduziu a probabilidade de que o equipamento pudesse entrar em ressonância vindo a ocasionar o *chatter* de 3ª oitava.

Durante este desenvolvimento foi necessário também estabelecer o valor da espessura a frio a ser processada no laminador de tiras a frio para obtenção dos valores de limite de escoamento conforme solicitados pela especificação. Através dos dados de redução total e o limite de escoamento atingido por cada especificação de dupla redução já desenvolvida conforme mostrado na Figura 1.

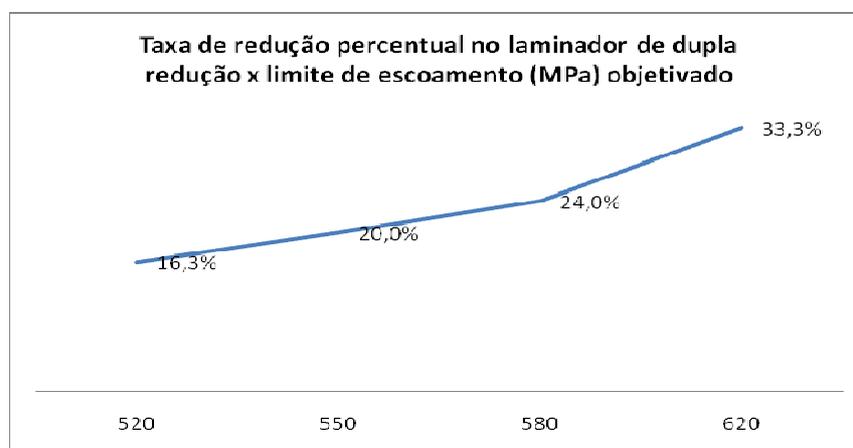


Figura 1. Taxa de redução por especificação já desenvolvida.

Através da análise de regressão, obtemos a fórmula para obtenção dos valores de redução total no laminador de dupla redução necessária para obtenção do valor de limite de escoamento desejado conforme mostrado na Figura 2.

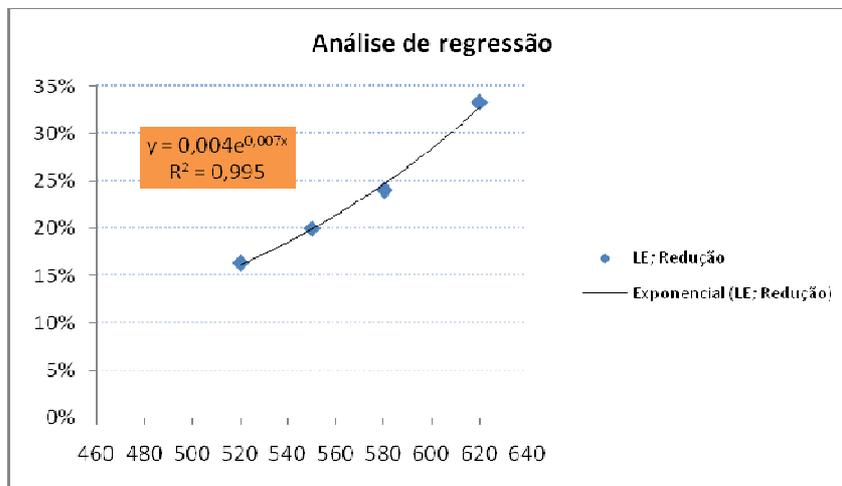


Figura 2. Análise de regressão para obtenção da taxa de redução no laminador de dupla redução.

Desenvolvendo:

$$Y = 0,004e^{0,007x}$$

Onde:

Y = taxa de redução percentual

X = limite de escoamento objetivado = 480 MPa

$$Y = 0,004e^{0,007 \cdot (480)}$$

$$Y = 0,004e^{3,360}$$

$$Y = 0,004 \cdot 28,78919$$

$$Y \approx 12\%$$

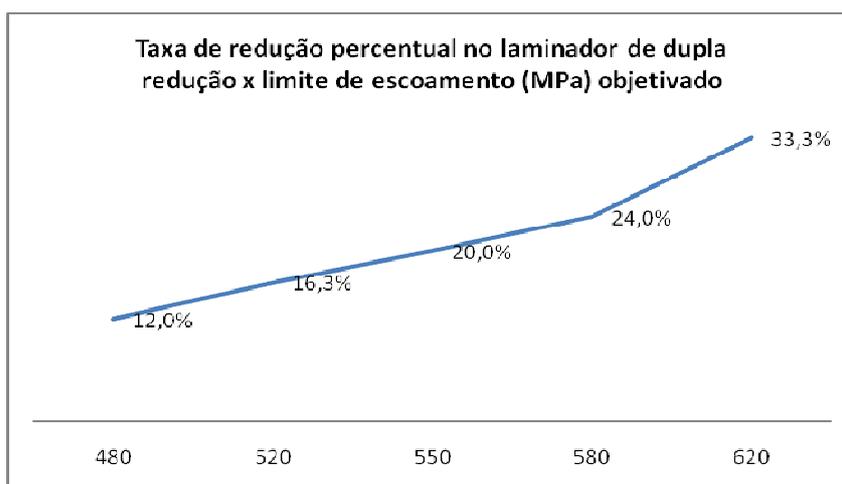


Figura 3. Taxa de redução por especificação já desenvolvida e o valor de redução obtido na extrapolação

A análise de regressão nos forneceu um valor base de redução total (12%) a ser utilizada no processo de dupla redução, porém, devido a dificuldades que tería-

mos no processo de dupla redução com o uso da baixa redução total definida, dificuldade esta relacionada principalmente com o aspecto superficial e a planicidade final do material, foi necessária o uso de uma taxa de redução total de $\approx 14\%$.

Estabelecida a redução total que deverá ser objetivada no laminador de dupla redução, utilizando-se de uma fórmula matemática simples, calculamos a espessura de entrada no laminador de dupla redução, ou seja, a espessura *target* (espessura média do material) do laminador de tiras a frio.

$$EE \text{ (mm)} = ES \text{ (mm)} / (1 - (\text{Red. (\%)} / 100))$$

Onde:

EE – Espessura de entrada em milímetros

ES – Espessura de saída em milímetros

Red. (%) – Redução %

Desenvolvendo os cálculos matemáticos obtemos:

Especificação TH 480 (DR480)

$$EE \text{ (mm)} = 0,153 / (1 - (14,5/100))$$

$$EE \text{ (mm)} = 0,153 / (1 - 0,145)$$

$$EE \text{ (mm)} = 0,153 / 0,855$$

$$EE \text{ (mm)} = 0,179$$

Especificação TH 520 (DR520)

$$EE \text{ (mm)} = 0,143 / (1 - (16,3/100))$$

$$EE \text{ (mm)} = 0,143 / (1 - 0,163)$$

$$EE \text{ (mm)} = 0,143 / 0,837$$

$$EE \text{ (mm)} = 0,170$$

Outra etapa do desenvolvimento foi selecionar um grau de aço com o qual pudéssemos obter o limite de escoamento desejado após o laminador de dupla redução, e que, devido a sua menor resistência a deformação facilita-se o processo de laminação a frio, devido aos menores valores de carga de laminação durante o processo, seguem na Tabela 2 os valores percentuais de alguns elementos químicos do grau utilizado do desenvolvimento das novas especificações e a composição química de um grau utilizado nas especificações já desenvolvidas.

Tabela 2. Composição química do grau utilizado

	(%) Carbono	(%) Manganês	(%) Fosforo	(%) Enxofre
Grau experiência -	0,02 / 0,05	0,15 / 0,25	0,00 / 0,02	0,00 / 0,018
Grau comum -	0,03 / 0,05	0,25 / 0,35	0,00 / 0,02	0,00 / 0,025

Definido as reduções no laminador de dupla redução, o grau do aço a ser utilizado e a espessura *target* no laminador de tiras a frio, foram realizados os primeiros testes para validação do desenvolvimento das novas especificações conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3. Características dos materiais utilizados nas primeiras experiências

Cliente	OV	Especificação	Espessura a frio (mm)	Espessura após dupla redução (mm)	Largura (mm)	Grau
Auxiliar Conservera	1944329-01	TH 480 (DR 480)	0,179	0,150	918	Experiência
Petti Conserve	1972965-01	TH 520 (DR 520)	0,170	0,140	920	Experiência

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Processo

Abaixo é mostrado os parâmetros de processo relacionados a carga de laminação e a redução média por cadeira utilizados no laminador de tiras a frio. Conforme comentado anteriormente o processo de laminação a frio foi definido como a etapa mais crítica para o desenvolvimento das novas especificações, desta maneira o aumento da redução total de 91% para 91,5% não teve grande significância para processo, já que, a utilização de um grau de aço com menor resistência a deformação facilitou o processo de laminação a frio, conduzindo este, a valores de cargas de laminação adequada para o processo conforme mostrado na figura 3 e 4 e para obtenção de materiais dentro dos parâmetros de qualidade, relacionados a espessura e a planicidade do material adequados.

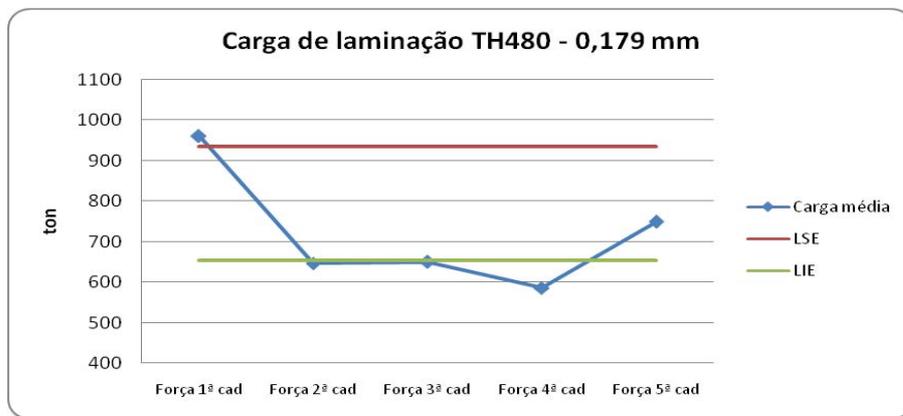


Figura 3. Carga de laminação na especificação TH 480 (DR 480).

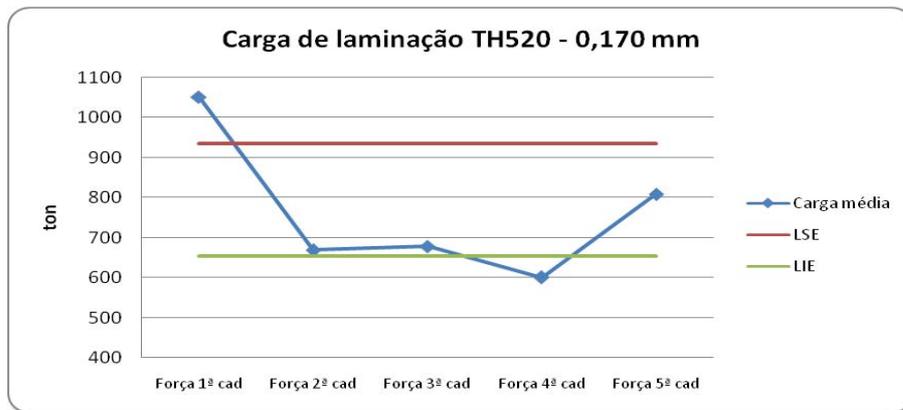


Figura 4. Carga de laminação na especificação TH 520 (DR 520).

A distribuição das reduções praticas por cadeira durante o processo de laminação a frio é mostrada nas Figuras 5 e 6.

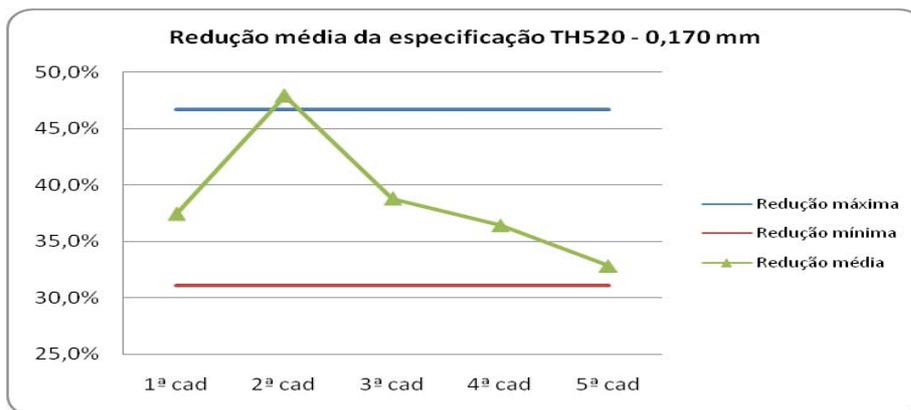


Figura 5. Redução por cadeira de laminação na especificação TH 520 (DR 520).

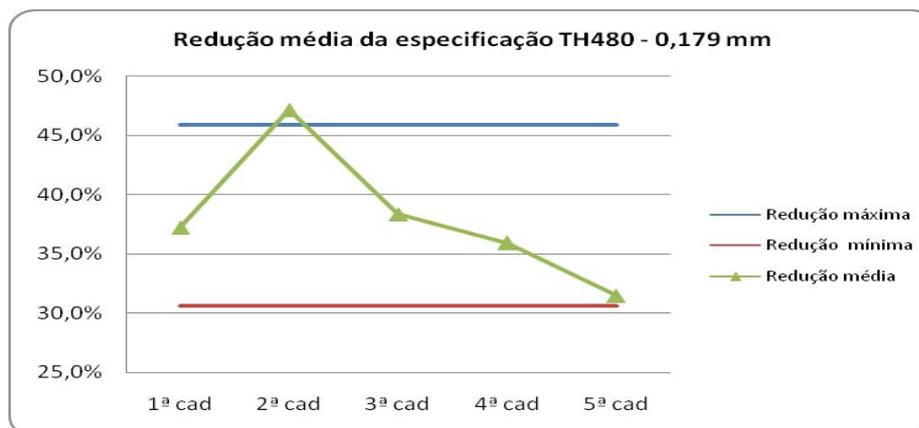


Figura 6. Redução por cadeira de laminação na especificação TH 480 (DR 480).

3.2 Planicidade

A planicidade do material também foi uma das grandes preocupações com relação ao desenvolvimento das novas especificações, pois, conforme já mencionado anteriormente um aumento da redução total atribuída ao material poderia conduzir a uma planicidade deficiente impedindo a continuidade do processo do material nas linhas de recozimento contínuo tornando inviável o desenvolvimento das novas especificações. Desta maneira duas atividades foram fundamentais para este desenvolvimento:

- otimização de curvas de meta de planicidade que se buscam as menores amplitudes de repuxados centrais ao longo do comprimento do material; e
- limitação da velocidade máxima de processo no laminador de tiras a frio em cada especificação desenvolvida conforme mostrado nas Figuras 7 e 8.

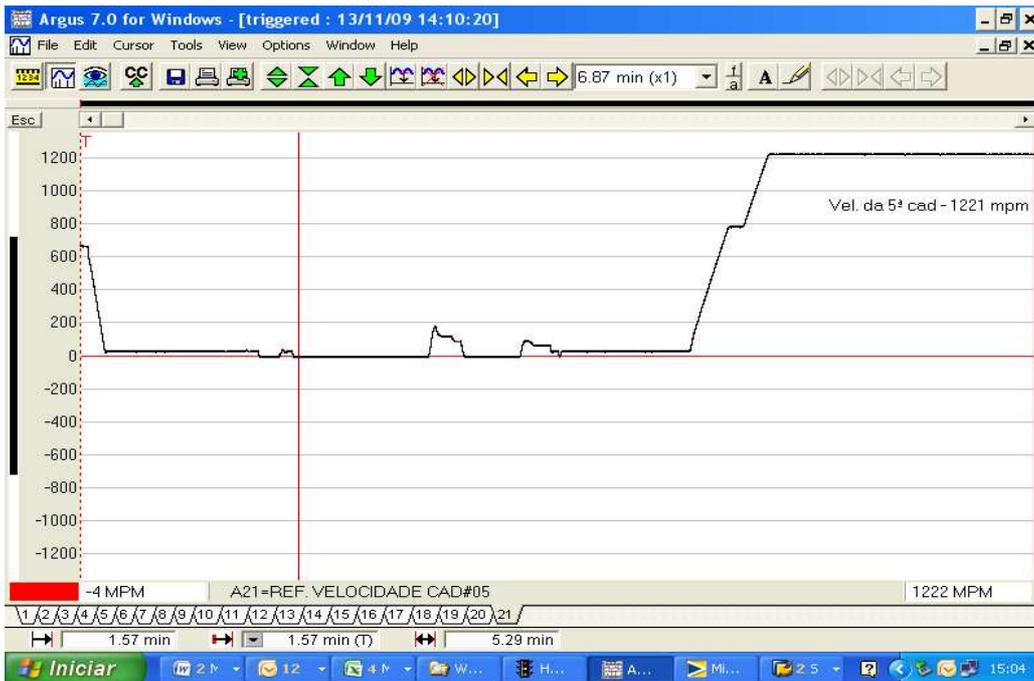


Figura 7. Velocidade de processo da especificação TH 520 (DR 520) – espessura 0,170 mm

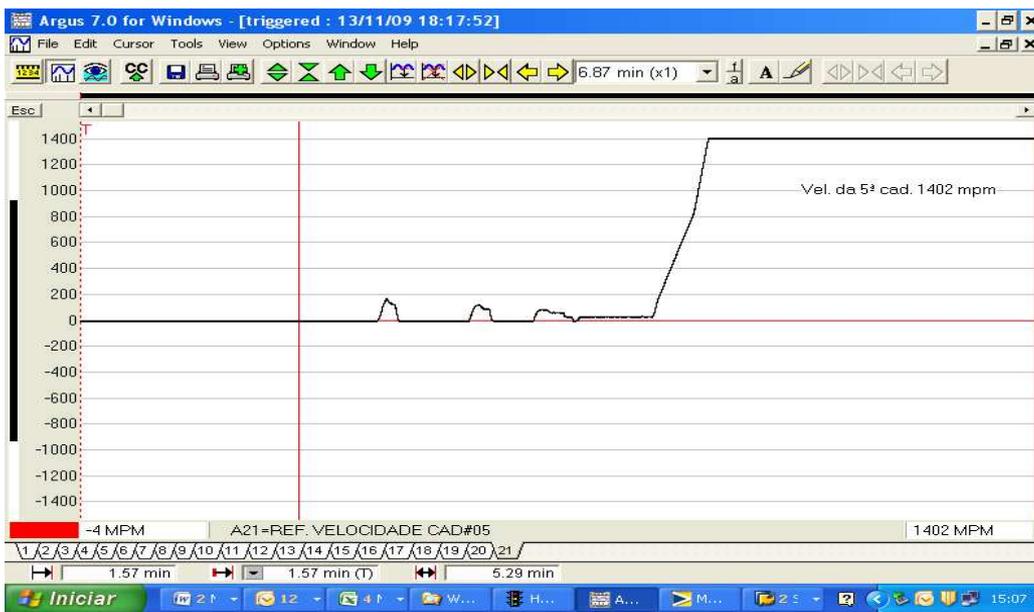


Figura 8. Velocidade de processo da especificação TH 480 (DR 480) – espessura 0,179 mm.

Esta última atividade visou a redução do gradiente térmico em função do aumento da redução total no laminador de tiras a frio, este fato, facilitou o controle da planicidade do material pelo *shapemeter* (sistema de controle de planicidade nos laminador) devido a menor geração de calor durante o processo. O resultado da planicidade obtida na especificação TH (DR 480) pode ser vista nas Figuras 9 e 10.

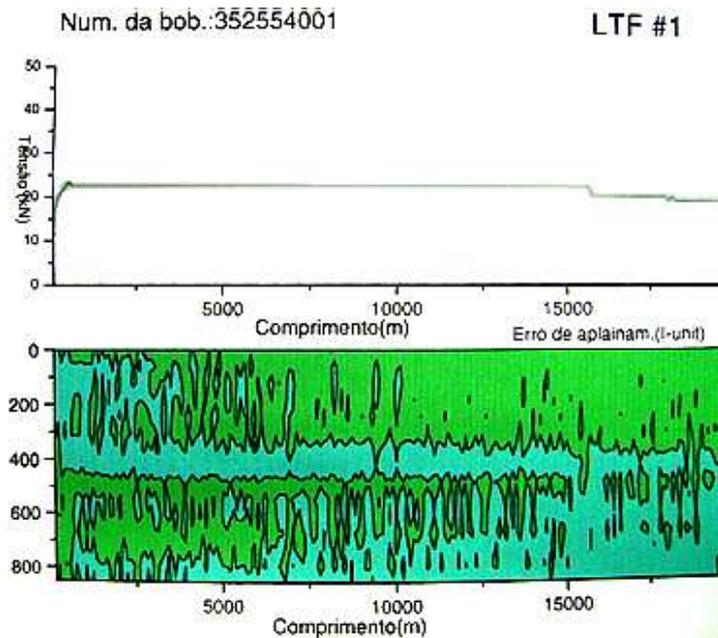


Figura 9. Planicidade em 2 dimensões do material na especificação TH 480 (DR 480) – espessura 0,179 mm.

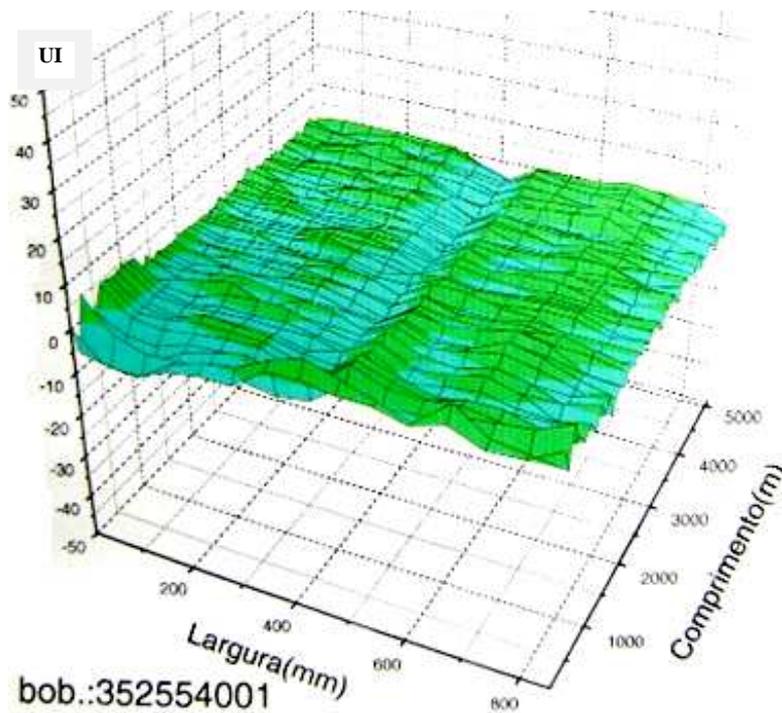


Figura 10. Planicidade em 3 dimensões do material na especificação TH 480 (DR 480) – espessura 0,179 mm.

Nas Figuras 9 e 10 podemos verificar o erro de aplainamento atribuído ao material, estando este situado entre +/- 5UI (unidades I - unidade de medição de planicidade), valor adequado para que o material possa ser processado nas linhas de recozimento contínuo.



3.3 Espessura

Desenvolvimentos anteriores relacionados principalmente com a redução do nível vibracional do equipamento, tornou viável o processo de materiais com espessuras menores que 0,180 mm, espessura mínima processada até o desenvolvimento das novas especificações, desta maneira o uso de luvas *short key* nos mancais dos cilindros de encosto de todas a cadeiras de laminação, evitaram que, durante o processamento das espessuras 0,179 mm e 0,170 mm no laminador, pudesse ocorrer o fenômeno *chatter* (fenômeno vibracional que ocorre em laminadores a frio) e conseqüentemente o rompimento da tira durante o processo. A estatística da tendência da espessura do material ao longo de seu comprimento, com tolerâncias em +/- 2%, é mostrado nas Figuras 11 e 12.

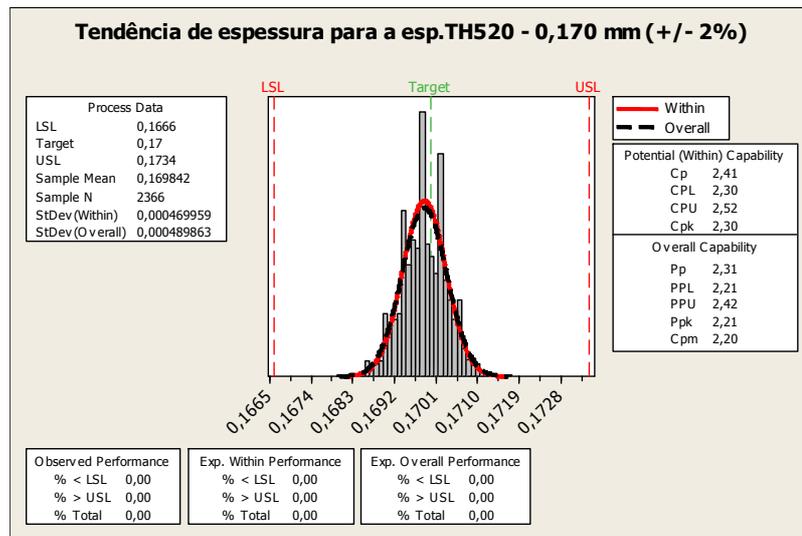


Figura 11. Tendência de espessura da especificação TH 520 (DR 520) – espessura 0,170 mm.

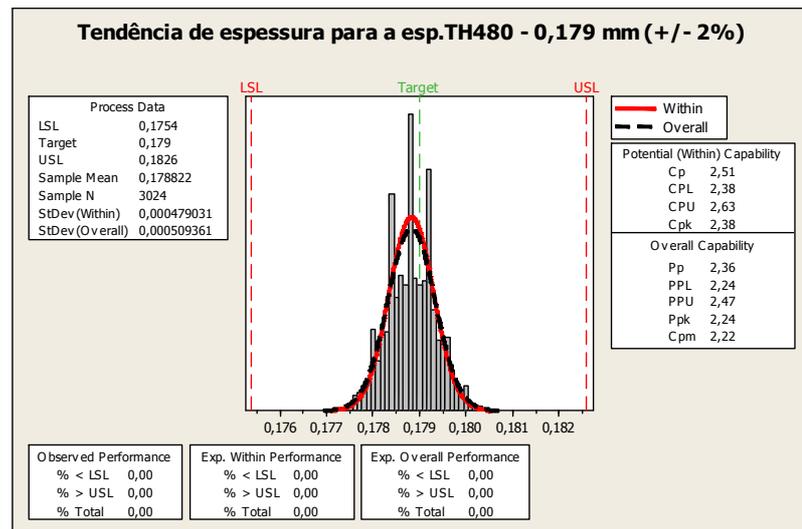


Figura 12. Tendência de espessura da especificação TH 480 (DR 480) – espessura 0,179 mm.

3.4 Propriedades Mecânicas

O principal fator quanto ao desenvolvimento das novas especificações, diz respeito à obtenção das propriedades mecânicas (limite de escoamento) obtidas após o processo de laminação de dupla redução, sendo estes iguais a 480 MPa pa-

ra uma espessura final de 0,150 mm e de 520 MPa para uma espessura final de 0,140 mm. A Figura 13 e 14 mostra-nos a estatística das propriedades mecânicas (limite de escoamento) obtidas. Podemos notar que, para especificação DR480, apesar de ser possível o atendimento conforme estabelecido nas normas internacionais, ou seja, valores de limite de escoamento de 480 MPa (com variação máxima e mínima de 50 MPa), há necessidade de realização de ajuste no processo, com fins a centralização da curva estatística aumentando assim o valor de cpk , este fato já era esperado pois, o valor de redução total encontrado na análise de regressão ($\approx 12\%$) foi menor do que o utilizado no processo ($\approx 14\%$), desta maneira foi realizada alteração no valor da espessura *target* do laminador de tiras a frio para 0,177 mm, reduzindo o valor de redução total no laminador de dupla redução para 13,5 %.

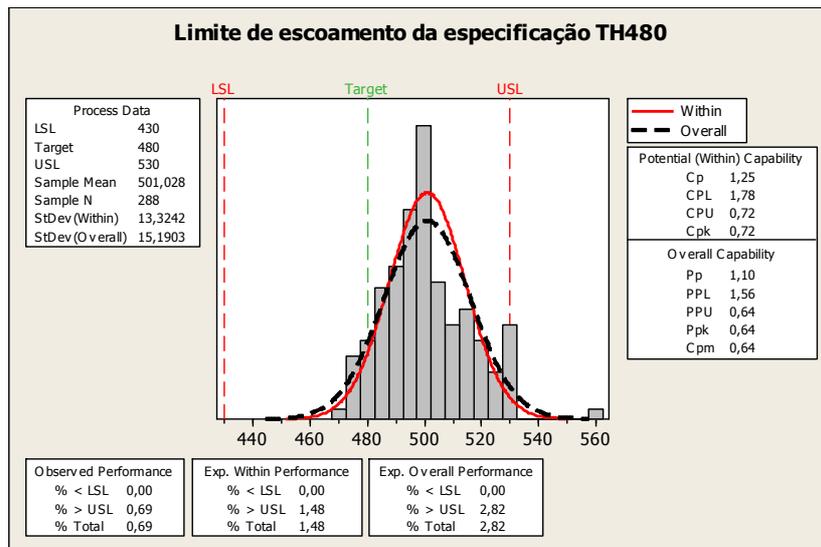


Figura 13. Análise estatística do limite de escoamento da especificação TH 480 (DR 480) (espessura 0,179 mm).

Para especificação TH 520 (DR 520), o valor estatístico obtido, mostrado na Figura 14 foi adequado, não sendo necessário qualquer ajuste para o desenvolvimento.

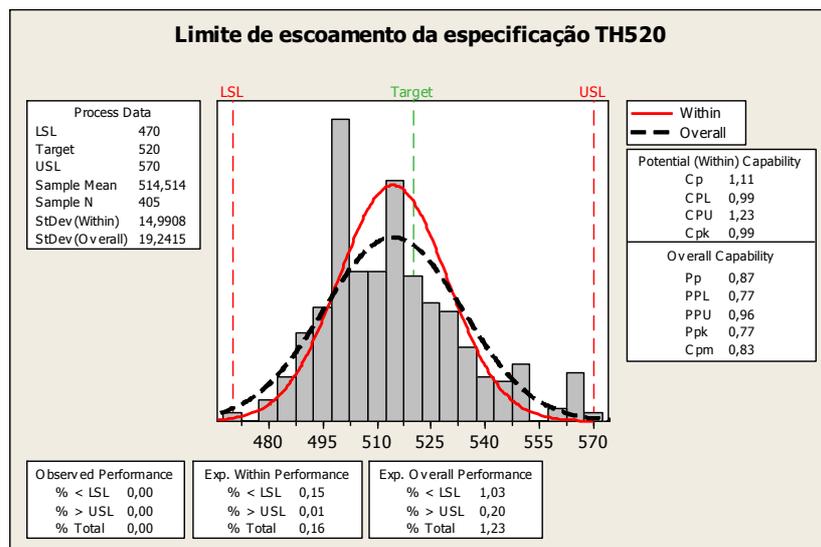


Figura 14. Análise estatística do limite de escoamento da especificação TH 520 (DR 520) (espessura 0,170 mm).



5 CONCLUSÃO

- 1- O desenvolvimento das novas especificações EN10202 TH 480 (DR 480) e EN10202 TH 520 (DR 520) com espessuras duplamente reduzidas de 0,15 e 0,14 mm respectivamente, foi tecnicamente possível, aumentando assim a quantidade de produtos fornecidos pela Companhia Siderúrgica Nacional.
- 2- Para o desenvolvimento dessas especificações foi necessário a diminuição da espessura mínima processada no laminador de tiras a frio. Este desenvolvimento possibilitou também a abertura da carteira para atendimento de especificações simples redução com espessura menor que 0,180 mm.
- 3- Apesar de, a análise estatística mostrar-nos que o desenho do processo foi capaz de atender os limites de escoamento conforme especificado houve a necessidade de ajuste no valor da espessura a frio do material, fato já esperado devido à redução total encontrada na análise de regressão.

Agradecimentos

A todos os colaboradores de nível operacional que contribuíram com sugestões para que pudéssemos ter sucesso nesse desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

- 1 EUROPEAN STANDARD – (EN 10202:2001) – Norma técnica para atendimento ao mercado europeu de folhas de flandres
- 2 MANUAL DE PRODUTOS AUTORIZADOS (MPA) DA COMPANHIA SIDERURGICA NACIONAL
- 3 NORMA BRASILEIRA – (ABNT NBR 6665:2006) – Norma técnica para atendimento ao mercado nacional de folhas de flandres
- 4 GORNI, A. AUGUSTO, - Cálculos de laminação “Associação brasileira de metalurgia e materiais – ABM” - 2004
- 5 GOMES, U. ROCHA; PAULINO, W. DE SOUZA; NETO, P. C. DO AMARAL; AQUINO, R. PERRONI; GOMES, G. LEOPOLDO; NEVES, A. DIAS; FERNANDES, J. CARLOS; SILVA, F. HERILTON; OLIVEIRA, F. GERALDO; – Melhoria da qualidade das dimensões das chapas para latas dos LTF1 e 2 da CSN usando vibração e planejamento de experimentos – chatter.
- 6 ROBERTS, WL. "Four-high Mill Stand Chatter of the Fifth-Octave Mode," Iron and Steel Engineer, October 1978, Vol. 55, No.10, 41-47.
- 7 CALLISTER, “Materials science and engineering”, 5ª Ed., John Wiley & Sons, 1999.