

DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE BOBINAMENTO DE MATERIAIS EXTRA GROSSOS*

Vinicius Mitsuo Kojima Campos¹
Helder Passos de Moraes²
Marcos Roberto Soares da Silva³
Herbert Christian Borges⁴

Resumo

Na usina de Cubatão da Usiminas, as bobinadeiras do laminador de tiras a quente 2 (LTQ2) têm capacidade nominal de produzir materiais com espessura de até 20,0 mm. Devido a possibilidade de atender a demanda de materiais com dimensionais acima das especificações do equipamento, foi conduzido um projeto para a análise de capacidade visando atender a nova demanda de mercado. Com a premissa de preservar a integridade da máquina, foram avaliados os seus limites eletromecânicos através de análise estatística de variáveis e simulações numéricas, que resultaram na determinação dos *setups* das variáveis de controle, a fim de viabilizar o processamento do material nas bobinadeiras. Após o processamento do lote *trial*, foi possível avaliar que a eficiência da metodologia utilizada para parametrização do processo mostrou-se bastante satisfatória, permitindo a expansão da capacidade máxima das bobinadeiras respeitando seus limites garantindo a sua integridade, bem como a expansão do portfólio de produtos laminados a quente da Usiminas.

Palavras-chave: Bobina Extra Grossa; Bobinadeiras; Laminação de Tiras a Quente.

DEVELOPMENT OF COILING PROCESS FOR EXTRA THICK COIL

Abstract

At Usiminas Cubatão, the down coilers of Hot Strip Mill have the nominal capacity to produce materials with a thickness of up to 20,0mm. Due to the possibility of supplying the demand for materials with dimensions that exceed the equipment capability, a methodology was used to analyze the possibility of the equipment to offer a new market demand. With a premise to preserve the equipment integrity, the electromechanical limits of the down coilers were evaluated and by means of statistical tools and simulation were defined the setups and control variables in order to make feasible the material processing.

At the final step after the processing of a test lot, it was possible to evaluate the methodology used for parameterization of the process and to be quite satisfactory allowing that was explored the maximum capacity of the down coilers within the limits and ensuring the equipment integrity and expanding the Usiminas portfolio.

Keywords: Extra Thick Coil; Down Coilers; Hot Strip Mill.

¹ Engenheiro de Produção, Engenheiro de Produção, Laminação a Quente, Usiminas, Cubatão, São Paulo - Brasil.

² Técnico em Metalurgia, Assistente Técnico Operacional, Laminação a Quente, Usiminas, Cubatão, São Paulo - Brasil.

³ Engenheiro Metalurgista, Gerente Suporte Técnico das Laminações, Laminação a Quente, Usiminas, Cubatão, São Paulo - Brasil.

⁴ Engenheiro Metalurgista, Engenheiro de Produto, Controle Integrado do Produto, Usiminas, Cubatão, São Paulo - Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Na laminação de tiras a quente, o processo de bobinamento tem por função conformar as tiras laminadas em bobinas, gerando produtos compactos que facilitam os processos logísticos, reduzindo significativamente as chances de se danificarem durante os processos de estocagem, manuseio e transporte do material. As bobinadeiras do laminador de tiras a quente de Cubatão tem por especificação de projeto a capacidade de conformação de materiais até 20,0x 2050mm [1]. Em relação às propriedades mecânicas e normas comercializadas para materiais grossos, com espessura superior a 15,0mm, são ofertadas para o mercado as seguintes normas de qualidade conforme apresentado na Tabela 1:

Tabela 1. Propriedade Mecânica dos Aços Estruturais e Espessura $\geq 15,0$ mm [2].

Norma de Qualidade	LE (Mpa)	LR (Mpa)	AI (%)
ASTM A-1018-SS36-2	≥ 250	400-550	≥ 21
USI CIVIL 300	≥ 300	400-550	≥ 20
ASTM A-1018-HSLAS-50-1	≥ 340	≥ 450	≥ 20
USI CIVIL 345	≥ 345	≥ 450	≥ 16
USI SAC 300 TQ	≥ 300	400-550	≥ 19
USI SAC 350 TQ	≥ 350	500-650	≥ 16

A partir de janeiro de 2016, com a oportunidade de expandir o portfólio da Usiminas em laminados a quente, foi estabelecida a demanda de viabilizar a produção em escala industrial de bobinas com até 25,4mm. Tal dimensional é destinado a suprir as necessidades de aplicação em mercados de máquinas e equipamentos, construção civil, implementos rodoviários e caldeiraria pesada. Para atender esta demanda, todo o processo de conformação das bobinadeiras foi revisto em função da sua capacidade nominal.

Sendo assim, fruto da sinergia entre as áreas Técnicas, Operação, Vendas, Qualidade e Soluções Usiminas, foi desenvolvido um projeto de produto com especificações que atendessem a demanda do mercado.

2 DESENVOLVIMENTO

O trabalho foi elaborado em três etapas, sendo a primeira dedicada para o desenvolvimento do simulador de torque de bobinamento, replicando os cálculos *off-line* e controles realizados pelo PLC (*Programmable Logic Controller*) das bobinadeiras. A segunda etapa consistiu em realizar a simulação do torque com os parâmetros reais de tensão de bobinamento, peso de placa, limite de escoamento e dimensional da tira avaliando a capacidade da bobinadeira. Finalmente, com os dados obtidos foi possível planejar e produzir um lote experimental, sendo possível a validação da ferramenta criada.

2.1 Simulador de Torque de Bobinamento

A ferramenta de simulação de torque de bobinamento visa reproduzir de modo *off-line* os cálculos e controles dinâmicos executados pelo PLC durante o bobinamento da tira, a partir de *inputs* que determinam as características dimensionais do produto, propriedades físicas e também os *setups* de máquina que serão empregados no processo, conforme apresentado na Figura 1.

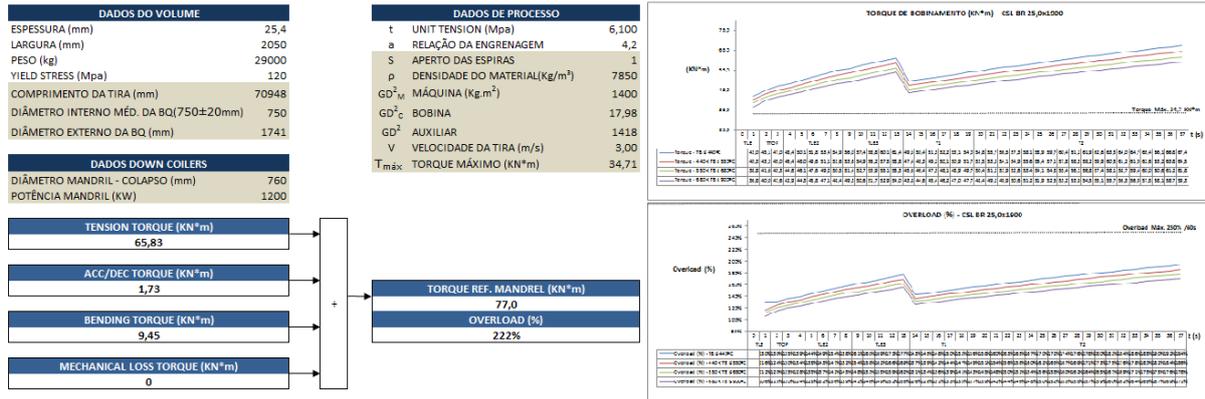


Figura 1. Simulador de torque de bobinamento.

O controle do torque de bobinamento ou torque do mandril é iniciado quando a ponta da tira alcança o mandril, até o momento que a cauda da tira passe pelo *Pinch Roll* da bobinadeira [3]. A referência do torque é constituída pela somatória de quatro parâmetros conforme ilustrados na Figura 2.

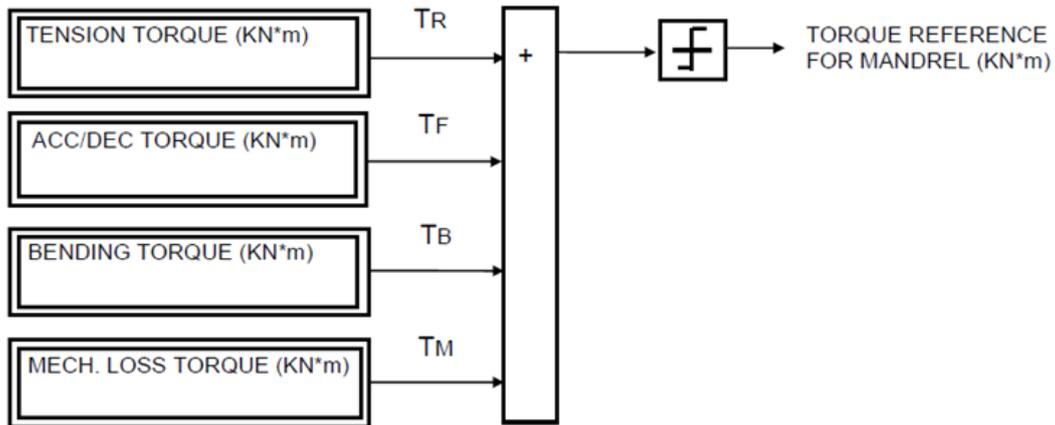


Figura 2. Composição do torque de bobinamento [3].

- **Tension Torque (T_R):** este componente depende do dimensional do material e também do grau de resistência. A Equação 1 define o cálculo desta variável, onde “T” corresponde a tensão de bobinamento (kN), “D” diâmetro da bobina (mm) e “a” relação de engrenagem da caixa redutora.

$$T_R = \frac{T \times D}{2a} [kN.m] \quad (1)$$

A tensão de bobinamento é definida por cálculo realizado em nível 2 e se ajusta dinamicamente ao aumento do diâmetro externo da bobina. A Figura 3 ilustra o padrão de ajuste de tensão unitária, onde o eixo x representa o aumento de diâmetro externo da bobina e o eixo y os setups de tensão de bobinamento.

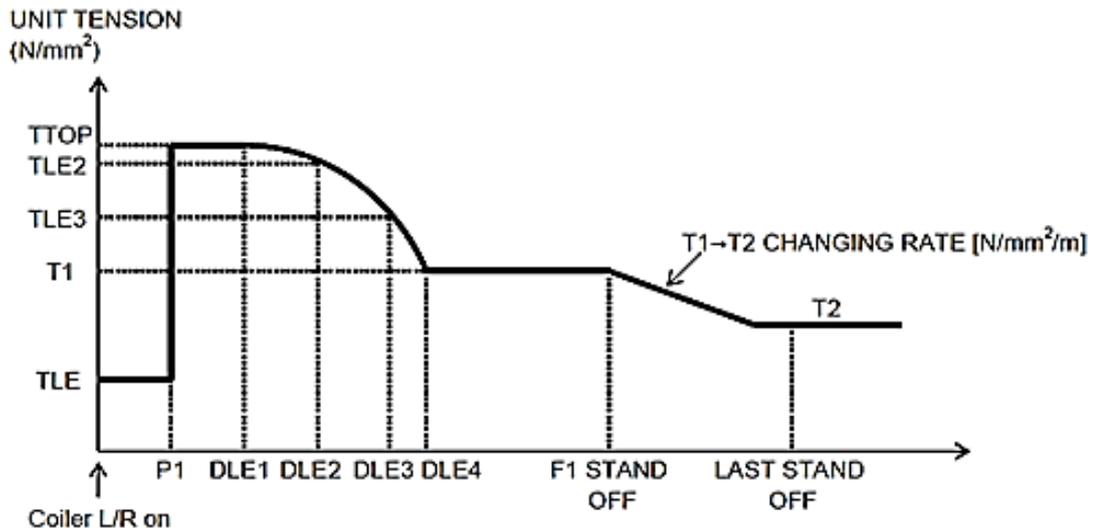


Figura 3. Padrão de ajuste da tensão de bobinamento [3].

- *Acceleration/Deceleration Torque* (T_F): como a velocidade de processamento no trem acabador varia, o controle de tensão tem a função de garantir a velocidade do mandril adequada durante a aceleração e desaceleração. A Figura 4 apresenta as variáveis de entrada que são consideradas para o cálculo da malha de controle de torque.

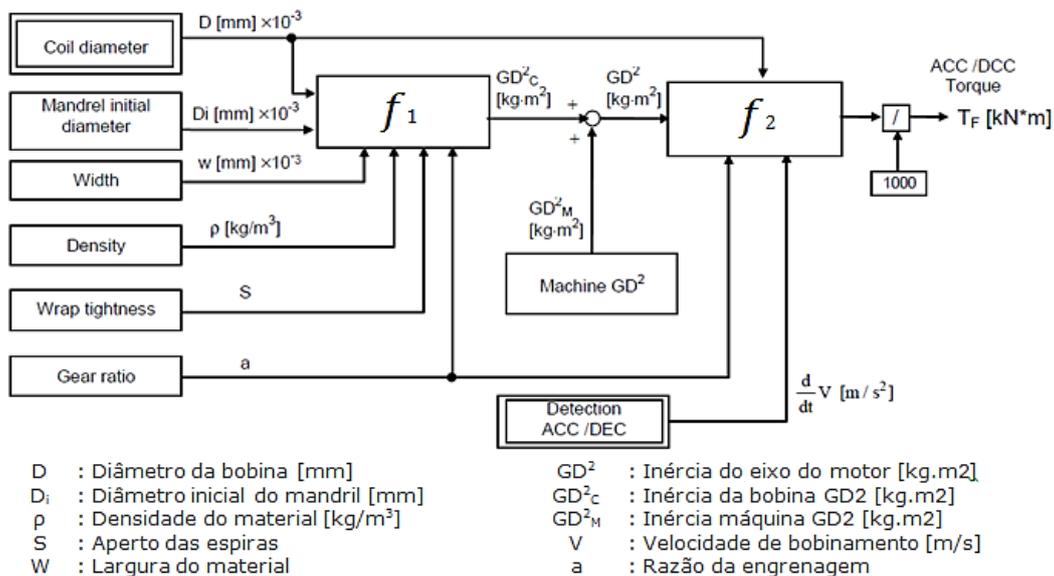


Figura 4. Composição do torque de aceleração e desaceleração [3].

- *Bending Torque*: o torque de dobramento da bobina é calculado através do modelo de tensão, que utiliza como entrada o limite de escoamento (σ_y), espessura (h), largura (w) e a razão da engrenagem do mandril (a), conforme apresentado na Figura 5.

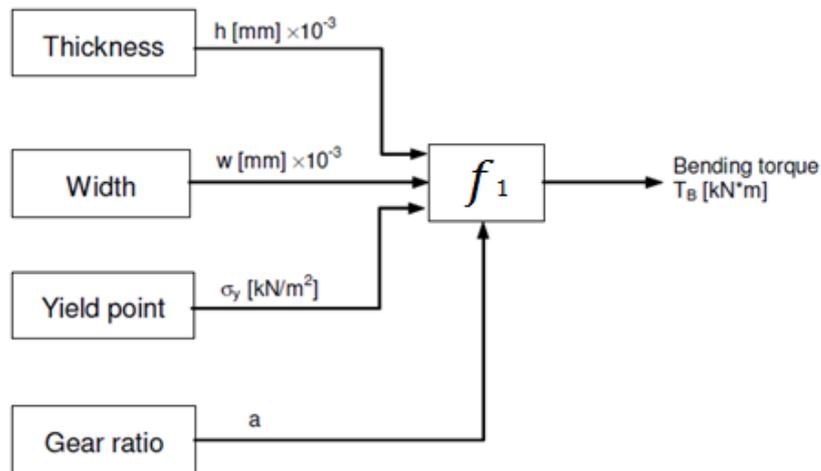


Figura 5. Composição do cálculo de bending torque [3].

- *MechanicalLoss*: este parâmetro é utilizado para compensação de perdas mecânicas durante a etapa de bobinamento. É calculado a partir do valor detectado com base na rotação do motor, conforme ilustrado na Figura 6 pelo diagrama do controle eletrônico dessa função.

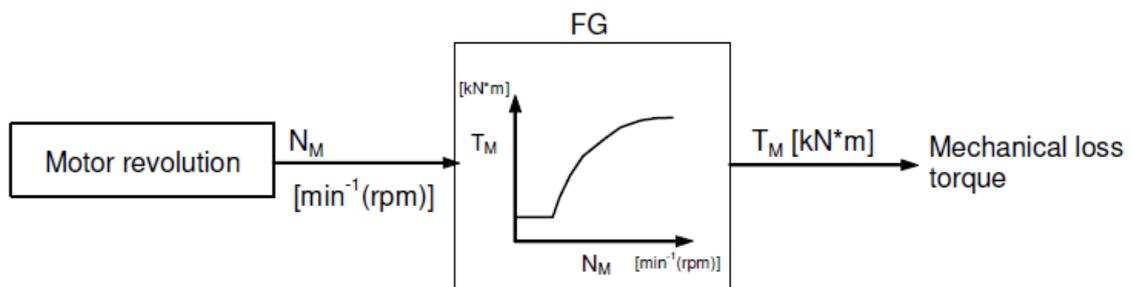


Figura 6. Composição do diagrama de controle de mechanical loss [3].

Uma vez estabelecido os cálculos, foi possível obter a simulação do torque durante a etapa de bobinamento em função do dimensional da tira, peso, limite de escoamento, tensão de bobinamento e relação de engrenagem do mandril.

2.2 A Simulação e Análise da Capacidade do Equipamento

O torque máximo especificado do motor é de 34,7 kN.m (100%), sendo permitido operar com carga de 86,75 kN.m (250%) até 60 segundos, controlado eletronicamente.

Considerando as especificações do equipamento, avaliou-se o desempenho histórico do torque do mandril para o bobinamento de materiais com dimensionais próximos a capacidade nominal e composição química similar ao do lotetrialmejado. A Figura 7 ilustra os torques obtidos.

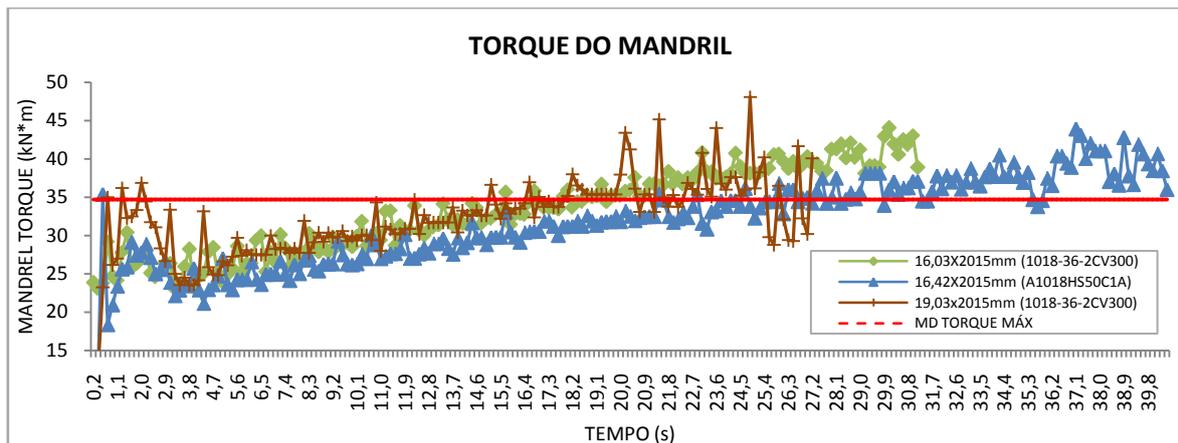


Figura 7. Torque de bobinação para materiais similares ao do desenvolvimento.

É possível observar que os torques obtidos nas três bobinas exemplificadas superam o valor máximo de torque especificado. No entanto, não excedem a restrição eletromecânica de 86,75 kN.m durante 60s e com base nos parâmetros de *pre-set* das bobinas utilizadas para análise, estabeleceu-se os parâmetros de *setup* da simulação do torque de bobinação para uma bobina de 34,0t com dimensional 25,4x2050mm (Figura 8).

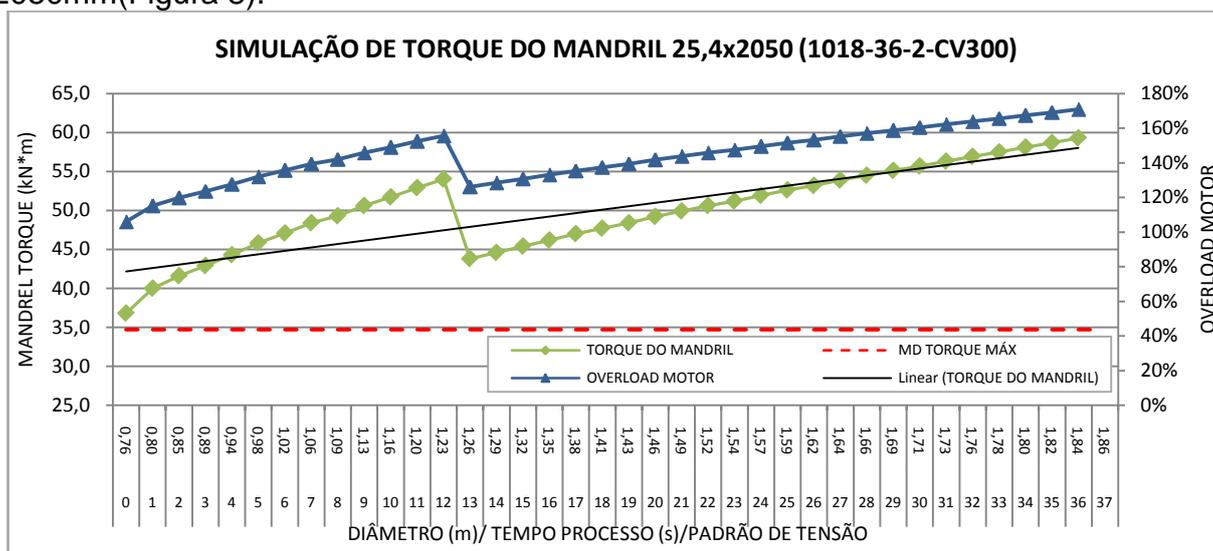


Figura 8. Simulação do torque de bobinação para material 25,4x2050mm.

Conforme os dados apresentados na Figura 8, o torque de bobinação para materiais 25,4 x 2050mm obtido em simulação excede a capacidade nominal da bobinadeira. Entretanto, não ultrapassou a condição eletrônica de desarme do motor configurada de sobrecarga (tempo total de processo de aproximadamente 37s).

2.3 Lote Trial

A simulação *off-line* demonstrada no capítulo anterior orientou a decisão da produção do lote *trial* em duas etapas, onde primeiramente foi produzida uma bobina de 22,4 x 2050mm e em seguida uma bobina de 25,4x2050mm.

Assim como na simulação, a composição química escolhida para realizar o teste industrial correspondeu a de um aço microligado, média resistência e peso de 33t, visando atender as normas de qualidade ASTM-A-1018-SS36-2 e USI-CIVIL-300. A Tabela 2 especifica a composição química do aço.

Tabela 2. Composição química do lote *trial*.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% m/m)						
C	Mn	P	S	Si	Al	Ti
0,14-0,18	1,00-1,20	0-0,025	0-0,010	0,15-0,35	0,02-0,45	0,009-0,024

Depois de compilados os resultados da simulação *off-line* definiram-se os parâmetros de processo para a produção dos dois novos dimensionais, que apresentam suas respectivas curvas de torque de bobinamento na Figura 9. Na Figura 10, são apresentadas as imagens das bobinas após o processo de bobinamento.

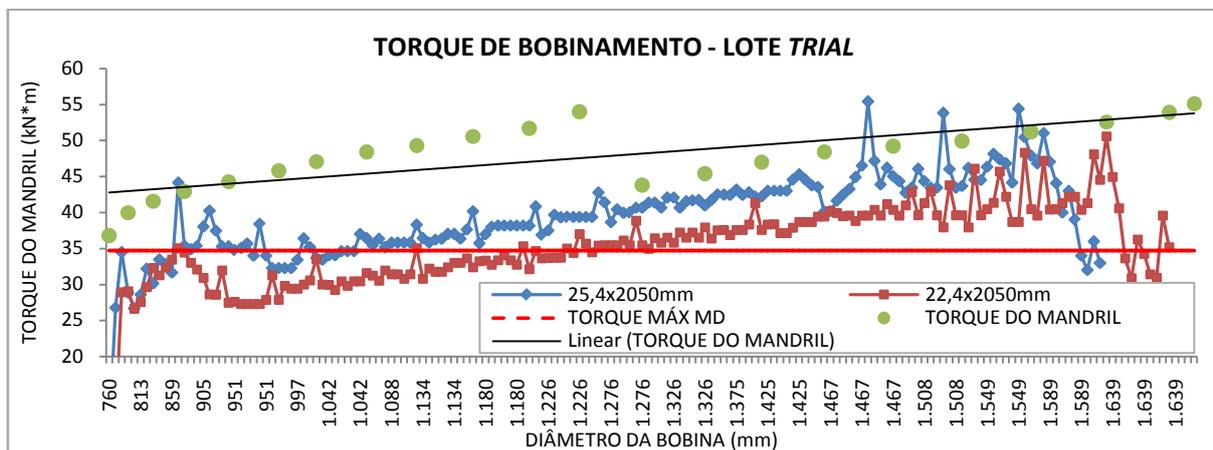


Figura 9. Torque de bobinamento das bobinas do lote *trial*.



Figura 10. Bobinas teste 22,40x2050mm e 25,4 x 2050 mm (1018-36-2-CV300).

A Figura 9 evidencia que a simulação não obteve 100% de aderência aos dados reais obtidos no processo industrial, considerando um grau de incerteza referente aos cálculos do limite de escoamento do material em função da temperatura de bobinamento e velocidade de processamento.

Ainda, existe fonte de incerteza pois o cálculo que define a T_R (*tension torque*) considera os valores de padrão para ajuste de tensão ao longo do diâmetro da bobina variando a taxa de mudança de tensão, e o simulador considera valores absolutos de tensão, sem aplicação da taxa do modelo de controle de tensão. Por esta razão, podemos observar dois patamares nas curvas de simulação de torque apresentadas nas Figuras 8 e 9.

Apesar dos *gaps* identificados entre simulação e teste industrial, na Figura 10 observamos que ambas as bobinas não apresentaram defeitos de forma. Desta forma, a simulação *off-line* de torque de bobinamento mostrou-se satisfatória em seus objetivos principais em avaliar a capacidade do equipamento e parametrizar o processo em escala industrial.

3 CONCLUSÃO

A simulação *off-line* mostrou-se bastante satisfatória quanto aos objetivos de avaliação da capacidade real de processo das bobinadeiras do LTQ2 da Usiminas Cubatão, como também quanto a premissa de garantir a integridade operacional do equipamento.

Foram encontrados *gaps* quando comparados os valores de torque de bobinamento simulados e valores reais obtidos em escala industrial, contudo, o programa computacional pode ser melhorado a fim de reproduzir a previsão de torque de bobinamento com maior fidelidade aos valores físicos incrementando o modelo de controle de tensão.

A produção do lote *trial* permitiu a expansão da atual colmeia de produtos laminados a quente da Usiminas, que podem agora ser aceitos via consulta metalúrgica. Além disso, atualmente existe a expectativa de expandirmos a colmeia para produtos extra-grossos de alta resistência e anti-corrosão.

Agradecimentos

Às equipes de Engenharia do Produto, Vendas, Planejamento de Produção e Manutenção que deram apoio integral ao projeto e consolidação dessa conquista. E especialmente aos supervisores de turno e operadores da laminação de tiras a quente de Cubatão pela dedicação e zelo para garantir que os procedimentos operacionais fossem integralmente respeitados.

REFERÊNCIAS

- 1 Magalhães, M. M.;Marconato, E. A. Guia JRP, Silva MRS. Novo laminador de tiras a quente da Usiminas Cubatão. 47º Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos, Belo Horizonte. Out. 2010.
- 2 USIMINAS. Catálogo de Produtos Siderúrgicos. 2015. Disponível em: <http://www.usiminas.com/nossos-produtos/tiras-quente/>
- 3 Magalhães, M.M.; Gonçalves,B.P. Down Coiler – Mandril, Functional Description Usiminas – Cubatão p. 12-20, 2012.