

## DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO SISTEMA DE CONTROLE DE RESFRIAMENTO DE TIRAS\*

Guilherme Monteiro Garcia<sup>1</sup>  
Luciano Milanez Mazz<sup>2</sup>  
Wellington Luiz Soares<sup>3</sup>  
Juliano Braz Possatti<sup>4</sup>

### Resumo

O resfriamento contínuo de forma controlada garante propriedades mecânicas específicas nos aços. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um novo sistema de nível 2 para um novo modelo de controle de resfriamento laminar em um laminador de tiras a quente. A implantação do novo modelo incrementou o acerto em  $\pm 20^{\circ}\text{C}$  em 13%, de forma a reduzir o custo da não qualidade. O desenvolvimento do novo sistema visou integrar o novo modelo com a estrutura de comunicação e troca de mensagens já existentes.

**Palavras-chave:** Temperatura de bobinamento; Resfriamento laminar; Controle automático.

### DEVELOPMENT OF A NEW LAMINAR FLOW CONTROL SYSTEM

#### Abstract

The continuous controlled cooling of strips ensures specific mechanical properties for steels. This paper presents the development of a new level 2 system for a cooling control system in a hot strip mill. The implementation of a new system brought an increase inside  $\pm 20^{\circ}\text{C}$  of 13%, in order to drastic reduce the cost of non-quality. The development aimed to integrate the new model with the existing communication structure and exchange of existing messages.

**Keywords:** Coiling temperature; Laminar flow; Automatic Control.

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Eletrônica e Computação, Especialista em Automação, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo - Brasil.

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia Elétrica, Especialista em Automação, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo - Brasil.

<sup>3</sup> Pós Graduado em Engenharia de Manutenção, Especialista de Confiabilidade de Equipamento - Laminação Tiras a Quente, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo - Brasil.

<sup>4</sup> Graduado em Engenharia Metalúrgica e Materiais, Especialista em Laminação de Tiras a Quente, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo - Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

As propriedades mecânicas de bobinas laminadas a quente possuem uma considerável importância. As transformações de fase dos aços, que garantem propriedades mecânicas específicas, são alcançadas graças ao resfriamento contínuo da tira de forma controlada. As condições para um devido controle de resfriamento são uma correta predição do volume de água necessário para atingir a temperatura de bobinamento desejada, assim como uma rápida resposta do controlador a perturbações durante a laminação (mudanças de velocidade, desvios de espessura e desvios na temperatura de acabamento).

Técnicas clássicas de controle não são suficientes para evitar o desvio da temperatura de bobinamento quando há perturbações durante a laminação. A principal perturbação para o resfriamento controlado é a mudança rápida de velocidade, seja acelerando ou desacelerando a tira no trem acabador. O tempo de reação dos atuadores finais torna impeditivo o simples controle por compensação do erro, de forma que a correta predição da temperatura de bobinamento, dado os valores de entrada, é necessária para antecipar a ação do controle.

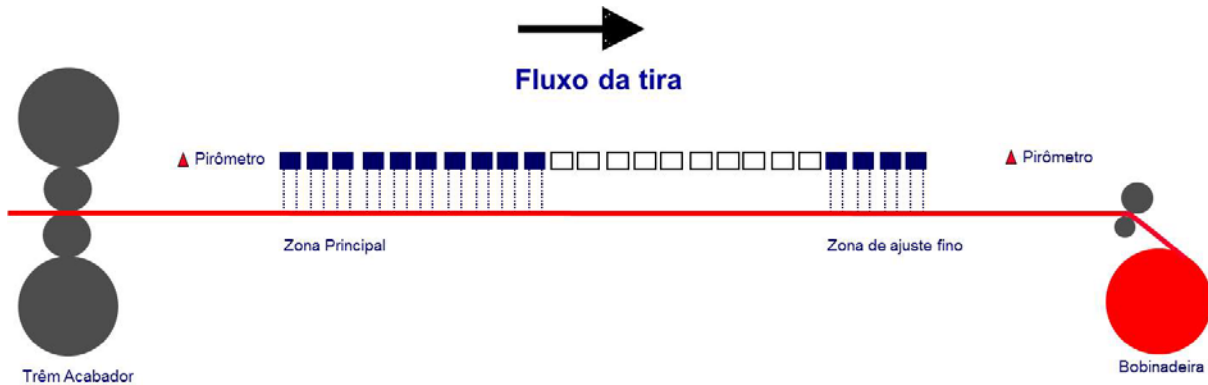
Com o passar do tempo houve um grande aumento de produtividade no laminador, aumentando a velocidade com que cada tira era processada assim como as acelerações e desacelerações. Outro fator importante foi o desenvolvimento de novos aços, estes estão cada dia mais complexos e com novas faixas de propriedades mecânicas. O modelo de resfriamento foi ficando defasado e não atendendo mais a performance desejada gerando a necessidade de usar um modelo mais atualizado. Em conjunto, a plataforma em que se rodava o sistema de nível 2 foi se tornando obsoleta.

Este trabalho apresenta um novo sistema de nível 2 desenvolvido para integrar um novo modelo à estrutura já existente. Este novo sistema teve como principais desafios se comunicar e receber/enviar as mensagens já existentes no nível 1 (CLP's) assim como traduzir as informações para alimentar o novo modelo matemático.

No capítulo 2 será apresentado o princípio de funcionamento de um sistema de controle de resfriamento laminar. No capítulo 3 será descrito o sistema legado. No capítulo 4 será apresentado o novo modelo de resfriamento. No capítulo 5 o novo sistema desenvolvido para utilizar o novo modelo será descrito. No capítulo 6 os resultados obtidos serão apresentados e finalizando uma conclusão do trabalho será feita no capítulo 7.

## 2 SISTEMA DE RESFRIAMENTO LAMINAR DE TIRAS

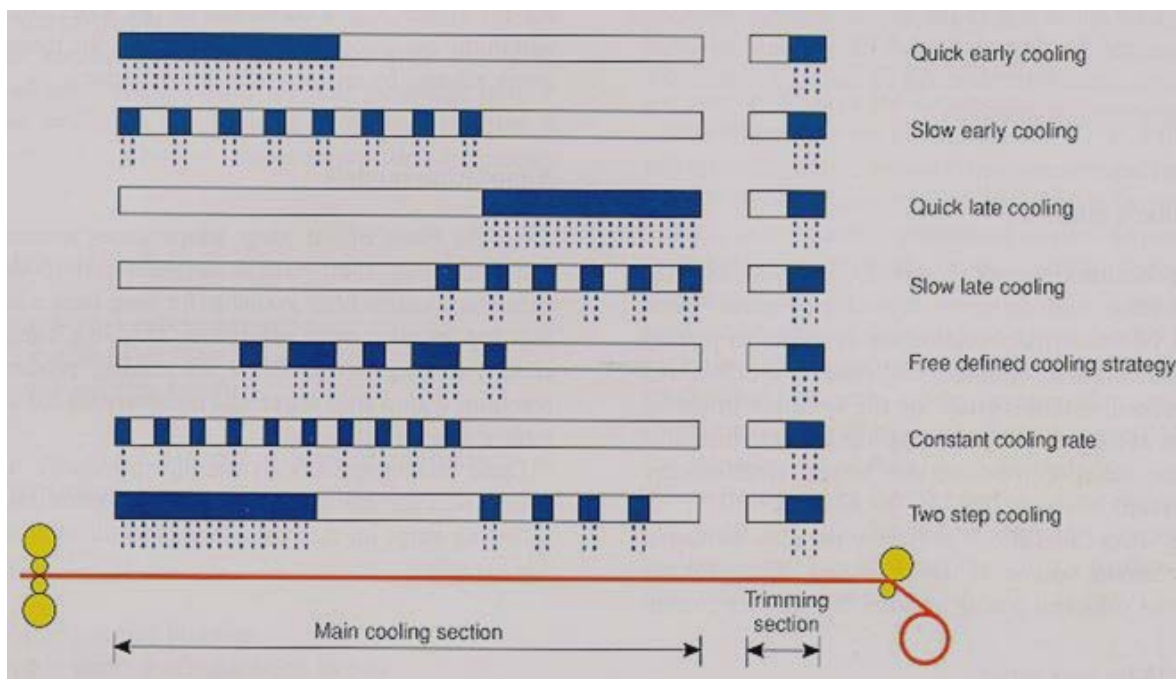
O sistema de resfriamento laminar de tiras tem a função de controlar o perfil da temperatura das tiras entre o trem acabador e a bobinadeira (ver Fig. 1). O objetivo é manter uma temperatura de bobinamento constante em todo comprimento da tira, seguindo um valor visado.



**Figura 1.** Sistema de resfriamento laminar de tiras.

Um modelo matemático calcula o volume de água necessário baseado na composição química, na dimensão (espessura), na velocidade da tira, na temperatura de acabamento (temperatura com que a tira irá sair do trem acabador) e na temperatura de bobinamento que se quer atingir. Essa quantidade de água é então distribuída nos chuveiros seguindo uma estratégia pré-definida de resfriamento.

As estratégias de resfriamento são necessárias para diferenciar a taxa de resfriamento, ou simplesmente, o tempo gasto para sair da temperatura de acabamento e chegar na temperatura de bobinamento. O gráfico da figura 2 mostra diferentes estratégias de resfriamento existentes.



**Figura 2.** Sistema de resfriamento laminar de tiras.

Além da predição do volume de água pelo modelo matemático o sistema compensa os eventuais distúrbios detectados. Assim como é responsável por rastrear a tira na mesa de resfriamento de forma a antecipar a abertura dos chuveiros antes da tira entrar na mesa e desligar os mesmos ao final do bobinamento da tira.

### 3SISTEMA LEGADO

Desde a partida o Laminador de Tiras a quente da ArcelormittalTubarão utilizava o sistema Coolingsectioncontrol system (CSC) desenvolvido pela SMS Demag. Sistema desenvolvido em FORTRAN e rodando em Open VMS, tecnologia essa que já se encontrava muito obsoleta trazendo dificuldades tanto na manutenção de hardware quanto na possibilidade de evolução do software.

O CSC possui um modelo matemático que calcula as características de resfriamento da tira na mesa de resfriamento, este modelo é baseado na solução da equação diferencial parcial de Fourier dependendo do comprimento, espessura e tempo. O perfil de temperatura é calculado para toda a extensão da mesa de resfriamento. Além da predição do volume de água pelo modelo matemático que é recalculado a cada 2 s o sistema possui um controle integral que compensa os eventuais distúrbios detectados na medição da temperatura de bobinamento. Assim como é responsável por rastrear a tira na mesa de resfriamento de forma a antecipar a abertura dos chuveiros antes da tira entrar na mesa e desligar os mesmo ao final do bobinamento da tira.

Até o ano de 2012 o acerto médio da temperatura de bobinamento entre  $\pm 20$  °C ficava dentro dos limites de especificação. Em 2013, devido ao aumento da produção, houve uma queda brusca do acerto de temperatura diminuindo em 10% do total. Através das modificações feitas no sistema foi possível incrementar o acerto médio em 5% até o final de 2015. As modificações visaram adaptar o sistema para uma nova realidade de grandes acelerações e desacelerações da tira no trem acabador, uma vez que o mesmo foi projetado e comissionado para uma situação de pouca aceleração e baixas velocidades com uso contínuo de coil box [1].

Ao longo de 2016 novos desafios chegaram com novos aumentos de produtividade e o desenvolvimento de novos aços. Com isso o acerto da temperatura de bobinamento retornou aos patamares de 2013 (ver Figura 3).



Figura 3. Acerto do sistema legado em  $\pm 20$  °C em 2016.

A partir deste fato surgiu-se a necessidade de um novo modelo matemático que atendesse a nova realidade do laminador, tanto em termos de velocidade de resposta do controle quanto em predição mais assertiva em relação aos novos aços.

## 4 NOVO MODELO

Durante o ano de 2016 surgiu a oportunidade de utilizarmos um novo modelo desenvolvido pelo *global R&D* da ArcelorMittal, o SimROT. Modelo este já utilizado em outras usinas do grupo e que tinha resultados promissores.

O Simroté responsável por controlar a temperatura da tira, funciona como um modelo matemático de predição e de controle regulatório. Porém não possui telas de operação nem faz o rastreamento das tiras na mesa de resfriamento.

Por ser um modelo mais novo, possui as vantagens de ser um modelo de predição mais atualizado possuindo maior assertividade no resfriamento de novos aços. Outra vantagem é o fato de ser desenvolvido em C++ e rodar em sistema operacional Windows. Trazendo a possibilidade de migração para hardwares atualizados.

Para torna-lo operacional fez-se necessário a criação de um sistema para fazer a comunicação entre o SimROT e os CLP's, assim como a geração de um novo rastreamento de tiras e de telas de operação. No próximo tópico a descrição deste novo sistema desenvolvido internamente pela equipe de automação da ArcelorMittal Tubarão é apresentado.

## 5 NOVO SISTEMA

Para integrar o novo modelo matemático com a estrutura já existente foi necessário construirmos um novo sistema. Este novo sistema teria como principais desafios se comunicar e receber/enviar as mensagens já existentes no nível 1 (CLP's) assim como traduzir as informações para alimentar o novo modelo matemático (SimROT).

Além de integrar a estrutura existente com o SimRot, o novo sistema criado, denominado de RotManager, também ficou responsável por gerenciar o rastreamento das tiras na mesa de resfriamento no formato esperado pelo SimROT e de ter uma *HMI* para a operação, exibindo gráficos em tempo real da temperatura assim como administração da mesa de resfriamento com a indicação de chuveiros habilitados/desabilitados.

O desenvolvimento do novo sistema foi iniciado no segundo semestre de 2016, sendo comissionado durante o 1º semestre de 2017.

### 5.1 Tecnologia utilizada

O RotManager foi desenvolvido em C# utilizando .NET Framework 4.5.2. O novo software roda em um servidor virtual com sistema operacional Windows Server 2012 R2. Para comunicação TCP/IP com os CLP's foi utilizada a biblioteca IP Works, enquanto que para o desenvolvimento das telas de operação foi utilizado o Component ONE.

## 5.2 Arquitetura de comunicação

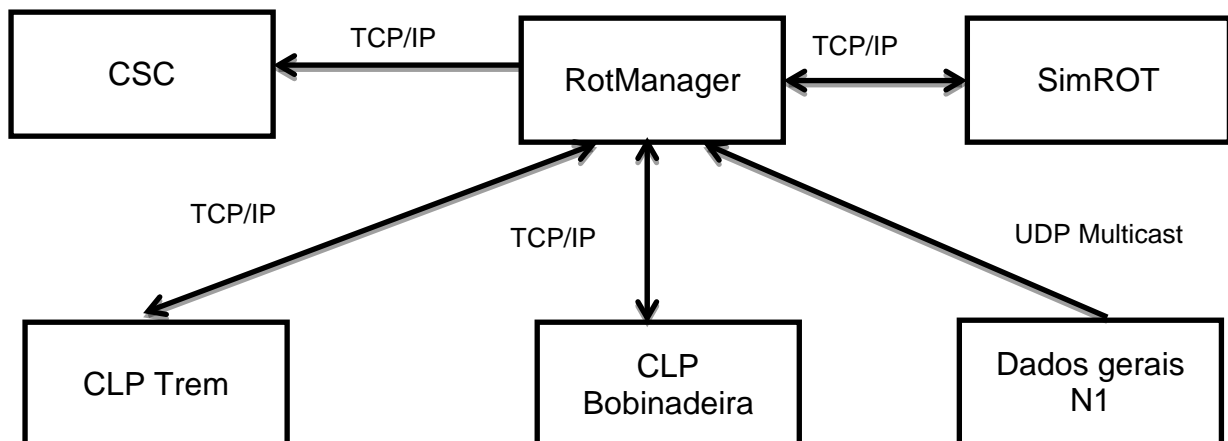


Figura 4. Arquitetura de Comunicação.

Grande parte das comunicações utiliza o protocolo TCP/IP, apenas uma delas utiliza UDP. Durante o desenvolvimento foi criada uma comunicação com o sistema antigo (CSC), de forma a criar um *switch* entre os dois sistemas. Enquanto um sistema operava o outro permanecia em modo *shadow*, recebendo os dados em tempo real mas sem enviar os comandos de volta para o CLP. Com esse *switch* foi possível alterar com um único comando qual o sistema de controle iria funcionar durante o resfriamento das tiras. Essa abordagem trouxe uma imensa facilidade de testes durante o comissionamento do novo sistema. Com o comissionamento finalizado, a comunicação entre o RotManager e o CSC foi retirada do sistema.

## 5.3 Telas do Sistema

Foram desenvolvidas duas telas para o RotManager, uma tela principal com opções de gerenciamento e informações sobre as conexões correntes (Ver Figura 5). Uma segunda tela feita para a operação exibindo o status corrente dos chuveiros (aberto, fechado, fora de serviço, etc...), assim como as temperaturas de acabamento e de bobinamento medidas ao longo da tira conforme exibido na Figura 6.

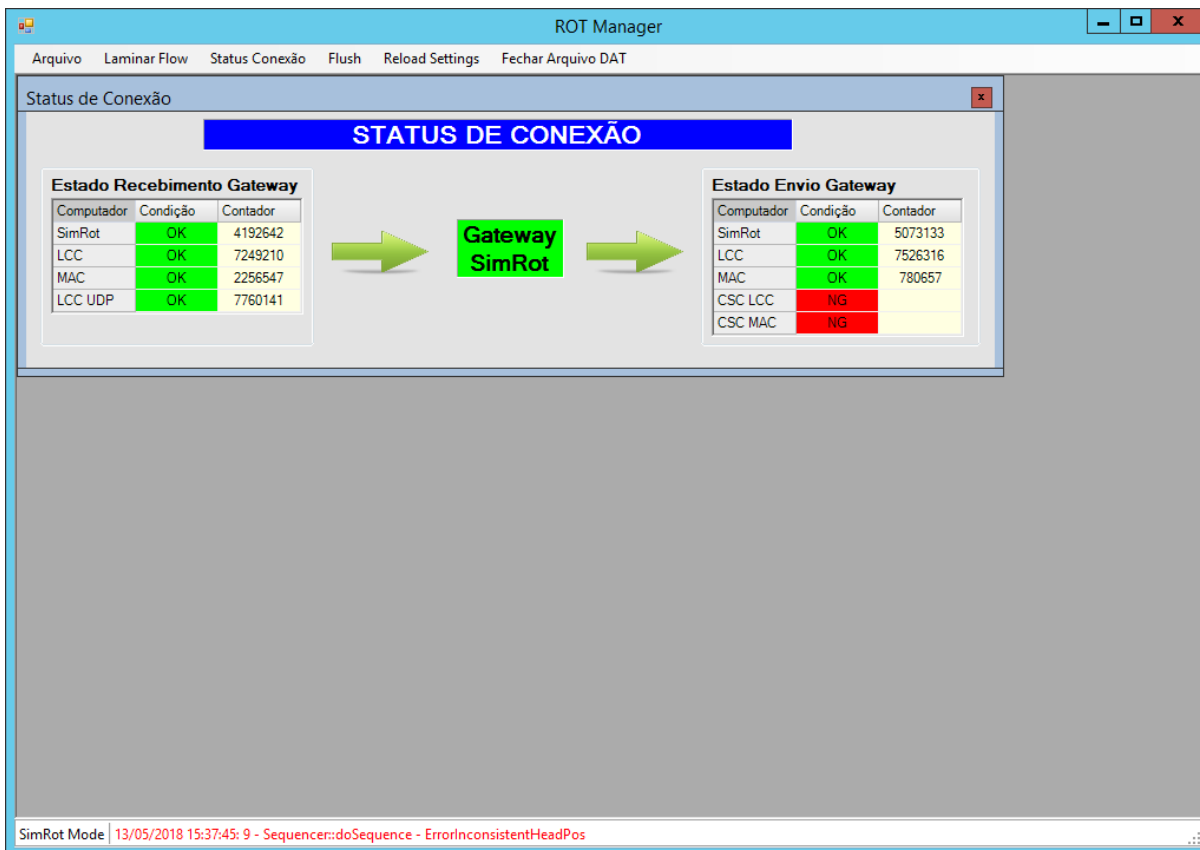


Figura 5. Tela principal do RotManager.

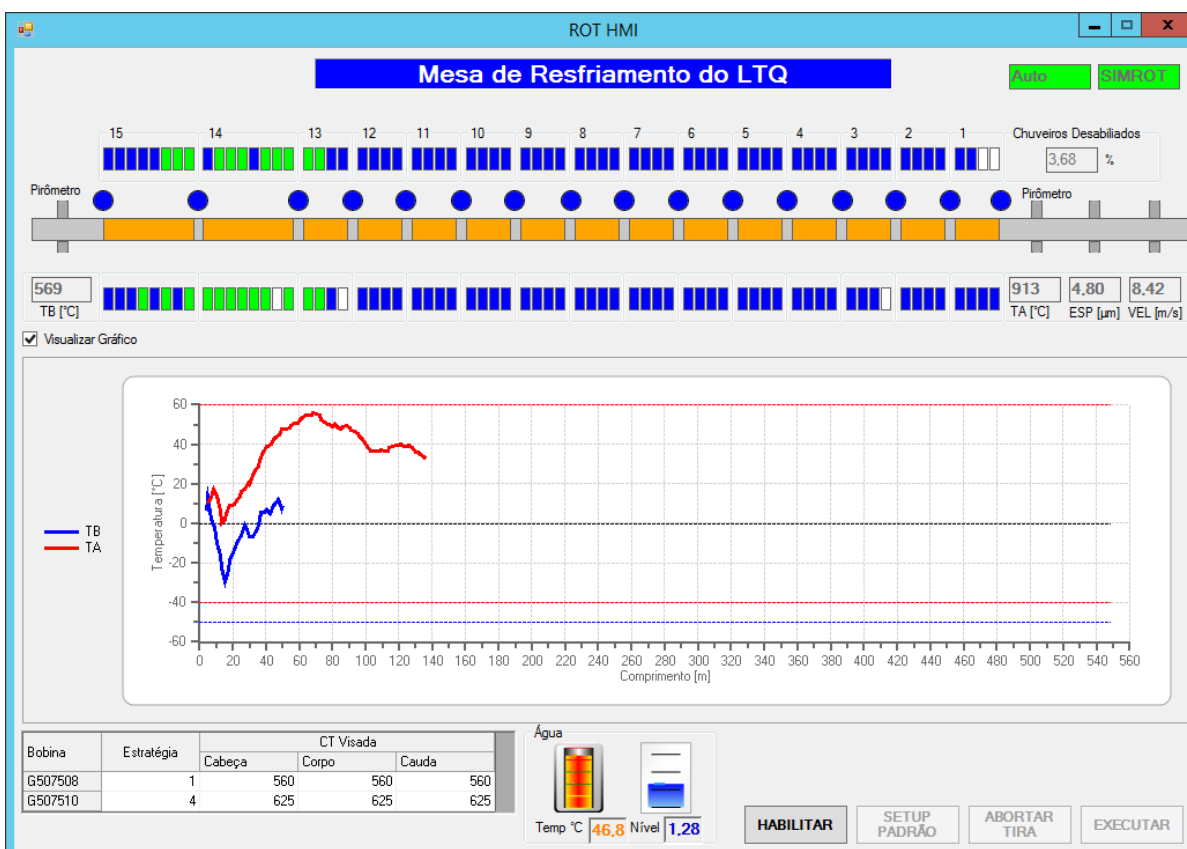


Figura 6. Tela feita para a operação.

## 6 RESULTADOS

Durante os meses de fevereiro a junho de 2017 foi feito o comissionamento do novo sistema, sendo que a partir de julho de 2017 o novo modelo passou a funcionar em tempo integral. Prontamente houve um aumento de 4% na performance em  $\pm 20^\circ$  com o novo modelo, sendo que o ápice foi atingido no mês de novembro de 2017 com um ganho total de 9% em relação ao mês de junho e de 13% em relação ao período anterior ao comissionamento (Figura 7).

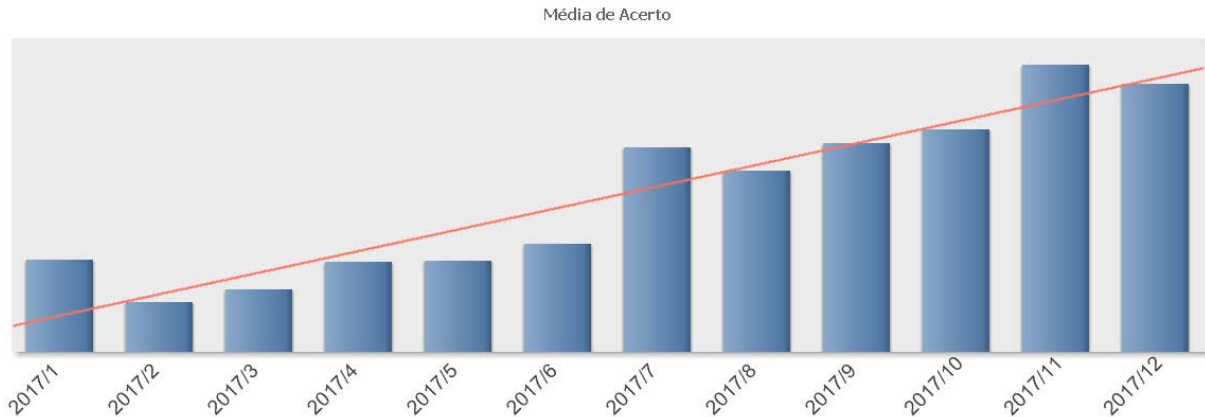


Figura 7. Acerto do sistema em  $\pm 20^\circ\text{C}$  no ano de 2017.

O custo da não qualidade, ou seja, as perdas por descarte de parte das tiras ou por desclassificação do material foi reduzido em 5 vezes tendo uma redução estimada de U\$ 1.800.000,00 por ano.

## 7 CONCLUSÃO

O desenvolvimento de um novo sistema de nível 2 (RotManager) utilizando um novo modelo de controle de resfriamento laminar (SimROT) possibilitou um incremento de 13% na performance do acerto da temperatura de bobinamento. Também superou o problema de obsolescência de hardware ao ser desenvolvido em uma tecnologia atual.

A estratégia de desenvolvimento em paralelo com o sistema legado possibilitou um período de comissionamento sem impacto na produção, além de testes de conexão e interface com a linha operando sem ter interferência.

Como desafio presente ainda há possibilidade de incrementar a performance em mais 3% para atingirmos a capacidade teórica do modelo matemático.

## Agradecimentos

ArcelorMittal Tubarão e Global R&D.

## REFERÊNCIAS

- 1 Garcia, Guilherme Monteiro. **MELHORIAS NO SISTEMA DE CONTROLE DE TEMPERATURA DE BOBINAMENTO**, p. 64-71. In: *20th Industrial IT and Automation Seminar*, Rio de Janeiro, 2016.