

EVOLUÇÃO DO SEQUENCIAL DE CORRIDAS POR DISTRIBUIDOR NO CONTÍNUO DA ARCELORMITTAL AÇOS PLANOS AMÉRICA DO SUL – TUBARÃO*

Alexandre Aparecida Morais¹
Altemar Dettogne do Nascimento²
Jorge Luiz Maioli³
Victor Bogaci Ney⁴

Resumo

No Lingotamento Contínuo de Planos (placas de aço) o número de corridas realizadas em um único distribuidor é um indicador de performance operacional de enorme relevância para a sustentabilidade do processo. Ligados ao desempenho deste indicador estão os resultados de índices como produtividade, redução de custos, segurança e qualidade. Buscando melhorar este indicador a ArcelorMittal Aços Planos América do Sul – Unidade Tubarão iniciou no final de 2012 um projeto multisetorial subdividido em vários subprojetos satélites para aumentar o número de corridas em um único distribuidor visando obter ganhos nos índices técnicos descritos anteriormente. A proposta de meta oriunda deste projeto visava aumentar em no mínimo 70% os valores médios de corridas em um único distribuidor no Lingotamento Contínuo de Placas, o que representaria ganhos superiores a 1,2 milhões de dólares por ano. Neste trabalho é apresentada a metodologia definida para o projeto com suas respectivas etapas, o resumo de alguns subprojetos de sustentação e os resultados que já foram atingidos.

Palavras-chave: Sequencial; Distribuidor; Corridas de aço.

EVOLUTION INCREASE TUNDISH SEQUENCE – CONTINUOUS CASTING AM TUBARÃO

Abstract

In Continuous Casting Process the number of heats per tundish is a key performance indicator of great importance for the sustainability of a steel slab manufacturing plant. This indicator has a strong relation with productivity, cost reduction, safety and quality. In the pursuit for improving this indicator, ArcelorMittal (FC LATAM) Tubarão started in late 2012 a multi-sector project divided into several subprojects to increase the number of heats per tundish. The original goal of this project was to increase the number of heats per tundish in 70% in Continuous Casting Slabs, representing gains of more than 1.2 million dollars a year. This paper presents the methodology defined for the project with their respective stages, the summary of some support sub-projects and the significant results that have been achieved along with potential gains in the future.

Keywords: Increase tundish sequence; Steel heats.

¹ *Physicist, Metallurgical and Material Engineer, M.Sc., Continuous Casting, ArcelorMittal Tubarão, Vitória, ES, Brasil.*

² *Metallurgical and Material Engineer, M.Sc., Continuous Casting, ArcelorMittal Tubarão, Vitória, ES, Brasil.*

³ *Production Engineer, Production Coordinator Continuous Casting, ArcelorMittal Tubarão, Vitória, ES, Brasil.*

⁴ *Metallurgical Engineer, Specialist Quality Control of Products, ArcelorMittal Tubarão, Vitória, ES, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

A sobrevivência dentro do cenário siderúrgico atual exige cada vez mais o desenvolvimento de ações diretas de redução de custo concomitantemente com as de aumento de produtividade. Todavia, a elaboração de ações desta natureza dentro de um ambiente de recursos escassos, exige muita inovação e determinação. Foi dentro deste contexto e com essas premissas que se desenvolveu na Unidade Siderúrgica de Tubarão do Grupo ArcelorMittal o projeto de aumento do número de corridas por distribuidor denominado “Aumento do Sequencial de Distribuidor”.

Aproveitar ou otimizar ao máximo a utilização de um distribuidor de grande porte (aproximadamente 60 toneladas) numa planta de aços planos como Tubarão (produção de 300 toneladas de placas por corrida – três máquinas de lingotamento contínuo), constitui-se num enorme desafio, cujas estratégias adotadas requerem além dos cuidados técnicos triviais com a segurança e qualidade do processo, o desenvolvimento de ações específicas que possibilitem viabilizar o aumento seguro do número de corridas em um único distribuidor.

O distribuidor (ilustrado na Figura 1 - vasilhame refratário de armazenamento e distribuição do aço líquido para os moldes-veios de lingotamento) possui uma vida limitada (tempo utilizado para lingotamento) em função do desgaste de seu revestimento refratário de trabalho e de seus componentes como inibidores de turbulência, diques, barragens, válvulas e placas refratárias para controle de fluxo, etc. Tecnicamente, entende-se o distribuidor não como um equipamento isolado, mas, como um sistema de armazenamento, controle e distribuição de aço no processo de lingotamento contínuo, cuja extensão da utilização em lingotamento apresenta alta complexidade.

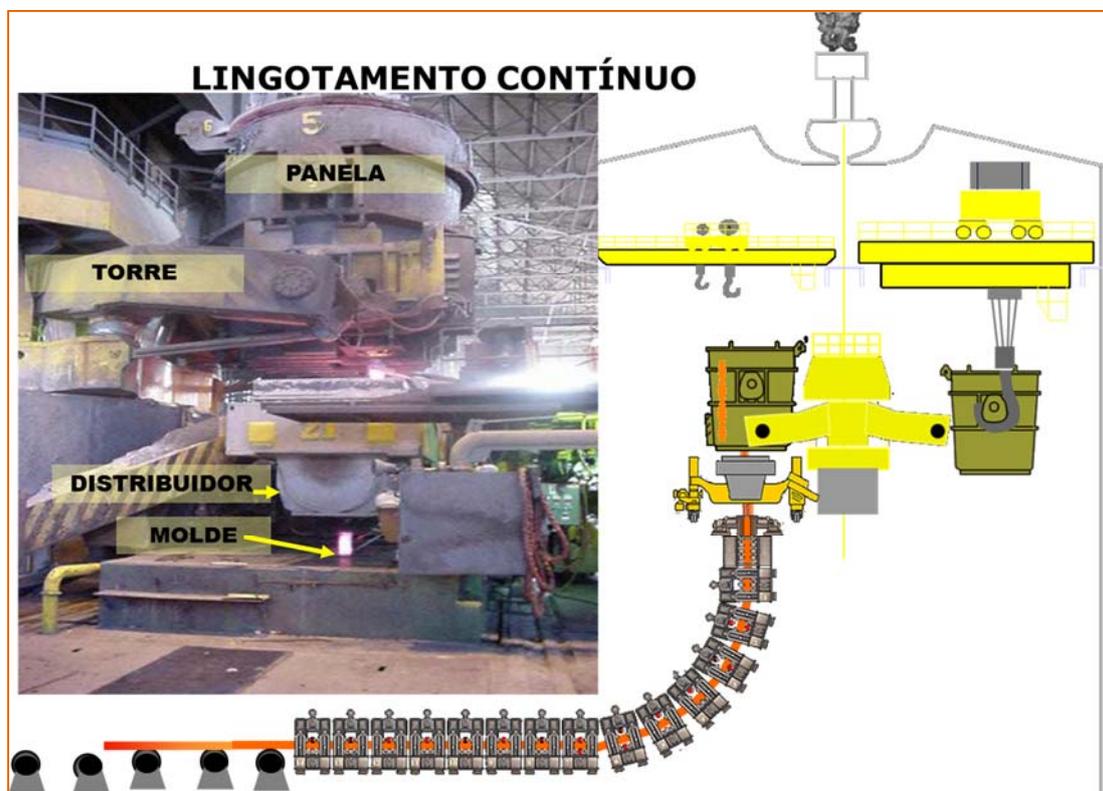


Figura 1. Distribuidor em lingotamento [1].

Apesar da complexidade, o aumento da utilização do distribuidor através do processamento de um maior número de corridas era algo a ser perseguido, pois, conforme conferência de comparação de resultados com outras plantas do grupo ArcelorMittal (*ArcelorMittal Benchmarking Continuous Casting Conference - 2012*) [1] esta prática pode traduzir-se em significativos ganhos de redução dos custos e aumento de produtividade. Tubarão pelas análises dos dados discutidos possuía um expressivo potencial de crescimento no sequencial de corridas por distribuidor, conforme é demonstrado na Figura 2. Foi com base nesse vetor que se deu início no segundo semestre de 2012 ao macro projeto de aumento do número corridas por distribuidor, sustentado por subprojetos (projetos satélites), descritos metodologicamente a seguir.

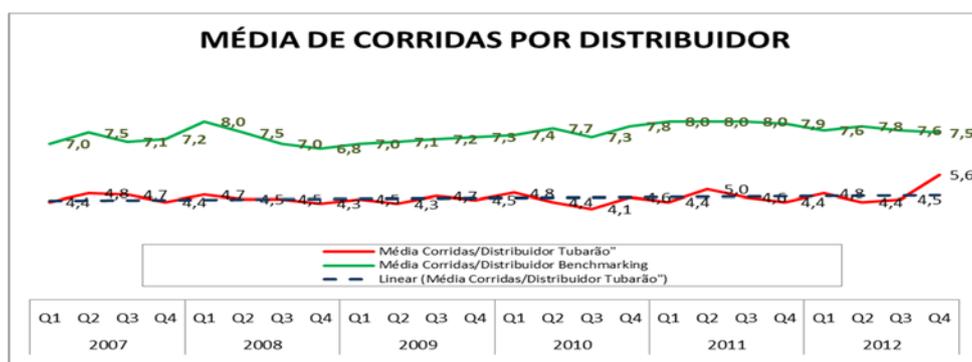


Figura 2. Comparação da média do número de corridas por distribuidor “Tubarão x Benchmarking” [1].

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Em função da abrangência e complexidade do projeto que extrapola os limites das Áreas Técnicas e Operacionais do Lingotamento Contínuo, foi necessário, inicialmente, a criação de um grupo multisetorial para desenvolvê-lo com a participação das áreas de Engenharia Industrial, Planejamento da Produção, Assistência Técnica e Vendas. Preliminarmente, dentro de uma visão com amplitude reduzida, avaliou-se o potencial de ganho existente para o projeto com apenas alguns ganhos mais evidentes (US\$ 1800000 - custo anual de refratários) O gráfico ilustrado na Figura 3 mostra esta expectativa.

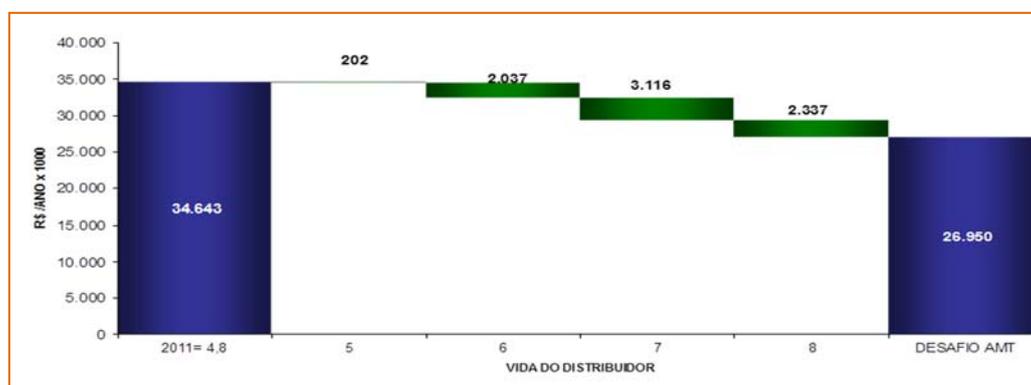


Figura 3. Gráfico demonstrando o desafio do potencial de redução de custo com o projeto de aumento do sequencial de corridas por distribuidor [1].

Após a constatação do potencial de ganho acima, efetuou-se um levantamento histórico (2017 a 2012), que elencou os obstáculos que impediam o aumento do

sequencial de corridas por distribuidor. Através de uma análise de Pareto, combinada com um Femea definiu-se os principais impedimentos ao aumento de sequencial de corridas por distribuidor.

2.1. Principais Obstáculos ao Aumento do Sequencial de Corridas por Distribuidor (Definidos pelas Análises de Pareto – Femea)

Restrições de *mix* de produção (cenário de vendas); programação não otimizada; não permissão de criação de estoques; restrição de mistura de aço; limitação de vida refratária do distribuidor e componentes; não existência de mecanismo de troca rápida de válvulas submersas em duas das máquinas de lingotamento; obstruções por temperatura, alumina e similares (*clogging*); restrições de ajustes de largura e outros. Com base nestes impedimentos se desenvolveram ações específicas (definidas como projetos satélites em função da autonomia própria) que pudessem eliminar ou reduzir tais impedimentos e sustentar o macro projeto foco de aumento do sequencial de corridas por distribuidor.

2.2. Projetos Satélites

As ações de redução ou eliminação dos impeditivos (os denominados projetos satélites) foram definidas não só em função da restrição que representavam, mas com o objetivo de garantirem a sustentação ao macro projeto de aumento do número de corridas por distribuidor. São apresentados resumidamente a seguir quatro dos projetos satélites para a sustentação do macro projeto do sequencial.

2.2.1. Redução das restrições de ajuste de largura

Verificou-se que ao longo dos anos foram inseridas restrições ao ajuste de largura em lingotamento em função de deficiências no sistema de ajuste de largura dos moldes, que provocavam inúmeras interrupções de sequenciais; ou seja, em tese o número de corridas em um distribuidor poderia ser muito maior caso se pudesse efetuar ajustes de largura de maior amplitude em lingotamento. Esta restrição limitava, por exemplo, as aberturas do molde em lingotamento a 35 mm e o fechamento em 50 mm, para um sistema projetado inicialmente para fechamentos e aberturas de até 300 mm. A Figura 4 mostra o percentual de paradas para ajustes de largura nas Máquinas de Lingotamento 1, 2 e 3. Observa-se que o maior percentual de paradas concentra-se nas Máquinas de Lingotamento 1 e 2.

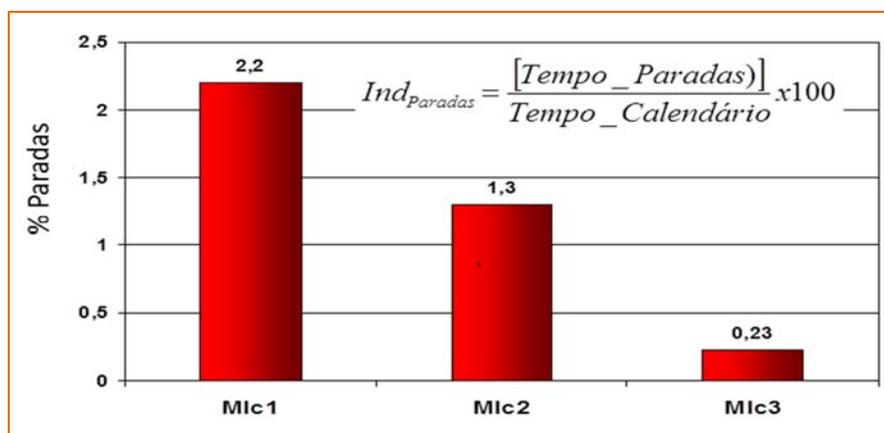


Figura 4. Percentual de paradas por máquinas de lingotamento [1].

Após um estudo detalhado do problema verificou-se que as restrições concentradas nas Máquinas de Lingotamento 1 e 2 foram inseridas em função de deficiências no sistema de ajuste de largura que culminaram em rompimentos de pele (*breakouts*). Pelas análises realizadas, identificou-se que a principal anomalia do sistema era a ocorrência de folgas nos fusos de acionamento das faces estreitas do molde. O mecanismo utilizado era um fuso tipo rosca trapezoidal (*screw spindle*) – ver Figuras 5-a e 5-b abaixo - que gerava folgas em função do tipo de acoplamento utilizado. Estas folgas não eram detectadas pelo sistema de medição via “resolver” e iam se acumulando até provocarem uma perda de conicidade (*taper*), que culminava muitas vezes em um rompimento de pele devido ao abaulamento gerado. Esta constatação é corroborada na literatura conforme estudos divulgados pela Demag [2]. Estes indicavam que os fusos de rosca tipo esférica eram mais robustos em função de gerarem menos folgas.

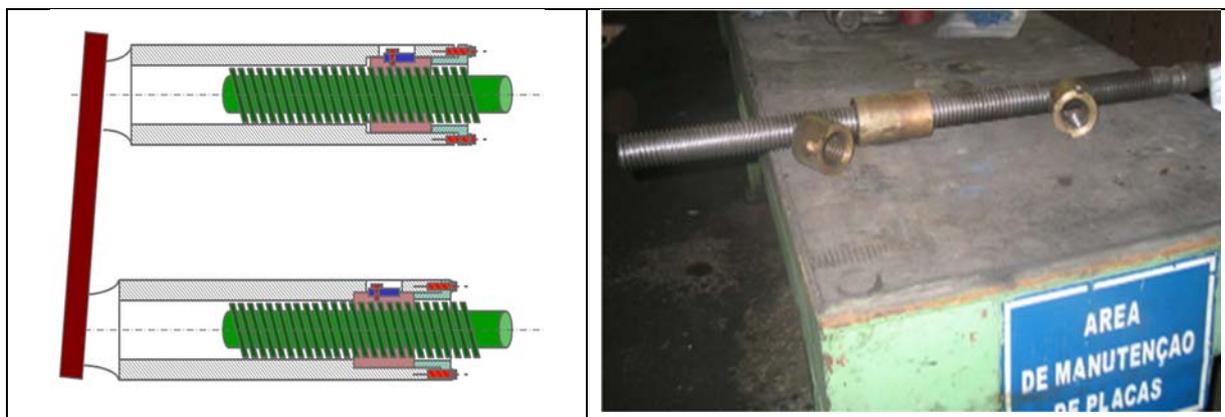


Figura 5-a. Fusos de acionamento das faces estreitas dos moldes tipo rosca trapezoidal [1].

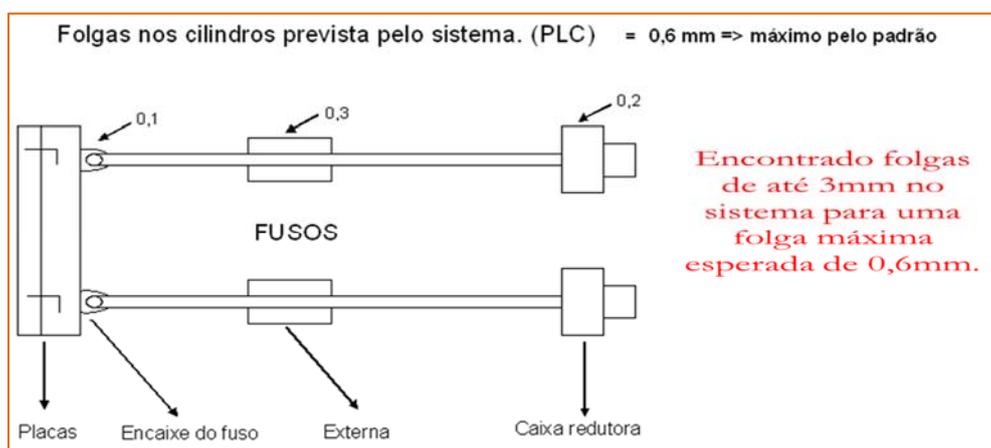


Figura 5-b. Folgas detectadas no sistema de acionamento das faces estreitas tipo rosca trapezoidal [1].

Embasados nos estudos Demag [2] e em estudos de engenharia próprios, Tubarão definiu pela alteração dos fusos tipo trapezoidais para os do tipo esférica (*ball screw*), visualizados na Figura 6. Visando realizar tal substituição a custos reduzidos, desenvolveu-se o fornecimento dentro do Brasil, o que se mostrou plenamente viável, apontando para uma redução inclusive dos custos de aquisição e manutenção em relação ao sistema original.

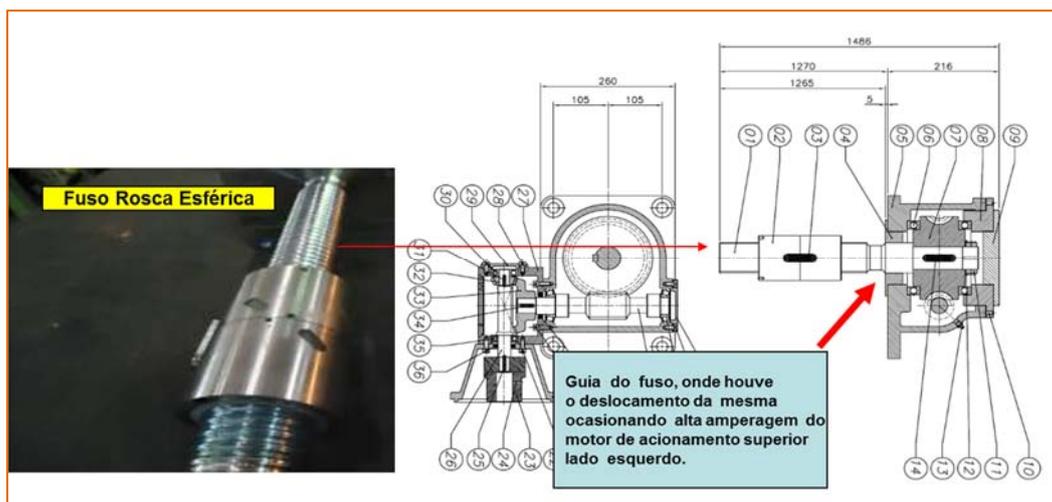


Figura 6. Fuso de acionamento das faces estreitas tipo esférico (*ball screw*) [1].

Concomitantemente à substituição dos fusos incorporou-se a este projeto uma revisão nos procedimentos de ajuste de largura que garantiram a sustentação dos patamares de ajuste sem comprometimento da segurança operacional. Atingiu-se a meta especificada para o sistema de ajuste de largura em lingotamento de fechamentos e aberturas de até 300 mm em lingotamento. Consumiu-se aproximadamente um ano entre o desenvolvimento e a implantação do projeto (dezembro 2012 a dezembro de 2013) e resumidamente os ganhos obtidos com a implantação do projeto mostraram: ampliação do índice de trabalho para o potencial aumento de 105000 toneladas por ano; redução de placas críticas (primeiras e últimas de sequência) e ganhos potenciais financeiros de aproximadamente 2,8 milhões de dólares por ano.

2.2.2. Implantação do sistema de troca rápida de válvula submersa nas Máquinas de Lingotamento 1 e 2

Apesar de, desde o *start up* das máquinas de lingotamento 1 e 2 o procedimento de troca de válvula submersa em modo “manual” haver sido implantado, este além das dificuldades operacionais pertinentes (manuseio, exposição a riscos de projeções...), algumas vezes, gerava obstruções no fluxo de aço que impediam a continuidade do lingotamento. Vale ressaltar que os sistemas de controle do fluxo de aço do distribuidor para o molde nas máquinas de lingotamento de Tubarão são do tipo “válvula gaveta”, o que em tese apresentam maiores dificuldades durante as trocas de válvulas submersas através de procedimentos exclusivamente manuais, como realizado inicialmente. Estatisticamente, aproximadamente 2,6% das trocas de válvulas submersa em modo “manual” nas máquinas de lingotamento 1 e 2 não tinham sucesso e interrompiam a sequência de corridas por distribuidor. Este número de insucessos na máquina de lingotamento 3 com a utilização do sistema de troca rápida de válvula submersa se restringia ao máximo de 0,05%. Diante deste cenário definiu-se pela implantação do sistema nas máquinas 1 e 2. Na máquina 1 aproveitou-se o orçamento do “revamp” previsto e na máquina 2 aproveitou-se a disponibilidade de um circuito hidráulico utilizado em modo de lingotamento “twin” utilizado esporadicamente. Com a implantação desses sistemas nas máquinas 1 e 2 obteve-se um aumento do sequencial de corridas por distribuidor médio de 0,57 corridas representando um ganho potencial de aproximadamente US\$ 460.000/ano – base 2013. Ilustra-se abaixo na Figura 7 o esquema do mecanismo de troca rápida de válvula submersa e a troca em lingotamento.



Figura 7. Esquema do mecanismo de troca rápida de válvula submersa e a troca em lingotamento [1].

2.2.3. Aumento do tempo máximo de utilização do distribuidor de 600 para 900 minutos

2.2.3.1 Resumo do desenvolvimento técnico

Partindo dos dois objetivos focos: possibilidade de alteração do limite máximo de corridas no distribuidor de 12 para 18 corridas e consequente aumento de 1,5 corridas por distribuidor; analisaram-se os mecanismos de desgaste de refratários (térmicos, mecânicos e químicos) que se alterariam com a passagem do patamar de vida de distribuidor de 600 para 900 minutos. Considerou-se tanto o refratário permanente e de trabalho do distribuidor, quanto os componentes que fazem parte do mesmo, principalmente as placas do sistema de válvula gaveta (utilizado para controle do fluxo de aço do distribuidor para o molde, usado em Tubarão). Dois pontos de especial atenção foram o controle térmico da carcaça do distribuidor (risco de deformação e furo) e as placas das válvulas gavetas em função da possibilidade de ocorrência de lascamento ou tecnicamente termoclase (*spalling*). Conforme define Duarte [3] o fenômeno *spalling* que se constitui numa perda de fragmentos das faces do material refratário através da formação e propagação de trincas em sua estrutura, aumenta consideravelmente quando se submete o refratário a períodos maiores de trabalho sob tensão térmica. Estes pontos de atenção também foram analisados com base nas ponderações de Hintzen [4], Gallo [5] e Gentil [6] que explicitam a necessidade dos cuidados em relação ao desgaste mecânico e químico (principalmente quanto à ação do cálcio, e à necessidade de ajuste nos teores de sílica e alumina do refratário de trabalho), quando se aumenta o tempo de exposição do refratário ao aço líquido. Mostra-se abaixo na Figura 8 a nova configuração refratária para a meta de 900 minutos e a seguir, sumariamente, as fases do desenvolvimento.

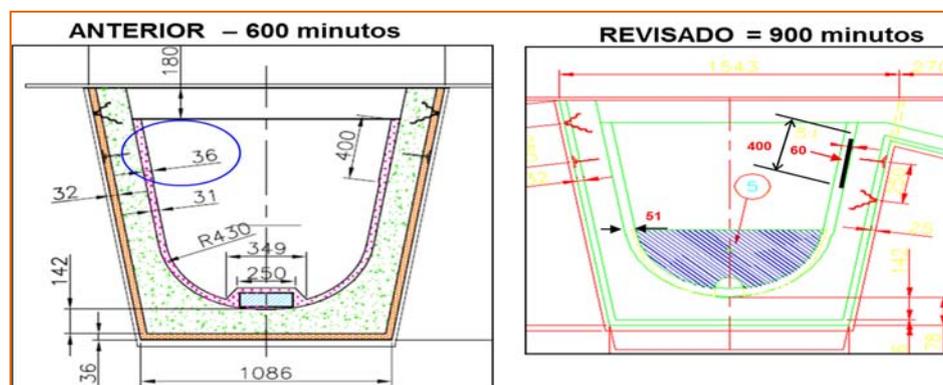


Figura 8. Comparação das configurações de distribuidor: 600 e 900 minutos [1].

2.2.3.2 Resumo da implantação

Denominado de projeto Satélite TD-900, o mesmo foi desenvolvido e implantado entre fevereiro de 2013 a maio de 2014. Destacam-se abaixo as suas principais fases de implantação.

- a) Visitas e *benchmark* com usinas com elevado sequencial de corridas por distribuidor.
- b) Definição da espessura e tipo de revestimento.
- c) Simulação via *Software Ceqcsi* para definir dentre outros a resistência ao ataque químico (foco: aços com adição de cálcio).
- d) Utilização em escala piloto e industrial.
- e) Implantado nas três máquinas de lingotamento.

2.2.3.3 Principais resultados

- a) Ganho previsto de redução de refratários, sucata de distribuidor e *dowgrading* de aços ULC= US\$ 1507.000,00 (base produção 2013);
- b) Produção de até 20 corridas no distribuidor;
- c) O projeto refratário do distribuidor não impactou em atingimento do limite técnico da temperatura da carcaça do distribuidor;
- d) Com o novo projeto de refratários houve ganho considerável no índice médio de cambagem dos distribuidores (MLC`s 1+2) de ~ 83% para 95,5%.
- e) Não ocorreram impactos negativos quanto à passagem de escória para o distribuidor;
- f) Tendência de maior ocorrência de *clogging* no fim de sequência para determinados aços, mas sem comprometimento significativo da qualidade.

2.2.4. Mistura de aço

O projeto de mistura de aço em um mesmo distribuidor sempre ficou relegado a um segundo plano na Unidade de Tubarão em função dos altos riscos que lhe são atribuídos. As misturas se restringiam aos aços com plena similaridade. Entretanto, com advento do macro projeto de aumento do sequencial de corridas por distribuidor o mesmo ganhou força e foi implantado para condições de mistura “não similares” com até possibilidade de geração de sucata. Encontra-se na literatura uma infinidade de modelos de mistura de aço [7,8], geralmente específicos para condições de processo próprias, porém sempre com o objetivo de contaminar a menor porção de placa possível. O modelo desenvolvido no projeto [9] também baseado nestes princípios, considerou as especificidades atuais do processo de Tubarão, focando uma flexibilização para diversas possibilidades de aproveitamento de material e visando a restrição da menor porção de placa possível.

2.2.4.1 Objetivos definidos para o projeto de mistura

- a) Proporcionar as melhores combinações de misturas que conciliam qualidade e aumento do sequencial de corridas por distribuidor;
- b) Minimizar as variações de propriedades metalúrgicas, mecânicas e químicas;
- c) Permitir a realocação do material para pedidos de primeira linha quando necessário devido ao enquadramento em normas de aproveitamento;
- d) Aumentar o número de combinações de misturas, mas através de desenvolvimento de mercado para absorver o material gerado.

2.2.4.2 Base para as análises

Definição da variação máxima de composição química para que o aço seja considerado similar ou não similar, adotando como referencia os critérios apurados nas conferencias de “benchmarking” com empresas do Grupo ArcelorMittal; estabelecimento de regras de mistura que contemplem as restrições de clientes de tiras a quente, tipo de mistura, variação máxima de propriedade mecânica (estimada estatisticamente) e atendimento às normas de aproveitamento atualmente em vigor; combinações de mistura baseadas em simulações computacionais para definição / operacionalização dos critérios das melhores misturas; avaliação das placas resultantes da mistura, que poderão ser desclassificadas ou até sucataadas (dependendo das condições de custo); contudo, sempre visando o direcionamento para aproveitamento de qualidades que atendam a aplicações de pedidos de primeira linha.

2.2.4.3 Ciclo de implantação do projeto

Considera-se que o mesmo teve início a partir de setembro de 2012 e vem sendo adequado e atualizado permanentemente. Os resultados mostraram-se promissores desde o inicio, conforme são demonstrados na Figura 9.



Figura 9. Interfaces de mistura de aço [1].

Basicamente, o macro fluxo da mistura de aço em um único distribuidor é o demonstrado na Figura 10 abaixo evidenciando as variações estáticas e dinâmicas do modelo.

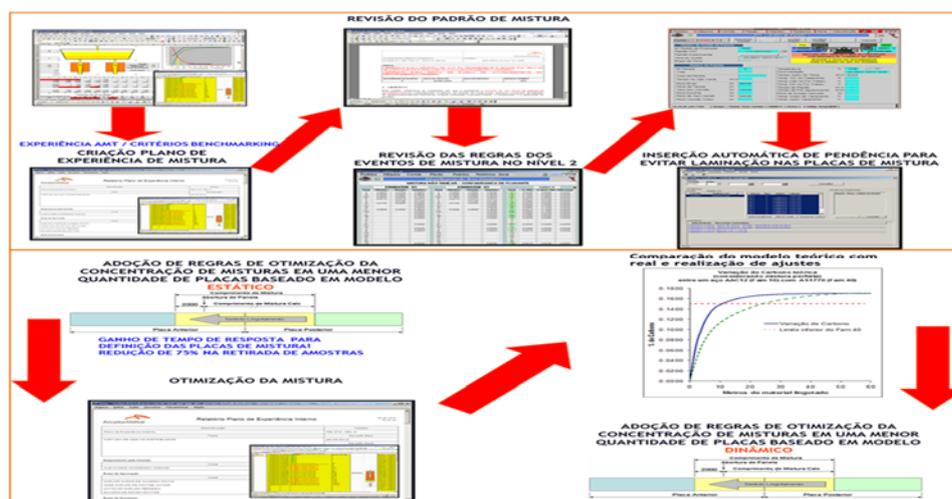


Figura 10. Macro fluxo de mistura de aço no distribuidor, evidenciando as condições estáticas e dinâmicas do modelo [1].

2.2.4.4 Os resultados do modelo de mistura de aço

Vêm acrescentando no sequencial de corridas por distribuidor aproximadamente 0,8 corridas em média. Este valor, com a possibilidade de geração de classificação para materiais de aproveitamento em segunda linha e geração de sucata, pode chegar a um acréscimo de 1,8 corridas no sequencial.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Importante ressaltar que este é um projeto a ser perenizado. Os resultados obtidos até o momento são expressivos. Verifica-se um crescimento significativo ao final de 2012 (início do projeto) em relação aos valores anteriormente praticados (Figura 11).

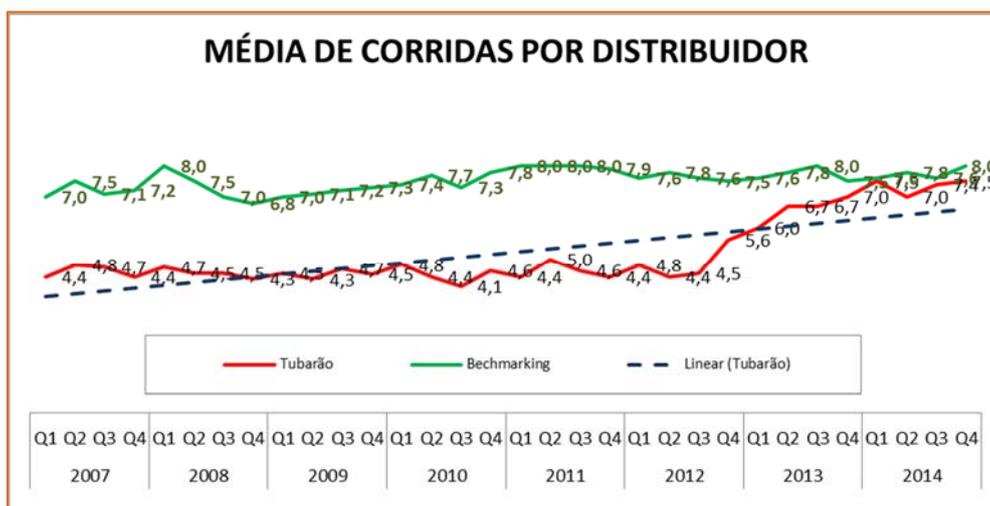


Figura 11. Sequencial de corridas por distribuidor [1].

Embora os resultados alcançados ainda estejam abaixo das referências de “benchmarking”, e existirem alguns questionamentos sobre algumas consequências geradas pelo maior número de corridas por distribuidor, como a geração de um maior número de placas afetadas por ajustes de largura em determinados cenários de *mix de produção*, o mesmo apresenta resultados monetários consideráveis, como os que podem ser observados nas Figuras 12-a e 12-b abaixo, que evidenciam respectivamente os resultados de redução de custos com refratários e com ganhos de qualidade em função da redução de placas críticas em aços ultra baixo carbono em 2014.

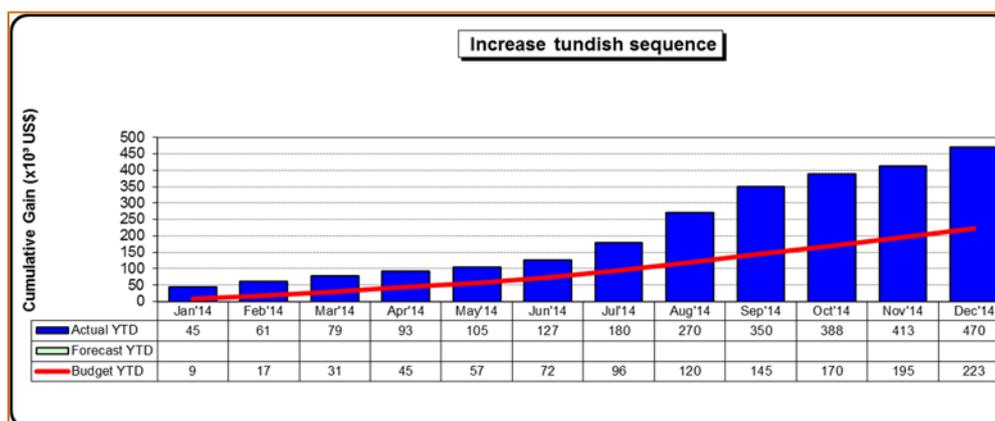


Figura 12-a. Ganhos com a redução do consumo de refratários [1].

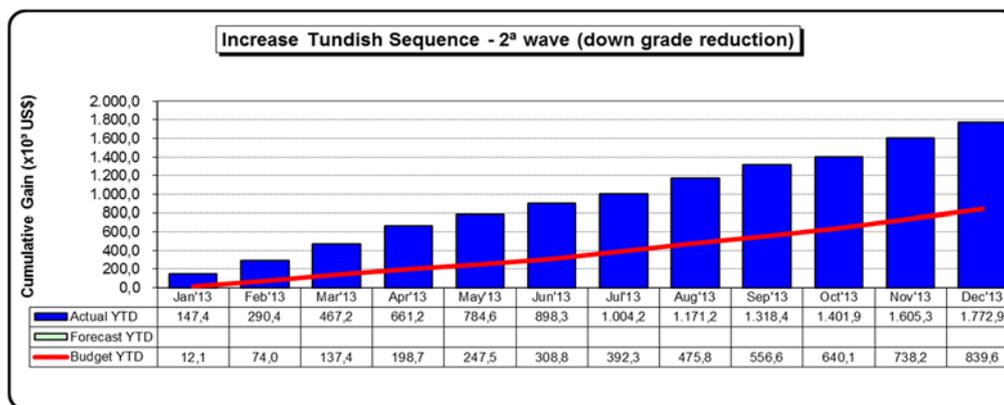


Figura 12-b. Ganhos com a redução da perda de qualidade em placas críticas de aços ultra baixo carbono [1].

4 CONCLUSÃO

O macro projeto de aumento do sequencial de corridas por distribuidor só permanece possível, e apresentando resultados positivos, em função da determinação latente de superar os enraizados paradigmas existentes, como mistura de aço no distribuidor, otimização de programação e outros. A sua sustentação nos projetos satélites só foi conseguida pela constituição de um amálgama suficientemente sólido que pudesse fazer com que todos os satélites distintos orbitassem harmonicamente ao macro projeto do aumento do sequencial de corridas por distribuidor, mantendo simultaneamente a independência de cada um, mas sempre com o foco no projeto principal, ou seja, *os satélites deram causa ao macro*.

Agradecimentos

Como se trata de um projeto multisetorial vale evidenciar agradecimentos a todos que vem apoiando e participando da iniciativa.

REFERÊNCIAS

- 1 *Benchmarking Continuous Casting Conference 2012 – ArcelorMittal Group – IAPT – Unidade Técnica de Confiabilidade da Área de Produção de Placas da Unidade de Tubarão.* 2012, Serra, ES, Brasil.
- 2 Evaluation equipments for narrow face movement: servo motors which turn spindles right angle and gear boxes x servo motors which turn spindles (ball screw type) and gear boxes – SMS-Demag – 2006, Germany.
- 3 Duarte, Alamar Kasan. *Mecanismos Gerais de Desgaste em Refratários.* Belo Horizonte, MG, Brasil, Editora ABM, 2000.
- 4 Hintzen, U. Behavior of slide gate refractories subjected to CaSi – Treated Steel. *Journal of the European Ceramic Society*, p. 337-344, 2001.
- 5 Gallo, Maurizio. *Refratários e Insumos para Lingotamento contínuo.* São Paulo, SP, Editora ABM, 2002.
- 6 Gentil, Vicente. *Corrosão.* Rio de Janeiro, RJ, 4ª ed. Editora LTC, 2003.
- 7 Cravo, V. O. *Modelamento matemático da zona de mistura de aços em lingotamento contínuo.* Dissertação de Mestrado, Redemat, Ouro Preto, MG, 2006.
- 8 Costa, A. M., *Modelamento matemático da zona de mistura no lingotamento contínuo.* Dissertação de Mestrado – UFMG, Belo Horizonte, MG, 2003.
- 9 Ney, V. B. *Modelo de mistura de aços para o lingotamento contínuo de Tubarão.* Serra, ES, 2013.