



Tema: Solidificação / Lingotamento

REDUÇÃO DO SUCATAMENTO DE PLACAS POR DEFEITO CARACTERIZADO COMO “BOLSA”*

Robson Luís da Silva Nascimento¹
Camila Lourenço Soares²
Vinícius Franco do Nascimento³
Hélio Peixoto Vieira⁴

Resumo

O mercado do aço no mundo está muito competitivo, e as indústrias siderúrgicas têm desenvolvidos projetos com foco na melhoria da qualidade dos aços e na redução dos custos dos processos de fabricação. Este trabalho descreve os avanços nos processos de lingotamento contínuo, com foco na redução do sucata de placas por “bolsa”. Esta melhoria consistiu na modificação na taxa de refrigeração aplicada na placa de cauda durante o processo de descarga da máquina (final de lingotamento). A implementação dessa ação propiciou uma homogeneidade na solidificação das placas de cauda aumentando assim sua temperatura de extração reduzindo significativamente o sucata das mesmas. Outras melhorias obtidas com o trabalho foram a redução das ocorrências de placa parada no interior da máquina, redução das ocorrências de restrição de velocidade por Baumann, redução das ocorrências de intervenção para regularização de GAP e melhoria na qualidade superficial. O trabalho foi realizado sem investimento contribuindo na redução do custo de transformação do aço em placa.

Palavras-chave: Lingotamento contínuo; Refrigeração secundária; Bolsa.

REDUCTION OF PLATES SCRAPING DEFECT FEATURED AS “BOLSA”

Abstract

The steel market in the world is very competitive, and steel industries have developed projects focused on improving the quality of steels and reducing the costs of manufacturing processes. This paper describes advances in the processes of continuous casting, with a focus on reducing the scraping of slab by shrinkage. This improvement consists in modifying the rate of cooling applied to plate tail during the discharge process machine (Late casting). The implementation of this action provided a homogeneous solidification boards tail thus increasing its extraction temperature significantly reducing scraping them. Other improvements were obtained with the job of reducing occurrences of stop plate inside the machine, reducing the occurrences of speed restriction by Baumann, reducing instances of intervention to regularize GAP and improved surface quality. The work was performed without investment contributing in reducing the cost of processing steel slab.

Keywords: Continuous casting; Secondary cooling; Shrinkage.

¹ Engenharia Metalúrgica, Engenheiro Especialista em Lingotamento Contínuo, CSN, Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil.

² Engenharia Metalúrgica, M.sc, Engenheira Pleno em Lingotamento Contínuo, CSN, Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil.

³ Engenharia de Materiais, M.sc, Engenheiro Especialista em Lingotamento Contínuo, CSN, Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil.

⁴ Engenharia da Computação, Engenheiro Especialista em Eletrônica do Lingotamento Contínuo, CSN, Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil.

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



1 INTRODUÇÃO

A aciaria LD da CSN dispõe atualmente de 3 conversores LD/KGC, com capacidade para produção de 231,0 tons de aço por corrida e de 3 máquinas de lingotamento contínuo de 2 veios cada uma.

A máquina de lingotamento nº4 é do tipo vertical-curva com gap paralelo. Já máquinas de lingotamento contínuo nº 2 e 3, mesmo projeto, são tipo curvas com gap progressivo. Estas foram construídas com tecnologia da década de 1970 e seu sistema de refrigeração secundária não possui controle individual e nem mesmo sistema air mist. Ante esta limitação tecnológica as máquinas de lingotamento contínuo nº 2 e 3 apresentam elevados índices de descarte de produto por defeito gerados durante a refrigeração secundária.

O defeito bolsa, vazio no interior da placa, ocorre devido a altas taxas de extração de calor na superfície da placa quando a mesma ainda possui grande quantidade de aço líquido no seu interior. Este defeito é ocasionado quando a refrigeração secundária não possui um nível de controle preciso como o sistema utilizado nas máquinas de lingotamento contínuo nº 2 e 3.

2 CONTRAÇÃO DE SOLIDIFICAÇÃO DA PLACA NO LINGOTAMENTO CONTINUO

O processo de lingotamento contínuo baseia-se em transformar aço líquido em placa de aço, na dimensão (largura x espessura x comprimento) e na qualidade especificada pelo cliente (análise química e sanidade interna).

Referente à sanidade interna das placas, um tipo de defeito de alta severidade, que deve ser removido através do corte transversal da placa.

Placas com bolsa são geradas em todo o fim de lingotamento, porém objetiva-se um descarte padrão de 500 mm da placa fim ou também conhecida como placa de cauda para a remoção do defeito.

Este defeito é causado principalmente pela heterogeneidade das frentes de solidificação. Essa por sua vez esta correlacionada aos fatores abaixo:

- Problemas Mecânicos como desalinhamento, empeno ou desgaste dos rolos e pressão do sistema hidráulico próximos ao final de solidificação;
- Problemas Físicos como refrigeração ineficiente ou excessiva no resfriamento secundário.

Estes fatores podem gerar pontes de solidificação, que irão provocar o não caldeamento entre as frentes de solidificação, provocando um vazio na região central da placa. É importante considerar que o aço no estado líquido ao se transformar em estado sólido, tem uma perda volumétrica em torno de 4% do volume do líquido [1-4].

A Figura 1 apresenta o fenômeno de formação do defeito. Em seguida na Figura 2 tem-se o defeito detectado pelo operador logo após o 1º descarte da cauda.

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.

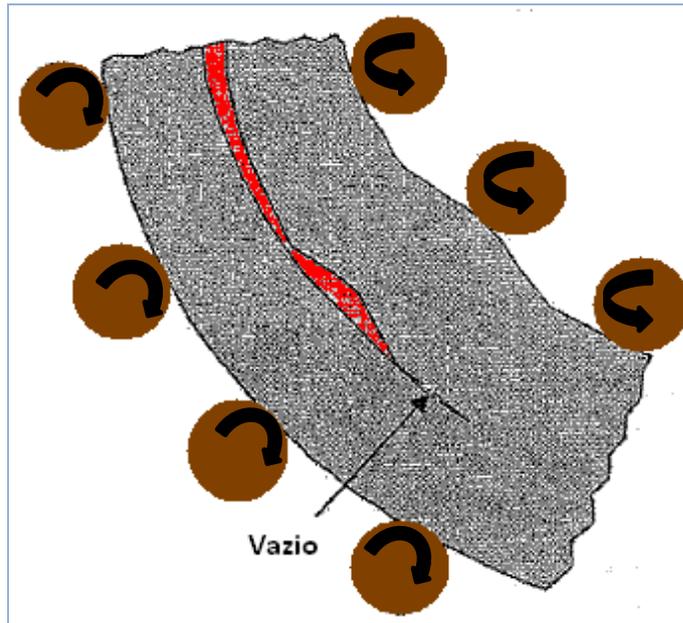


Figura 1. Fenômeno de formação da bolsa devido ao estreitamento da frente de solidificação [1].



Figura 2. Foto contendo a marcação de uma bolsa.

3 MATERIAL E MÉTODOS

No presente trabalho foi realizado a estratificação do sucatamento ocorrido em 2011, e com o auxílio do gráfico de Pareto mostrado na Figura 3, foi possível identificar que o segundo maior motivo do sucatamento de placas no lingotamento contínuo da CSN foi por defeito de bolsa.

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.

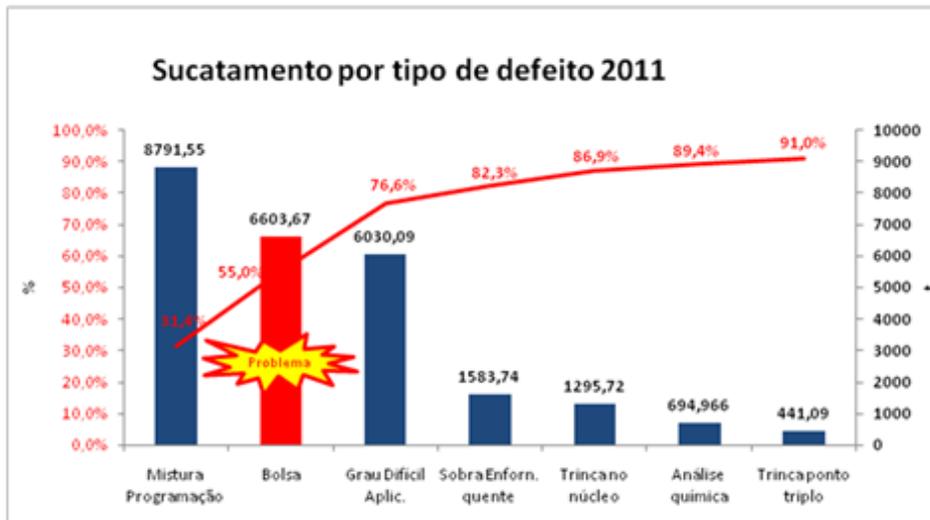


Figura 3. Estratificação do sucata por tipo de defeito. Resultado obtido em 2011.

Para avaliação do desenvolvimento do projeto, foi elaborado o gráfico mensal com a tonagem de placas sucateadas por bolsa, Figura 4. Foi definido pelo grupo de trabalho um meta inicial de redução do índice de sucata por bolsa de 0,14% para 0,08% em relação à produção de placas brutas.

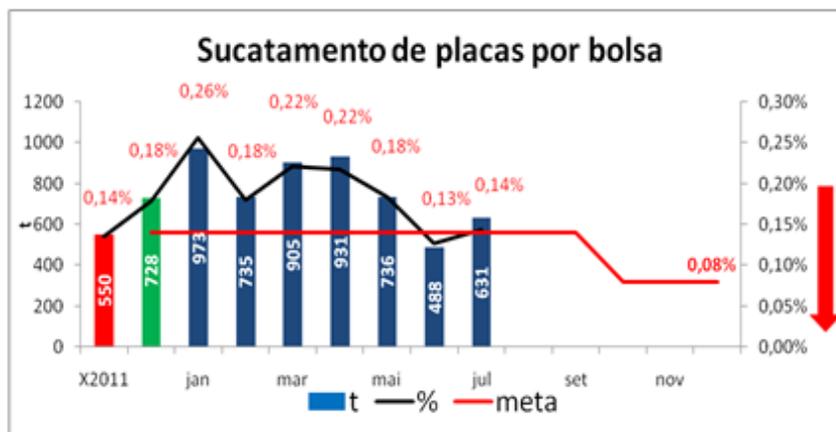


Figura 4. Gráfico mensal de sucata de placas por bolsa.

3.1 Análise do Sucata de Placas por Bolsa

3.1.1 Distribuição do defeito por máquina de lingotamento

Através do gráfico mostrado na Figura 5, tornou-se evidente que as máquinas de lingotamento n°2 e n°3 geram juntas 81,7% de placas com defeito bolsa.

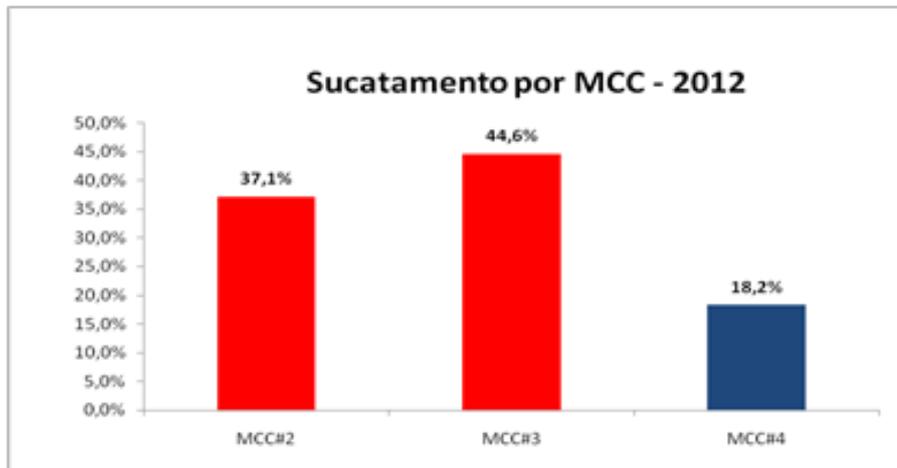


Figura 5. Gráfico mensal de sucata de placas por bolsa gerado nas MCC 2, 3 e 4.

Baseado nesta informação foi decidido aprofundar o estudo nas placas sucata por bolsa nas máquinas de lingotamento nº 2 e 3.

3.1.2 distribuição do defeito por evento nas máquinas de lingotamento N° 2 e 3

Como o processo de troca de distribuidor durante o lingotamento, é similar ao processo fim de lingotamento, ou seja, a placa está submetida a parâmetros similares de velocidade e refrigeração; foi elaborado gráfico apresentado na Figura 6, em que foi verificado que o defeito por bolsa é mais predominante no processo fim de lingotamento.



Figura 6. Gráfico sucata de placas por bolsa versus evento (ocorrência de processo).

3.1.3 Distribuição do defeito por comprimento da ultima placa nas máquinas de lingotamento N° 2 e 3

Como o sucata de placas por bolsa predomina nas placas de fim de lingotamento, tornou-se necessário conhecer a relação entre comprimento e o percentual de placas com defeito mostrado na Figura 7.

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.

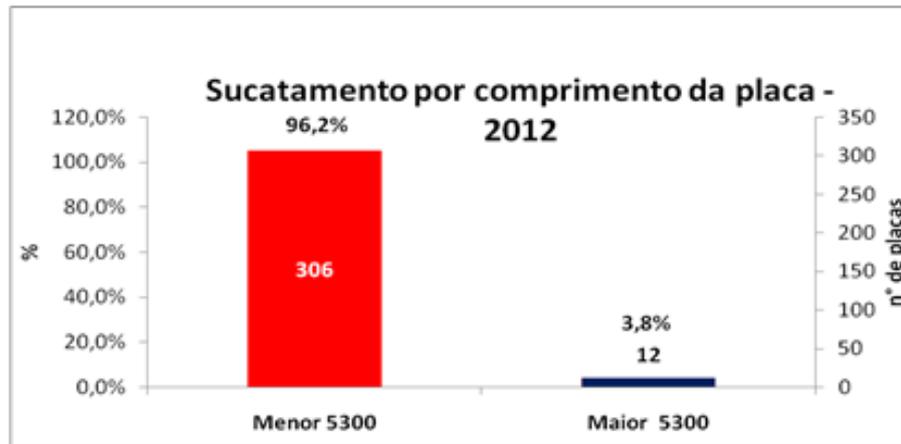


Figura 7. Gráfico sucata de placas por bolsa versus evento (ocorrência de processo).

Baseados nos dados até o momento foi possível elaborar um padrão mensal de geração de placas sucata por bolsa conforme Figura 8.



Figura 8. Gráfico sucata de placas por bolsa versus evento (ocorrência de processo).

3.1.4 Estudo sobre a extensão do defeito bolsa no interior das placas cauda nas máquinas de lingotamento N° 2 e 3

Como a especificação do laminador da CSN requer placa com comprimento superior a 5000 mm, a geração de defeito por bolsa em placas curtas (5330 mm) está sendo impactado pela extensão do defeito de bolsa na placa.

Para conhecer este efeito foi realizado um estudo sobre a extensão da bolsa nas placas de cauda, onde foram realizados cortes de 200 em 200 mm até o desaparecimento do defeito. A Figura 9 mostra o corte vertical realizado para remoção do defeito.

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



Figura 9. Corte na seção vertical da placa. Local de identificação do defeito.

Após amostragem de 5 placas, Figura 10, foi verificado que o defeito bolsa se estendia em média por 850 mm na placa, além do descarte de 500 mm realizado na máquina de corte.

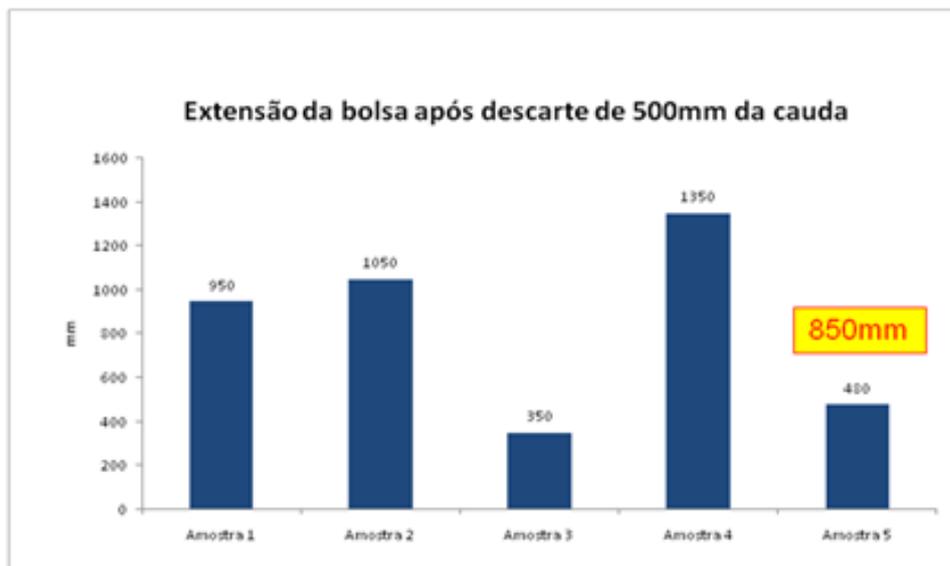


Figura 10. Extensão da bolsa após descarte padrão de 500 mm em placas de cauda. A extensão média calculada foi de aproximadamente 850 mm.

3.2 Análise dos Dados

Baseado nas informações obtidas com os dados analisados foi elaborado o diagrama de relações abaixo apresentado na Figura 11.

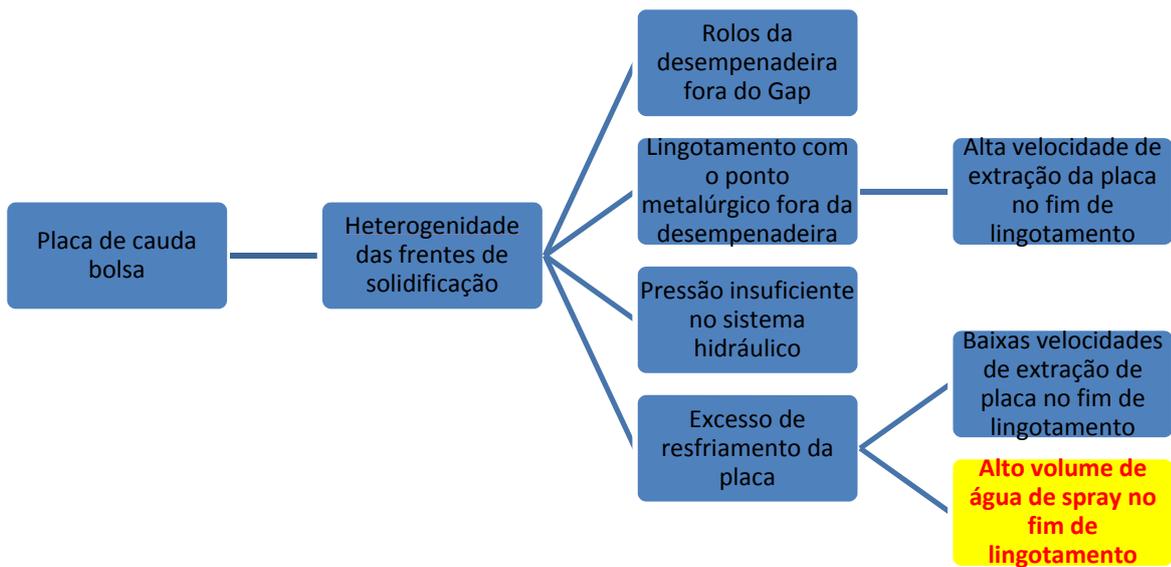


Figura 11. Diagrama de relações utilizado para definir as causas prováveis do defeito bolsa.

Das causas prováveis, foi realizado verificações e experimentos com objetivo de reduzir o sucatamento de placas por bolsa.

3.2.1 Rolos na desempenadeira fora do GAP

As placas têm o seu comprimento metalúrgico (último ponto a solidificar no interior da placa) definido na região de desempenadeira, Figura 12.

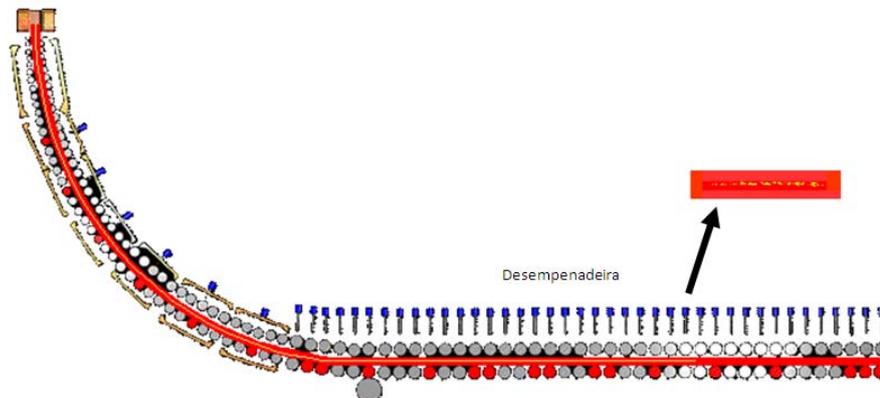


Figura 12. Representação gráfica da região de solidificação máquinas de lingotamento contínuo nº 2 e 3. Fonte: Apostila lingotamento contínuo GLA – CSN.

Contudo através da verificação da rotina de manutenção e na verificação diária de análise de Baumann, foi evidenciada a ocorrência de sucatamento de placas por bolsa mesmo com os rolos da desempenadeira com o GAP conforme especificado. Demonstrando que esta condição não tem relação forte com o defeito.

3.2.2 Pressão insuficiente no sistema hidráulico

Foi realizado em julho de 2011, um experimento em que foi aumentando em 20% as pressões do sistema hidráulico. Porém os níveis de sucatamento de placas por bolsa permaneceram, demonstrando que esta condição não tem relação forte com o defeito.

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



3.2.3 Elevado volume de água de spray no fim de lingotamento

Em junho de 2012, foram realizados 10 experimentos nas máquinas de lingotamento contínuo, reduzindo em 40% a refrigeração da placa no fim de lingotamento. Nestes experimentos foi observado que as placas apresentaram melhor perfil térmico conforme Figura 13. As mesmas apresentaram também extensão de bolsa inferior a 200 mm.

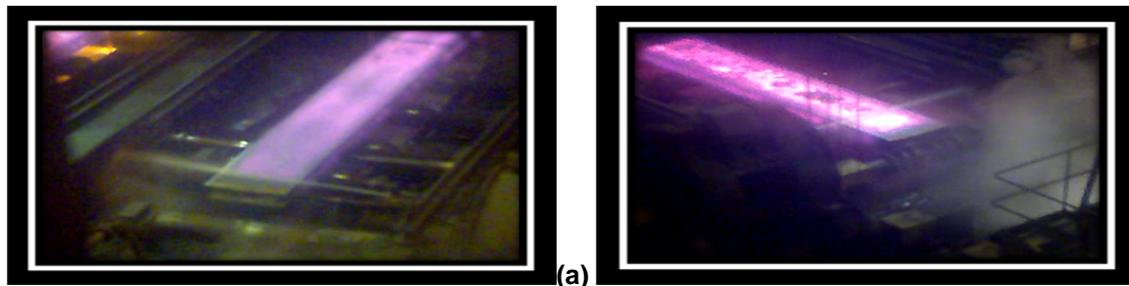


Figura 13. Foto (a) Perfil térmico da placa de cauda antes da redução da refrigeração, 600°C na superfície da placa. Foto (b) Perfil térmico da placa de cauda após redução da refrigeração, 860°C na superfície da placa.

3.3 Plano de Ação

Baseado nas informações e experimentos realizados foi definido o plano de ação apresentado no Quadro 1.

Quadro 1. Plano de Ação. 5W2H

Causa Priorizada	Solução a ser implementada	5W1H						
		What	Who	When	Why	Where	How	How Much
Alto volume de água nos sprays no fim de lingotamento	Realizar teste com redução da refrigeração da placa de cauda	Reduzir o volume de água dos sprays durante a descarga	Robson/Camila /Vinicius	jul/12	Análise da condição térmica da placa de cauda	MCC's 2 e 3	Alterando as vazões de spray manualmente	Não há
	Alterar lógica de refrigeração após descarga da placa	Reduzir o volume de água dos sprays durante a descarga	Robson/Hélio/ Camila	ago/12	Eliminar o defeito bolsa	MCC's 2 e 3	Alteração no <u>supervisorio</u>	Não há
	Realizar verificação da geração de placas com bolsa	Avaliar performance do procedimento	Robson/Camila /Vinicius	out/12	Verificação da eficácia das ações	MCC's 2 e 3	Controle específicos	Não há

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As alterações no sistema de refrigeração foram efetivas. Antes da implantação após o acionamento da descarga (fim de lingotamento), as FIRCA's de refrigeração, Figuras 14 e 15, aumentavam a vazão de acordo com o aumento da velocidade, provocando um super-resfriamento na cauda e gerando heterogeneidades nas frentes de solidificação, ou seja, a formação de pontes de solidificação provocando o aumento da extensão da bolsa no interior da placa.

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.

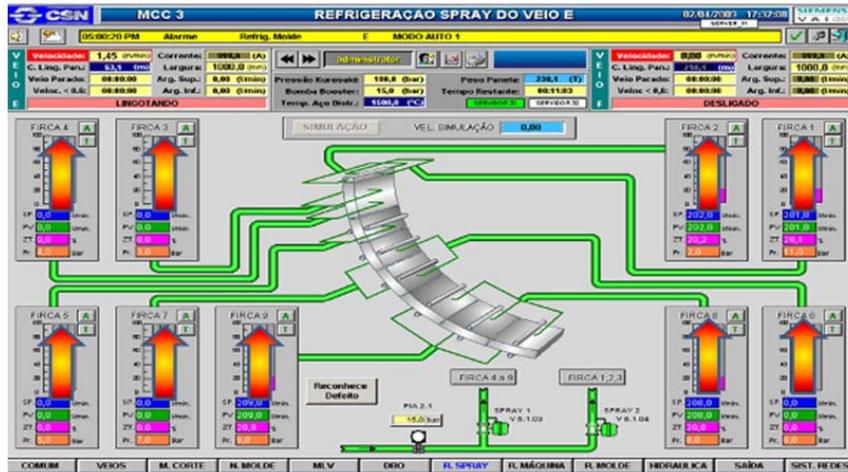


Figura 14. Tela de monitoramento do sistema de refrigeração por sprays veio E, máquina nº 3.

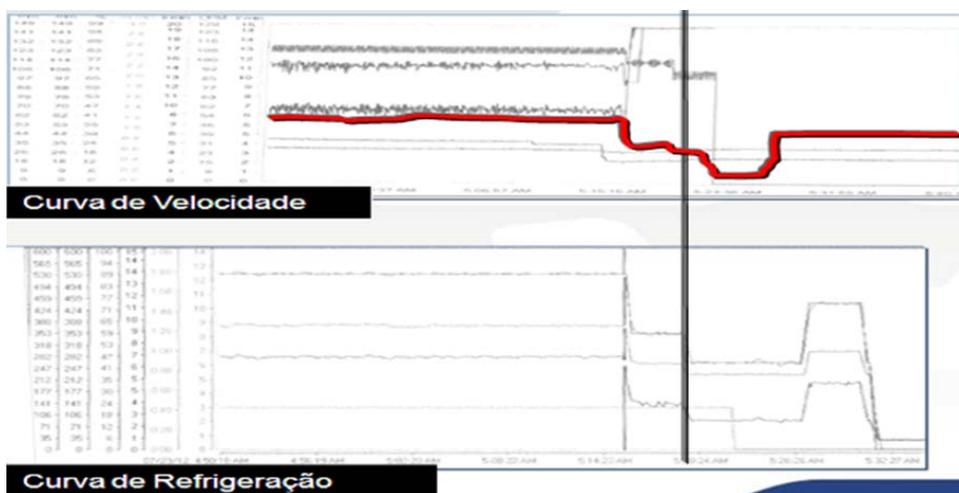


Figura 15. Carta gráfica do aumento da refrigeração em função do aumento da velocidade durante descarga.

Com a modificação da lógica do sistema de refrigeração, na descarga da placa (fim de lingotamento), as FIRCAs 1, 2 e 3 são fechadas automaticamente e as demais FIRCAs se mantêm na vazão mínima da máquina de lingotamento, independente da velocidade apresentado respectivamente nas Figuras 16 e 17.

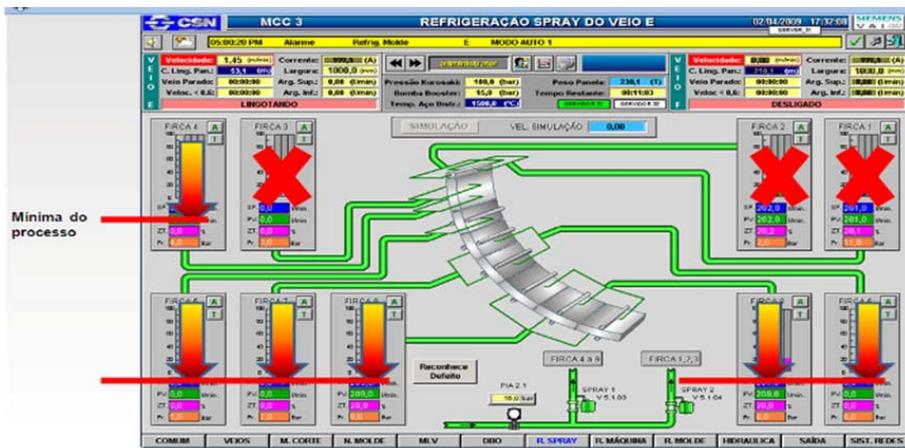


Figura 16. Tela de monitoramento do sistema de refrigeração por sprays veio E, máquina nº 3 (após modificação).

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.

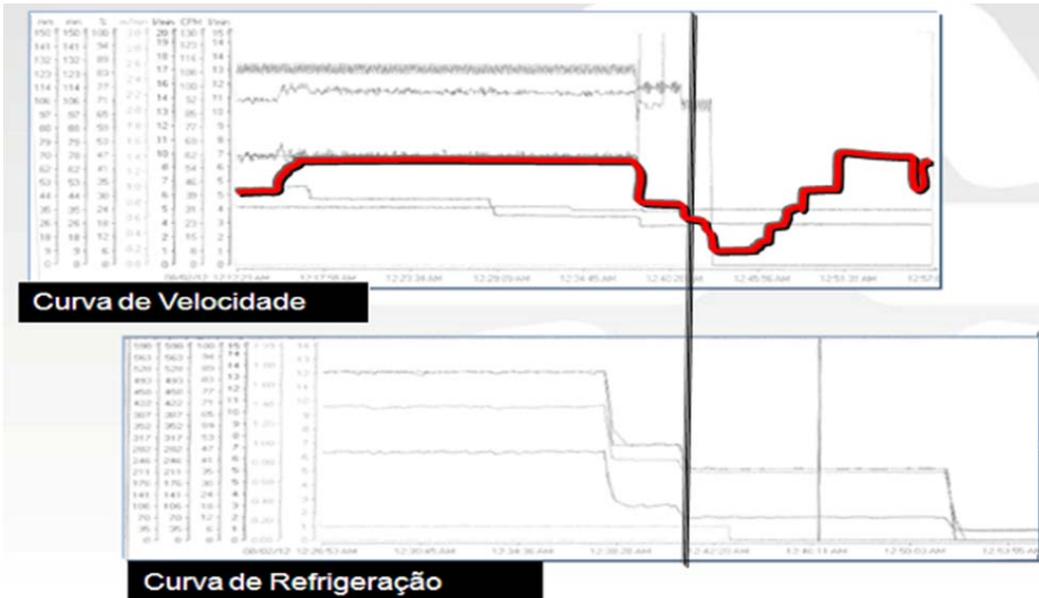


Figura 17. Carta gráfica da manutenção da refrigeração na vazão mínima mesmo com aumento da velocidade durante descarga.

O resultado da implantação das ações superou as expectativas do grupo, atingindo 0,06% de sucata de placas por bolsa em setembro de 2012, uma redução abaixo da meta proposta, conforme mostrado na Figura 18.

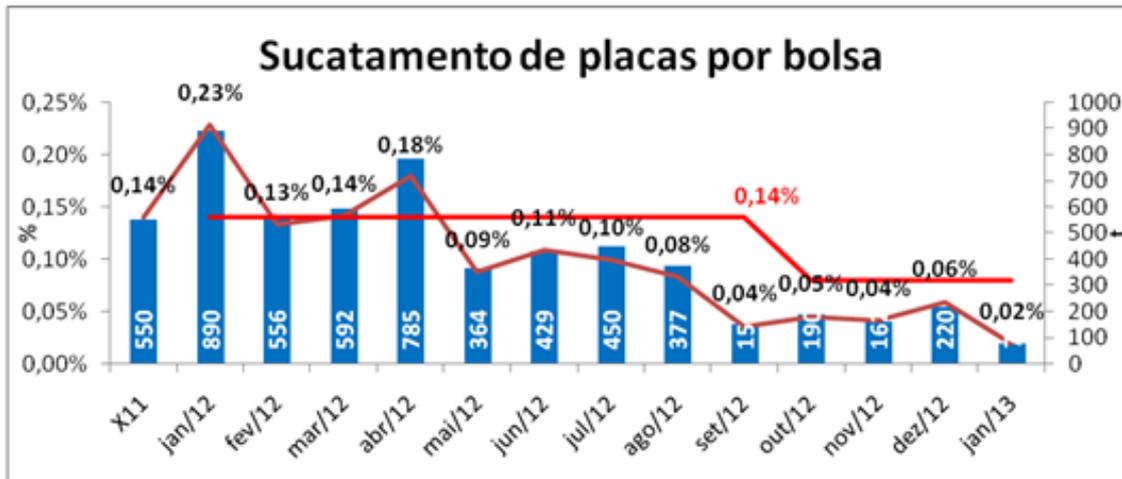


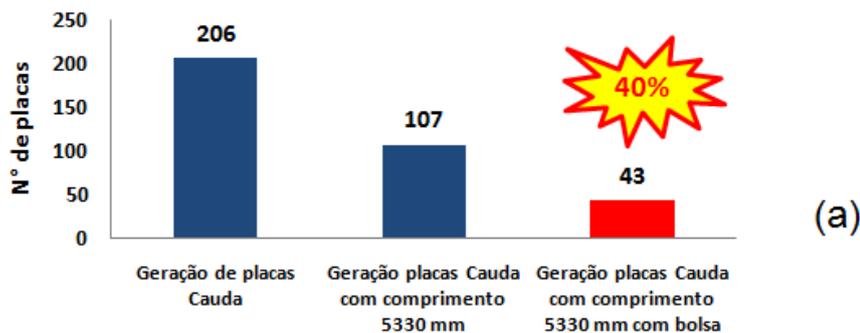
Figura 18. Resultado obtido após implementação das ações em setembro de 2012.

Para melhor caracterizar o resultado foi comparado o padrão de geração antes com o padrão de geração atual, e verificado que antes o sucata de placas por bolsa correspondia a 40% das placas curtas, atualmente o sucata por bolsa corresponde apenas 5% de toda geração de placa curta vide Figura 19.

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



Histórico mensal das placas cauda



Histórico mensal das placas cauda após alteração do processo

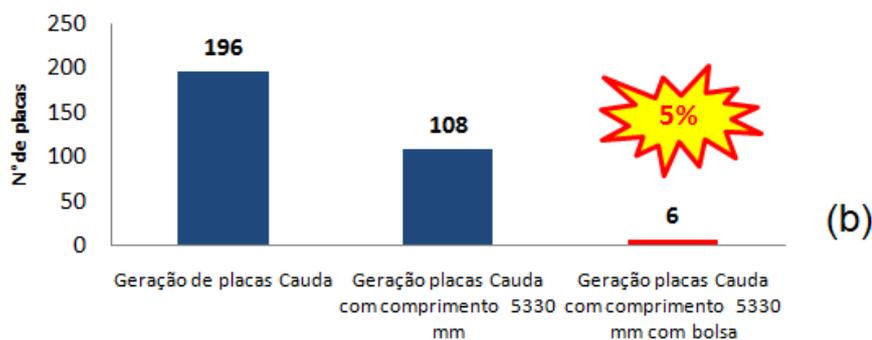


Figura 19. Geração e sucata de placas com bolsa antes (a) e após implementação das ações (b).

Através dos resultados os ganhos reais do projeto foram conforme quadro 2.

Quadro 2. Ganho Financeiro do projeto

Ganho mensal	R\$ 324.416,67
Ganho anual	R\$ 3.893.000,00

Além do benefício financeiro, o projeto propiciou os seguintes ganhos:

- 1 Redução das ocorrências de atraso de preparação de máquina (set-up) devido agarramento da cauda dentro da desempenadeira (empeno da placa devido excesso de refrigeração).
- 2 Redução das restrições de velocidade por Ensaio de Baumann (menor esforço dos rolos para extração da cauda).
- 3 Redução das restrições por tipo de aço por ensaio de Baumann (menor esforço dos rolos para extração da cauda).
- 4 Redução das paradas de máquina para correção Gap dos rolos da desempenadeira (em media 6 horas/ mês por veio), figura 21.
- 5 Aumento da produtividade de placa com o mesmo volume de aço líquido produzido (redução de geração de resíduos por tonelada de placa).

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



Figura 20. Medição de Gap na região da desempenadeira.

5 CONCLUSÃO

Com o trabalho pode ser observado que o conhecimento sobre as condições de solidificação e refrigeração nas máquinas de lingotamento contínuo pode corroborar com o crescimento do valor que é gerado nos produtos CSN.

Também é importante ressaltar que os dados analisados à luz das ferramentas de qualidade denotam a importância da análise estatística precisa, que por sua vez acelera o atingimento das metas outrora almejadas.

Por fim, a contribuição mais importante deste trabalho está no crescimento dos profissionais da equipe, que durante seu aprendizado aumentaram o conhecimento dentro da CSN aumentando o valor de nosso mais importante capital: o capital Humano.

Agradecimentos

Agradecemos todos os operadores da célula da máquina de corte nº 2 e 3 bem como líderes e supervisor.

Ressaltamos também o apoio gerado pelo Gerencia e Gerencia Geral do Lingotamento de Contínuo no decorrer da evolução do projeto.

REFERÊNCIAS

- 1 Valadares CAG. Lingotamento Contínuo de Placas. ABM – Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, São Paulo, 1ª versão, p. 11-119, 2011.
- 2 Costa e Silva ALV. Aços e ligas especiais. São Paulo: Editora Blucher; 2006. p.506-531.
- 3 Sengupta J, Thomas BG, Wells MA. The use of water cooling during the continuous casting of steel and aluminum alloys. Metallurgical and Materials Transactions A – Physical Metallurgy and Materials Science. 2005;36A(1):187-204.
- 4 Bellet M, Thomas BG. Chapter 27, Solidification Macroprocesses (Thermal-mechanical modeling of stress, distortion and hot tearing). In: Materials Processing Handbook- Cat # 3216, Joanna R. Groza; James F. Shackelford; Enrique J. Lavernia; Michael T. Powers, eds. CRC Press; 2007.

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.