

OTIMIZAR O TEMPO DE ACALMAÇÃO/SOLIDIFICAÇÃO DO AÇO NA LINGOTEIRA¹

Carlos Vinicius Domingos de Carvalho²
Manoel Luiz Corrêa³
José Geraldo de Paula³
Edson Senra de Oliveira³

Resumo

Devido à construção do segundo Forno Panela na Área de Lingotamento Convencional da Gerdau Açominas, foi reduzido um par de Carros de Lingotamento, sendo um total de doze pares. Veio a necessidade de aumentar a disponibilidade dos carros de Lingotamento Convencional, pois, poderia impactar na perda de aproximadamente 10% do volume de produção via rota Lingotamento Convencional. Utilizando a Metodologia de análise de Solução de Problemas- PDCA, foi verificado que o tempo de acalmação é o maior tempo do ciclo das atividades do carro de Lingotamento Convencional, impactando em média 63,0% do tempo total do ciclo. Utilizamos um Software MAGMA, que simula a solidificação do aço na lingoteira até a última gota. As principais etapas do processo foram acompanhadas e controladas como: checagem da solidificação dos topos dos lingotes para início do estripamento, corte do BL (rechupe) na linha de Laminação Primária, retirada de amostras na Área de Acabamento e verificação do resultado de segregação e inclusões pelo Laboratório Metalográfico. A qualidade do produto não foi afetada, disponibilizando cerca de 22 corridas/mês.

Palavras-chave: Ciclo dos carros de lingotamento; Tempo de acalmação; PDCA; Software Magma.

OPTIMIZATION OF SOLIDIFICATION TIME ABOUT STEEL GRADES INTO THE INGOT MOLD

Abstract

Due the construction of the second Ladle Furnace in the area of Ingot Casting process, it was reduced a pair of Ingot Buggy, being a total of twelve equal. The need of this study came to the necessity to increase the disposal of Ingot Buggy because it was able to impact in the loss of approximately 10% of the production volume in the route Ingot Casting. Using the methodology about analyses and solution of problems- PDCA, It was identified that the solidification time is more high time of cycle that activity about Ingot Buggy to affecting in average approximately 63% of total cycle. The group using Magma soft, the function is simulates the solidification of steel grades until the last drop. The main stages of the process were accompanied and control as: check of top solidification on the ingot products, cut the primary pipe on the primary rolling, retreat of samples on the mill finish and check to the sample result of segregation and inclusions to supply for Metallographic Laboratory. The quality of the products was not affected, availability about twenty two heat for month.

Word-key: Cycle that activity about Ingot Buggy; Solidification time; MASP; Magma soft.

¹ *Contribuição técnica ao XXXIX Seminário de Aciaria – Internacional, 12 a 16 de maio de 2008, Curitiba, PR, Brasil*

² *Engenheiro Metalurgista – Gerdau Açominas*

³ *Técnico de Processo – Gerdau Açominas*

1 INTRODUÇÃO

O Lingotamento Convencional representa 67% do volume de produção de aço líquido da Gerdau Açominas com dois milhões de toneladas por ano. A Gerdau Açominas visando sua expansão fez-se um trabalho de logística dentro da Aciaria e verificou-se que o local mais estratégico para a construção do segundo Forno Panela seria nas dependências da Área do Lingotamento Convencional, mais precisamente, no primeiro par de Carros. Esta mudança, impactaria em 10% na produção do Lingotamento Convencional.

O objetivo deste trabalho é aumentar a disponibilidade dos carros de Lingotamento Convencional, otimizando o tempo de acalmação/solidificação do aço na lingoteira, avaliando a freqüência de utilização da lingoteira 14X, seu regime de solidificação, características do ciclo dos carros de Lingotamento e demais parâmetros, para aumentar a produtividade e obter ganhos operacionais na Gerdau Açominas.

Estudos anteriores na Gerdau Açominas mostraram que a otimização do processo do Lingotamento Convencional, se daria basicamente na alteração de mix do aço, ou seja, produzir-se-iam mais aços Capeados (aços Efervescentes) do que aços Acalmados (aços Desoxidados) devido ao ciclo do Carro de Lingotamento do aço Capeado ser em torno de 75% menor se comparado ao aço Acalmado, porém, produziríamos aços de menor valor agregado.

Analisando o ciclo dos Carros de Lingotamento, verificou-se que o tempo de acalmação, ou seja, o momento em que o aço está totalmente solidificado e pronto para ser retirado da Lingoteira (estripado) seria o maior tempo em relação ao ciclo do lingotamento e, correlacionando o mix de produção dos aços acalmados, a maior produção do Lingotamento Convencional concentra-se nos aços produzidos na lingoteira 14X, conforme as Figuras 1 e 2.

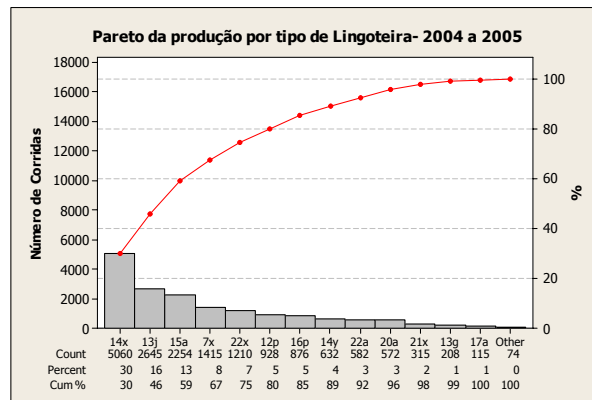


Figura 1: Produção de aço via rota Lingotamento Convencional por tipo de Lingoteira

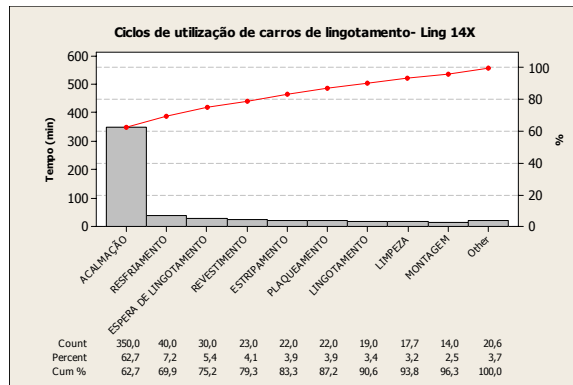


Figura 2: Ciclo de utilização dos Carros de Lingotamento para a Lingoteira 14X

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Avaliação do Regime de Solidificação

A solidificação de metais continua a ser um fenômeno de grande interesse para físicos, metalúrgicos, engenheiros de lingotamentos e desenvolvedores de softwares. O direcionamento afeta o ciclo de produção da aciaria, qualidades internas de lingotes e utilização de materiais.

Foi solicitado à empresa Foseco a avaliação do regime de solidificação para os aços lingotados na lingoteira 14X, a fim de verificar qual seria o tempo máximo de solidificação do aço na lingoteira.

A simulação de solidificação foi baseada no software Magmasoft, onde consiste na divisão do modelo 3D em uma malha de volumes finitos.

Durante o preenchimento, a equação de Navier-Stokes⁽¹⁾ é aplicada a essa malha, com o objetivo de determinar o comportamento do metal líquido escoando.

Ainda durante o preenchimento, é utilizada a equação de Fourier⁽²⁾ para o transporte de calor, com objetivo de calcular a transferência de calor entre cada uma das células que formam a malha.

Durante a solidificação, além da equação de Fourier que rege a extração de calor, por parte do molde, da peça a solidificar, também são utilizados cálculos de entalpia de solidificação e correções devido à liberação de calor latente por parte do metal.

Vale lembrar que, para que a simulação seja fiel ao que acontece na prática, é necessária a definição das condições iniciais e contorno. Essas condições são a temperatura de vazamento, a temperatura solidus/liquidus do material, os coeficientes de troca de calor entre as diversas partes que compõe o sistema.

Tabela 1: Parâmetros de Controle para lingotamento do aço 0,35% de C

LINGOTEIRA 14x

LIGA 0,35% DE CARBONO

CASO	TEMP. LINGOTEIRA °C	TEMP. VAZAMENTO	PLACA APOIO	PLACA LATERAL	PLACA TOPO
1	90	1545 °C	ISOLANTE	MÉDIA EXOTERMIA	ALTA EXOTERMIA

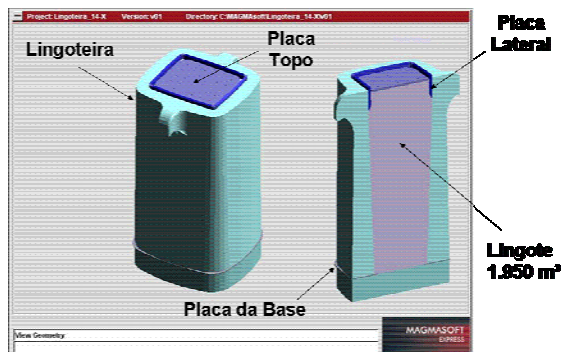


Figura 3: Representação dos insumos

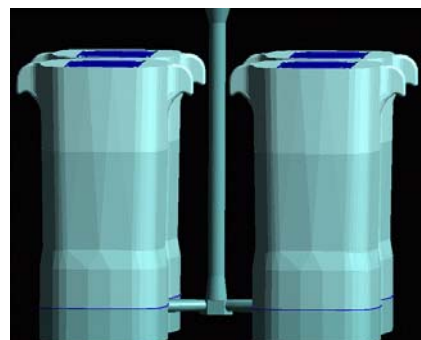


Figura 4: Representação das montagens

Tabela 2: Composição química

Composição Química								
	K48070B1UH			GS30NiCrMo2_2			GS52	
	MIN.	MAX.	VIS	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	
C	0,430	0,480	0,450		0,300		0,350	
Mn	0,700	0,86	0,77		0,800		1,3000	
Si	0,200	0,300	0,260		0,250		0,1000	
P		0,260	0,025		0,020		0,1000	
S		0,012	0,012		0,200		0,060	
Cu		0,050						
Cr		0,050			0,500			
H2		2,500						
Mo		0,050			0,200			
Nb		0,010						
Ni		0,050			0,550			
N2		50,000						
Ti		0,010						
V		0,010						

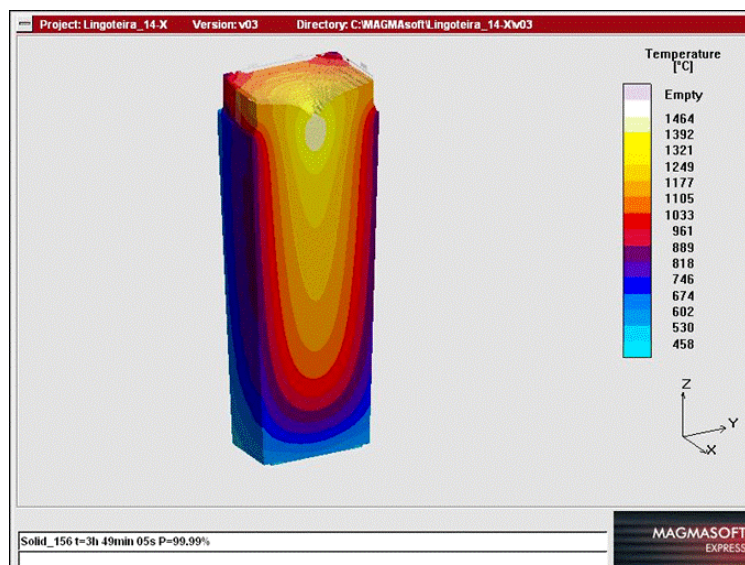


Figura 5: Perfil de solidificação do aço com 0,48% de carbono na lingoteira 14X

Após traçado o perfil de solidificação do lingote na lingoteira, foi calculado o tempo de solidificação, conforme Figura 6.

online information											
Time	Casting				Feeder						
	Fraction Solid [%]	Shrinkage [%]	Niyama [kg]		Fraction Solid [%]	Liquid Volume [kg]		Feeder Neck open	Feeder active	Fed Volume [%]	Top-Off Volume [kg]
1' 57"	10.1395	0.387	54.4384	2.75555							
5' 40"	20.0022	0.787	110.631	1.97145							
11' 33"	30.1046	1.195	167.958	1.97145							
19' 48"	40.0624	1.598	224.613	1.97145							
30' 37"	50.0551	1.985	279.001	1.97145							
45' 13"	60.2390	2.372	333.401	1.97145							
1h 3'	70.0244	2.764	388.401	1.97145							
1h 27'	80.0054	3.161	444.287	1.97145							
2h 2'	90.0095	3.580	503.180	1.97145							
2h 30'	95.0733	3.808	535.170	1.97145							
3h 57'	99.9997	4.111	577.706	0.70153							

Tempo de Acalmação/solidificação de 237 minutos

Figura 6: Tempo de acalmação/solidificação do aço 0,48% de carbono na lingoteira 14X

3 DESENVOLVIMENTO

A metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho foi a Metodologia de Análise de Solução de problemas.

3.1 Fases I – Identificação Do Problema

Inicialmente foi feito alguns questionamentos do tipo:

- Qual o Problema? Alto ciclo dos Carros de Lingotamento, gerando indisponibilidade dos mesmos para a produção de bons lingotes para aços lingotados na lingoteira 14X;
- Perdas Atuais: Elevado tempo de acalmação dos aços lingotados na lingoteira 14X em média de 347 minutos/corrída, gerando um ciclo médio (nº. de utilização do carro/dia) de 2,73 para $\%C \leq 0,30$ e 2,58 para $0,30 < \%C \leq 0,8$;

Para a elaboração da meta, foi verificada a condição da possível perda de produtividade do Lingotamento Convencional e estipulado o quanto deveríamos otimizar o ciclo dos Carros de Lingotamento para manter a produção estável, a meta foi estabelecida em se reduzir o tempo de acalmação de 347 para 330 minutos/corrída, o que representaria um aumento no ciclo médio (nº. de utilização do carro/dia) em 0,16.

3.2 Fases II – Observação

Foram feitas a identificação da natureza do problema e foi verificado nos gráficos das Figuras 7 e 9 que a maior produção via rota Lingotamento Convencional está concentrada na lingoteira 14X e o tempo de acalmação é o maior tempo do ciclo dos Carros de Lingotamento. Foram feitas algumas observações importantes o qual direcionou no desenvolvimento do trabalho:

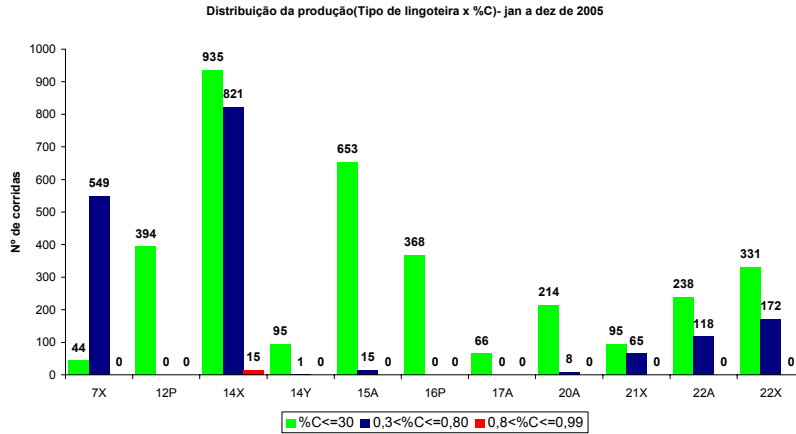


Figura 7: Distribuição da produção por tipo de lingoteira com os percentuais de carbono

O Tempo de acalmação é calculado em função das dimensões da lingoteira, onde será válida para a faixa de carbono menor que 0,30%. A fórmula é referente a missões de consultorias japonesas da NKK Corporation (atualmente JFE Engineering Corporation)⁽³⁾ (Figura 8)

$$T = \frac{1}{750} \left[\frac{A \times B}{750} \left(\frac{0,17}{P} + 0,82 \right) \right]^2$$

$$P = \frac{a}{b}$$

- A:** Largura do topo da lingoteira;
- B:** Espessura do topo da lingoteira;
- a:** Largura da seção média;
- b:** Espessura da seção média.

Figura 8: Fórmula para o cálculo do tempo de acalmação para aços com %C < 0,30

O resultado do cálculo do tempo de acalmação na lingoteira 14X para o carbono menor ou igual a 0,30% é de 286 minutos, porém, foram acrescidos 34 minutos durante o seu desenvolvimento, conforme Tabela 3.

As demais faixas de carbono foram inseridas empiricamente, baseadas em acompanhamentos práticos de conferência da solidificação dos topos dos lingotes através de hastes metálicas.

Tabela 3: Tempos de acalmação para a lingoteira 14X oriundos da fórmula da Figura 8

Lingoteira	Tempo (minutos) acalmado			
	C ≤ 0,30	0,30 < C ≤ 0,80	0,80 < C ≤ 0,99	C > 0,99
14X	≥ 320	≥ 350	≥ 370	≥ 390

Tabela 4: Tipos e características da lingoteira 14X

TIPO	DIMENSÕES DA LINGOTEIRA (mm)			ALTURA DA LINGOTEIRA (mm)	RAZÃO LARGURA/ESPESSURA NA SEÇÃO MÉDIA	PESO LINGOTEIRA (Kg)	PRODUTO
	ESPESSURA X LARGURA	ESPESSURA X LARGURA	ESPESSURA X LARGURA				
14X	TOPO	MÉDIA	BASE	-	-	-	-
	1042 x 892	977 x 827	911 x 761	2469	1,18	16470	BLOCO/TARUGO

Tabela 5: Pesos dos lingotes programáveis para lingoteira 14X

Pesos de lingotes programáveis na lingoteira 14X	
Peso mínimo (t)	Peso máximo (t)
13,76	13,91

Baseado nas faixas de carbono apresentado na Tabela 8, e, analisando algumas siglas com carbono menor que 0,30%, verificamos que a sigla, por exemplo, com teor de carbono de 0,30%, é estripada com o tempo de acalmação de 320 minutos porém, o carbono real pode variar de 0,30% a 0,34% ou seja, o tempo de acalmação está associado ao carbono da sigla e não ao carbono do aço (Figura 9).

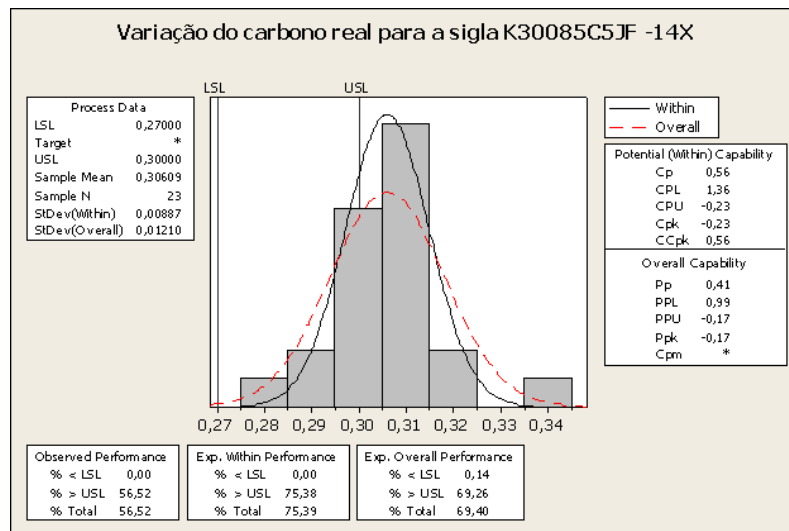


Figura 9: Variação do carbono real para a sigla com carbono de 0,30% na lingoteira 14X

3.3 Fases III– Análise do Problema

Baseado nas observações foi criado um primeiro Diagrama de Causa e Efeito ou Espinha de Peixe, para analisar a possíveis causas para resolver o problema de baixo número de utilização dos Carros de Lingotamento por dia na lingoteira 14X conforme Figura 10.

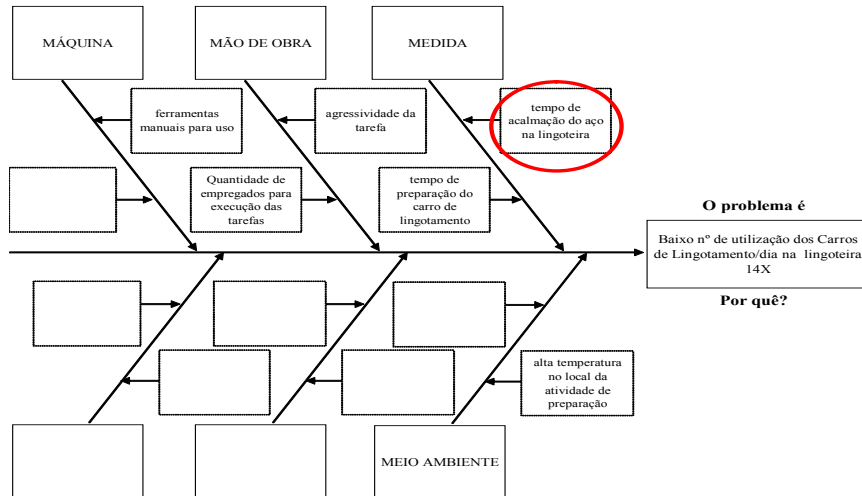


Figura 10: Análise primária utilizando o Diagrama Causa Efeito

Após circularmos a causa que se presume mais provável, faz-se uma nova análise mudando o foco do problema conforme Figura 11

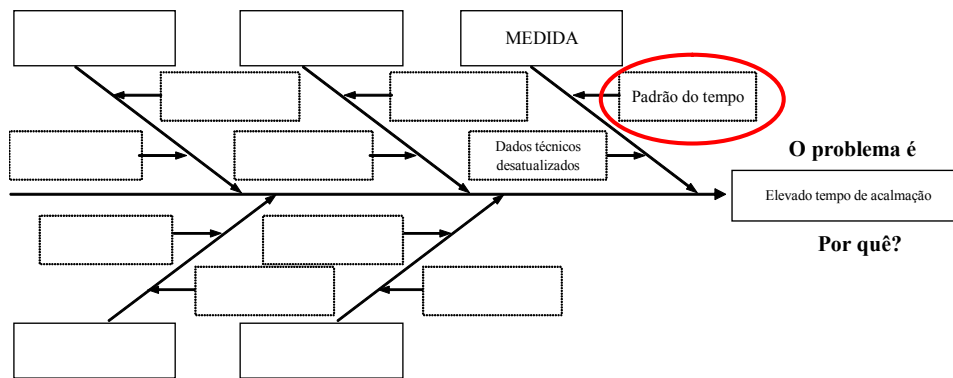


Figura 11: Diagrama Causa Efeito da causa mais provável

3.4 Fase IV – Plano de Ação

As idéias para a elaboração do plano de ação foram colhidas junto aos empregados no posto de trabalho, foi acordado fazer a medição do topo dos lingotes, acompanhamento no posto de trabalho para medição de todos os parâmetros operacionais e de segurança e atenção para os registros em uma planilha para confiabilidade dos dados. Qual a proposta para solução?

Solução escolhida: Redução no tempo de acalmação na lingoteira 14X.

As vantagens seriam maior disponibilidade dos Carros de Lingotamento para a produção de bons lingotes.

Quadro 1. Método 5W1H para elaboração do plano de ação

5W1H

O QUE será feito WHAT	QUANDO será feito? WHEN	QUEM fará? WHO	ONDE será feito? WHERE	POR QUE será feito? WHY	COMO será feito? HOW
Simulação de solidificação do aço na lingoteira	maio-06	Fornecedor FOSECO	Fornecedor FOSECO	Para conhecer o tempo ideal de solidificação do aço na lingoteira	Utilizando um aplicativo específico (MAGMA)
Medição da solidificação total dos topos dos lingotes da lingoteira 14X	01 a 30/06/06 através de plano de acompanhamento	Manoel Luis Corrêa	Plataforma de lingotamento	Para verificar o momento em que o topo do lingote está 100% solidificado, podendo ser estripado	Introduzindo uma haste metálica no topo do lingote
Acompanhamento do estripamento dos lingotes 14X	15 a 30/06/06	Manoel Luis Corrêa	Área do estripamento	Para observação de possíveis anormalidades nos lingotes	Através de inspeção visual
Acompanhamento dos resultados de acabamentos dos lingotes estripados antecipadamente	15 a 30/06/06	Manoel Luis Corrêa	Área do acabamento	Para verificar impacto da antecipação do estripamento no índice de defeitos nos produtos	Através do padrão de inspeção do acabamento

3.5 Fase V – Ação

Quadro 2: Atividades para ação do projeto

Atividade O QUE	Responsável QUEM	QUANDO			
		Previsto	Realizado	Status	Contra medida
Simular o tempo de solidificação com aplicativo específico (MAGMA)	Manoel Luiz Corrêa	15/05/2006	22/05/2006	Concluída	
Medir índice de solidificação do aço produzido na lingoteira 14X	Manoel Luiz Corrêa	30/05/2006	15/05/2006	Concluída	
Acompanhar estripamento dos lingotes 14X medidos	Manoel Luiz Corrêa	30/05/2006	30/05/2006	Concluída	
acompanhar resultados de acabamento dos lingotes observados	Manoel Luiz Corrêa	30/07/2006	30/06/2006	Concluída	

4 RESULTADOS E ANÁLISES

A partir do resultado do software, mais as fases de observações e análises do trabalho, decidiu-se escalonar o tempo de acalmação por faixas de carbono real, e não mais pelo carbono da sigla, sendo padronizado conforme Tabela 6.

Tabela 6: Padrão do tempo de acalmação para a lingoteira 14X

LINGOTEIRA 14 X	
Faixa de %C	Tempo
< 0,10	≥ 275
0,10 < C ≤ 0,20	≥ 280
0,20 < C ≤ 0,30	≥ 285
0,30 < C ≤ 0,40	≥ 290
0,40 < C ≤ 0,50	≥ 300
0,50 < C ≤ 0,60	≥ 310
0,60 < C ≤ 0,70	≥ 320
0,70 < C ≤ 0,80	≥ 330
0,80 < C ≤ 0,90	≥ 350
> 0,90	≥ 390

Esta ação reduziu o tempo médio de acalmação de 347 para 313 minutos/corrida, aumentando o ciclo médio dos Carros de lingotamento (nº de utilização/dia) de 2,73 para 2,98 no %C ≤ 0,30 e 2,58 para 2,81 no 0,30 < %C ≤ 0,8, devido a produção ser concentrada nestas faixas de carbono. Totalizou uma disponibilidade dos Carros de Lingotamento em se produzir até 22 corridas por mês.

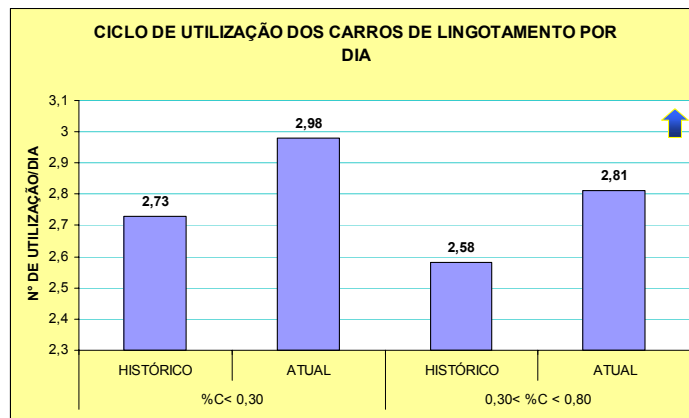


Figura 12: Atividades para ação do projeto

Em relação às perdas no Acabamento de placas, blocos e tarugos têm-se:

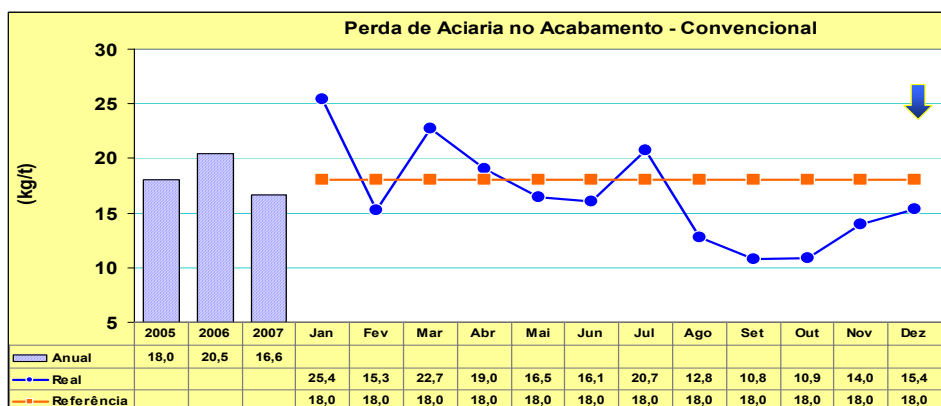


Figura 13: Total das perdas de Aciaria na área de Acabamento

Em relação aos defeitos em que a redução do tempo de acalmação poderia acarretar, segundo o corpo técnico da Gerdau Acominas, manteve-se constante, conforme Figuras 14 e 15.

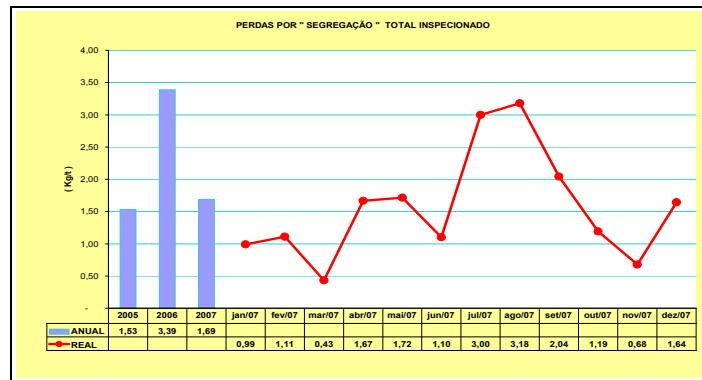


Figura 14: Resultado de perdas no Acabamento por segregação de %C

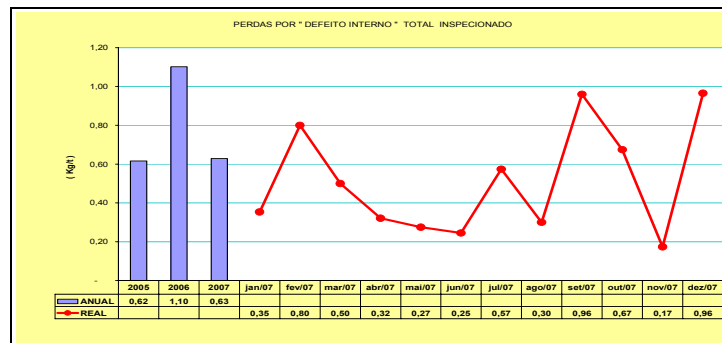


Figura 15: Resultado de perdas no Acabamento por segregação de %C

5 CONCLUSÃO

Os recursos utilizados para solução deste trabalho foram pequenos, se comparados aos ganhos obtidos.

A utilização da simulação via Magmasoft foi bastante útil, pois a partir daí, começou-se a questionar alguns paradigmas;

Os resultados das perdas na área de acabamentos mantiveram-se em patamares históricos, o que comprova a não interferência da redução do tempo de acalmação para os produtos lingotados na lingoteira 14X.

Este trabalho será estendido para os demais aços lingotados via rota Lingotamento Convencional, visando garantir ganhos de produtividade e a estabilidade operacional.

Agradecimentos

Agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram para a conclusão deste projeto e, em particular:

Aos colegas Iris Aparecida Ferreira Silva, Anízio Rodrigues Pereira, Sérgio Souza Marques, Manoel Luiz Corrêa, Edson Senra de Oliveira, José Geraldo de Paula e Hilton

Luis Pereira Lopes que são colaboradores da Gerdau Açominas S/A, pela participação e dedicação para o sucesso do trabalho.

À Gerdau Açominas S/A, por permitir a divulgação deste trabalho

E em especial à Empresa Foseco, que é fornecedora de insumos da Gerdau Açominas S/A, por disponibilizar os recursos do Software MAGMA que foi fundamental para a fase de observação e análise do projeto.

REFERÊNCIAS

- 1 G. H. GEIGER ET AL, Transport Phenomena in metallurgy, Addison-Wesley Publishing Company (1973);
- 2 B. BIRD ET AL, Transport Phenomena, John Wiley & Sons (1960);
- 3 NKK CORPORATION, Diagnostic Study and Recommendations on the Technical assistance for Acominas, Açominas S.A (1985).