

## REDUÇÃO DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO DA ACIARIA ATRAVÉS DA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO NOS FORNOS ELÉTRICOS A ARCO DA APERAM SOUTH AMERICA\*

*Alessandro Martins Duarte<sup>1</sup>  
Bruno Cordeiro Costa<sup>2</sup>  
Carlos Alberto Mourão<sup>3</sup>  
Neiton G. Drummond Freitas<sup>4</sup>  
Pedro Montserrat Lopes<sup>5</sup>  
Janeir Ribeiro Dutra<sup>6</sup>*

### Resumo

O forno elétrico a arco é dos equipamentos mais versátil para produção de aço e representa os principais processos para reciclagem de sucata. A Aperam South America Timóteo possui dois fornos elétricos, dedicados à produção dos aços inoxidáveis, onde praticamente 90% da sucata de inoxidáveis gerada na planta é reciclada neste processo, com o adicional de sucata adquirida no mercado de inoxidáveis. Este projeto teve como objetivo o incremento de produtividade nos fornos elétricos através de ajustes no programa de potência dos fornos na fase de fusão, objetivando a redução do tempo de forno ligado, redução de paradas por engaiolamentos de forno, redução do consumo de energia elétrica e eletrodos. O incremento de produtividade nos fornos elétricos permitiu uma maior produção de aços inoxidáveis da série austenítica, ofertando um volume maior de aços para os processos posteriores de refino no AODL. Para a modificação do programa de potência foram necessárias adequações no processo de confecção de carga e ajustes no modelo térmico do forno, baseados na temperatura final da carga, estimada para cada fase. Além dos ganhos de produtividades auferidos com o projeto, o mesmo proporcionou uma economia significativa no consumo de energia elétrica e eletrodos, próxima a kR\$ 3700 por ano.

**Palavras-chave:** Energia; Forno Elétrico; Curva de Potência; Fusão; Corrente elétrica; TAP; Entalpia de Fusão.

### MELTSHOP PRODUCTION COST REDUCTION THROUGH ELECTRIC ARC FURNACE OPTIMIZATION PROCESS IN APERAM SOUTH AMERICA

#### Abstract

The electric arc furnace (EAF) is the most versatile steel production instrument and one of the main processes for scrap recycling. Aperam South America Timóteo has two electric furnaces, dedicated to the production of stainless steel, where practically 90% of the stainless steel scrap generated in the plant is recycled in this process, with the additional of scrap purchased in the stainless steel market. The project target was increase the EAF's productivity by improving the furnace power program in the melting phase, aiming at reducing the time of the furnace, reducing stopping by furnace entanglement, reducing the consumption of electric energy and Electrodes. The increase of productivity in the electric furnaces allowed a higher production of stainless steel of the austenitic series, offering a larger volume of steel for refining in AODL with lower cost. For the modification of the power program, adjustments were made in the load preparation process and adjustments in the furnace thermal model, based on the final temperature of the load estimated for each phase. In addition to the gains of productivities obtained with the project, it provided a significant saving in electric energy and electrodes, close to kUS\$ 1150 per year.

**Keywords:** Energy; EAF; Power Curve; Fusion; Electric current; TAP; Fusion enthalpy.

- <sup>1</sup> Gerente dos convertedores da Aperam South America
- <sup>2</sup> Assistente técnico aciaria elétrica da Aperam South America
- <sup>3</sup> Técnico controle de processo aciaria elétrica da Aperam South America
- <sup>4</sup> Supervisor de manutenção aciaria elétrica da Aperam South America
- <sup>5</sup> Gerente aciaria elétrica da Aperam South America
- <sup>6</sup> Engenheiro de processo aciaria elétrica da Aperam South America.

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de produção de aços inoxidáveis da série eustenítica da Aperam, basicamente é feito na rota via aciaria elétrica, convertedor AODL e lingotamento contínuo (fig. 01). Devido a demanda crescente da produção dos aços desta série, os fornos elétricos da Aperam, desde 2012, começaram a ser o gargalo da aciaria e não mais o convertedor. Com a visão de futuro, de aumento de demanda, e mesmo por necessidade de redução de custos, tornou-se prioridade trabalhar fortemente no processo de aciaria elétrica para melhoria de produtividade e redução de custos.

## MELTSHOP FLOW SHEET

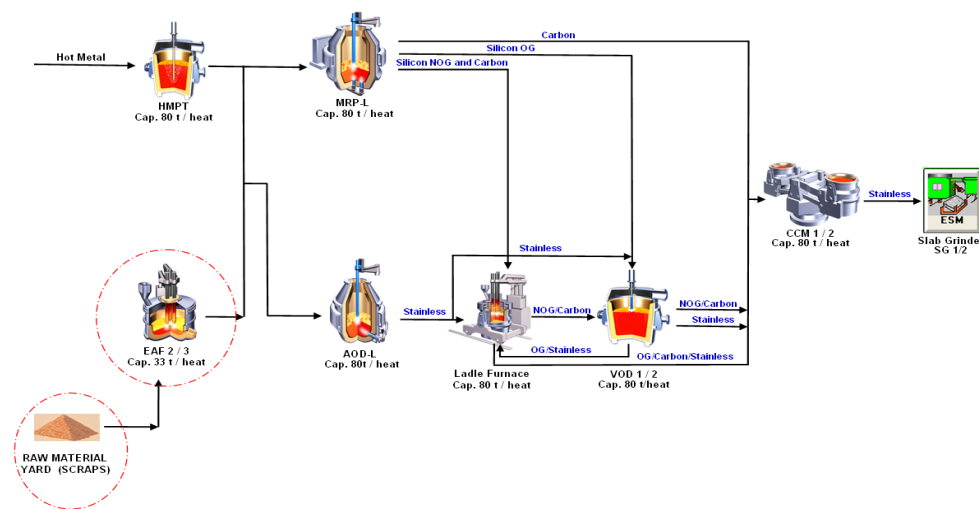


Figura 1 – Fluxo de produção aciaria

## 2- DESENVOLVIMENTO

Os fornos elétricos da Aperam são de 33 t por corrida. No processo de produção de aços austeníticos via convertedor AODL, há uma dependência de quase 100% de atendimento ao programa de produção através dos fornos elétricos, pois todo gusa produzido pelos Altos Fornos são consumidos para a produção dos aços elétricos, através do convertedor MRPL.

O histórico até então dos fornos elétricos são:

- Elevado consumo de energia e eletrodo;
- Padrão deficiente de confecção de carga;
- Frequência elevada de engaiolamentos dos Fornos
- Tempo de processo elevado.

Face as necessidades de produção, e redução de custos, o objetivo deste trabalho é:

- Aumentar a produtividade dos fornos elétricos;
- Redução do consumo de energia elétrica e eletrodos, com redução do custo de transformação;

- Mitigação de impacto ambiental sobre recurso hídrico, gerado pelo consumo elevado de energia elétrica;
- Aumento do consumo de sucata ligada nos aços da série austenítica.

Devido à necessidade de aumentar a produtividade dos fornos e reduzir o custo de transformação, definiu-se uma equipe técnica/operacional para levantamento de possíveis tecnologias e aperfeiçoamento do processo.

Através de análises de dados, monitoramentos e utilizando ferramentas para soluções de problemas, foi levantados pela equipe as ações que possibilitariam alcançar os objetivos. Dentre as ações estudadas, as de maior peso mapeadas foram:

- 1- Modificação do programa de potência dos fornos, objetivando uma maior eficiência da fase de fusão;
- 2- Modificação do processo de confecção de cargas no pátio de sucata para definir o número de cestos de cada corrida, a distribuição de peso e perfil de sucata de cada carregamento do forno;
- 3- Adequação do modelo térmico dos fornos elétricos, definindo o momento ideal para complemento da carga no forno e final da fase de fusão, baseados no consumo de energia elétrica, para cada fase do processo, sendo perfuração, fusão, oxidação e refino.

Não houve necessidade de revisão do projeto refratário dos fornos, pois os mesmos foram revisados em 2013, em um projeto que contemplava o enobrecimento do revestimento refratário nos pontos quentes (figura 2) para incremento da vida, o que permitia aumentar a tensão de trabalho com segurança operacional.

Após implementação das ações, foi realizada a modificação do programa de potência dos fornos e iniciados os testes que também contemplou verificar as condições do revestimento refratário dos fornos. Durante testes realizados, não foram observados desgastes fora do padrão do revestimento refratário dos fornos, nem alteração no consumo específico de massa de reparo. Em Ago/14 foi realizado a padronização das modificações realizadas no programa de potência, estendendo a utilização em todos os turnos de trabalho.

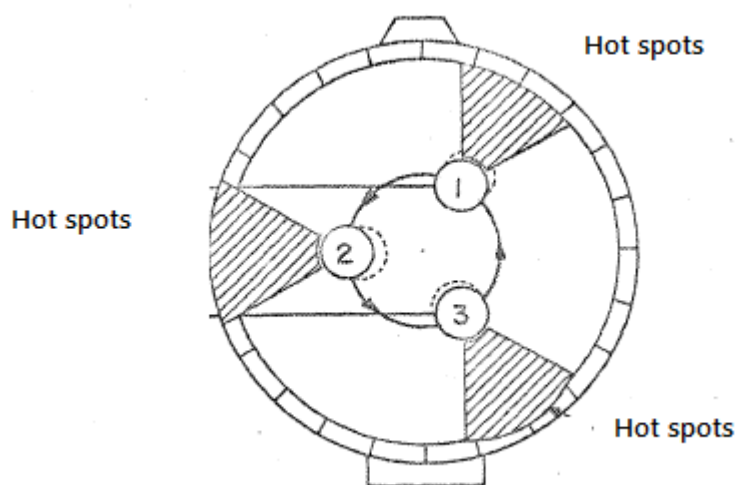


Figura 2 – Pontos quentes oriundos da irradiação do arco elétrico em cada eletrodo

## Análise e monitoramento

Para ajuste do programa de potência dos fornos, foi realizado estudo dos parâmetros elétricos, após o mesmo, foi identificada a possibilidade de melhoria no perfil de fusão dos fornos na fase de fusão.

Através da análise das três áreas diferenciadas na curva de potência (fig. 3 e 4), INSTABILIDADE, ESTABILIDADE-EFICIÊNCIA e INEFICIÊNCIA, caracterizou a EFICIÊNCIA energética do arco elétrico dos fornos.

A Figura 5 exemplifica um tap fora da condição ideal de trabalho. Fica bem claro que quando aumenta a corrente elétrica isto implica em uma redução na potência ativa (MW), trabalhando na faixa ineficiente. Se o tap de fusão principal, que opera na maioria do tempo de trabalho do forno, é eletricamente INEFICIENTE, temos aumento de consumo de eletrodo de grafite, menor potência, aumento do Tap-to-Tap, perda de produtividade e incremento do consumo de energia elétrica.

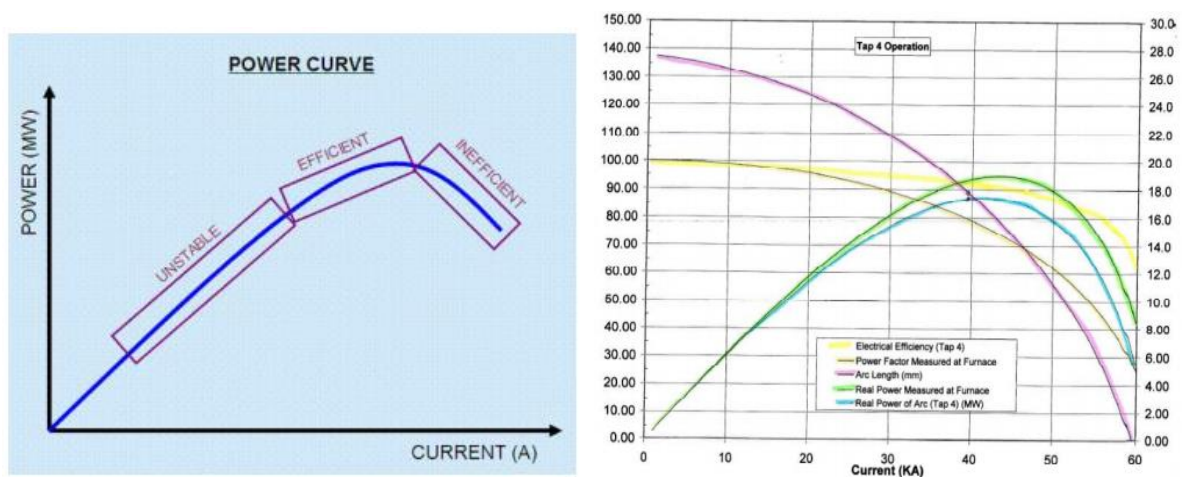


Figura 3 e 4 – INSTABILIDADE, EFICIÊNCIA, e INEFICIÊNCIA

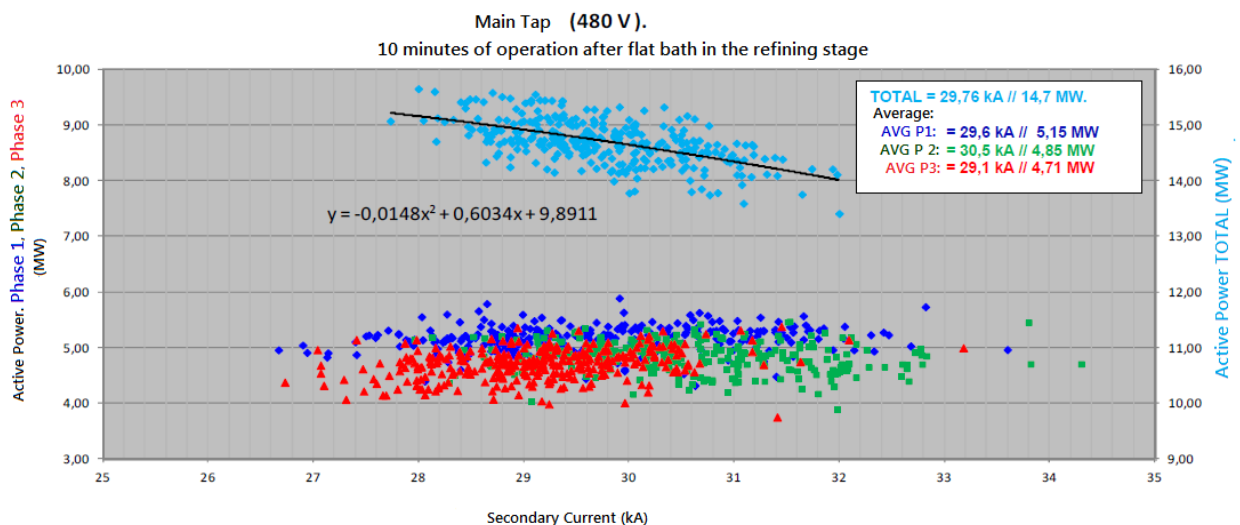


Figura 5 – INSTABILIDADE, EFICIÊNCIA, e INEFICIÊNCIA

Mediante estudo dos parâmetros elétricos, no qual foi realizada análise das curvas características de operação, foi proposta uma modificação do programa de potência dos fornos visando a utilização do máximo de potência na fase de fusão, limitado à garantia de segurança operacional do equipamento e com maior eficiência energética.

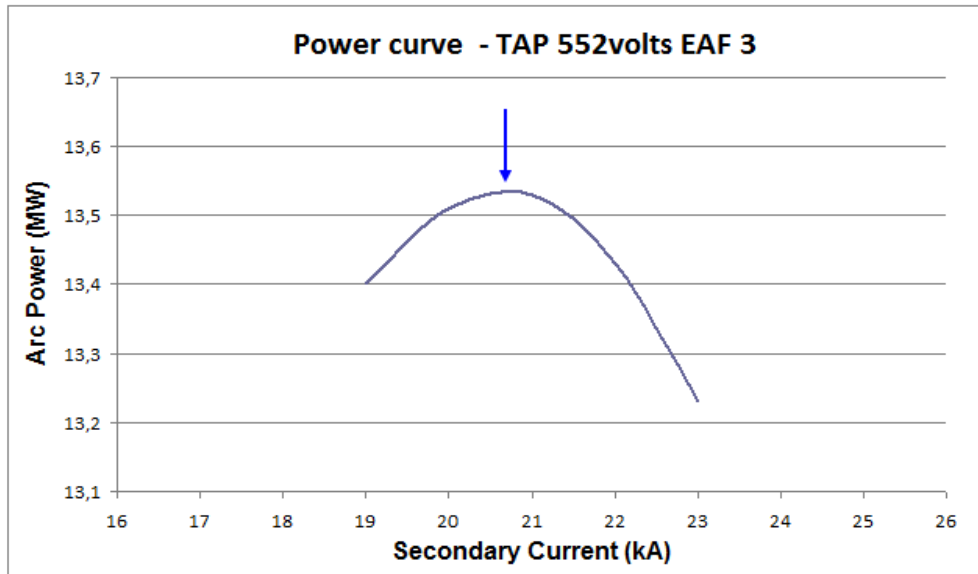


Figura 6 – Power curve - TAP 552volts EAF 3

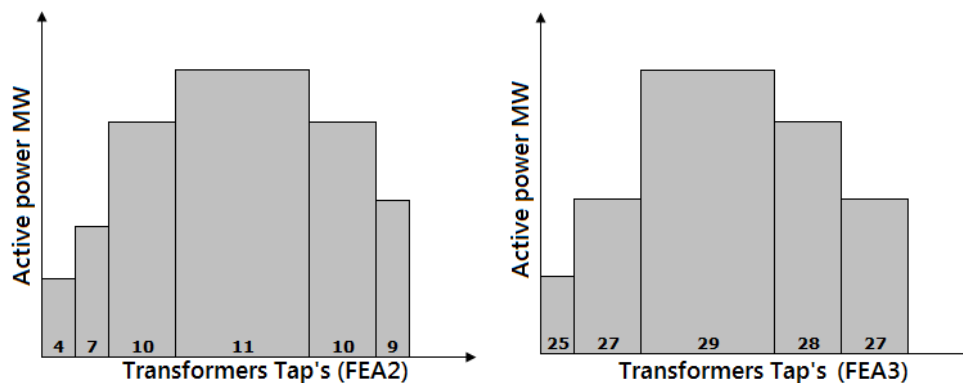


Figura 6 – Programa de potência padronizado na etapa de fusão dos fornos. Exemplificação para o 1º carregamento.

Ajuste no balanço térmico do forno, definindo energia requerida para o final de fusão. Foram realizados cálculos de entalpia de fusão e perdas térmicas envolvidas nesta etapa.

	C	Cr	Ni	Si	Mn	Fe	Overall
Chemical composition (%)	4	18	4	1,6	0,45	71,95	-
Enthalpy of fusion (kcal/mol)	5,94	13,70	14,06	7,82	16,08	14,92	-
Melting Energy (kWh/t)	23,31	55,80	11,27	2,45	1,55	226,20	320,58

Figura 7– Cálculo da entalpia de fusão para uma típica carga de um FEA - Aços austeníticos.

Após a implementação da nova metodologia de trabalho no Forno Elétrico a Arco nº3, em Dezembro de 2014, foi replicada a metodologia para o Forno Elétrico nº 2, em 15 de janeiro de 2015.

### 3- RESULTADOS OBTIDOS:

#### 3.1 - Evolução do tempo médio de forno ligado

Após padronização do programa de potência nos fornos, houve a redução do tempo médio de forno ligado conforme previsto no projeto. A figura 7 apresenta a evolução do tempo de forno ligado após implantação do projeto, com uma redução de aproximadamente 15% em relação ao ano de 2013.

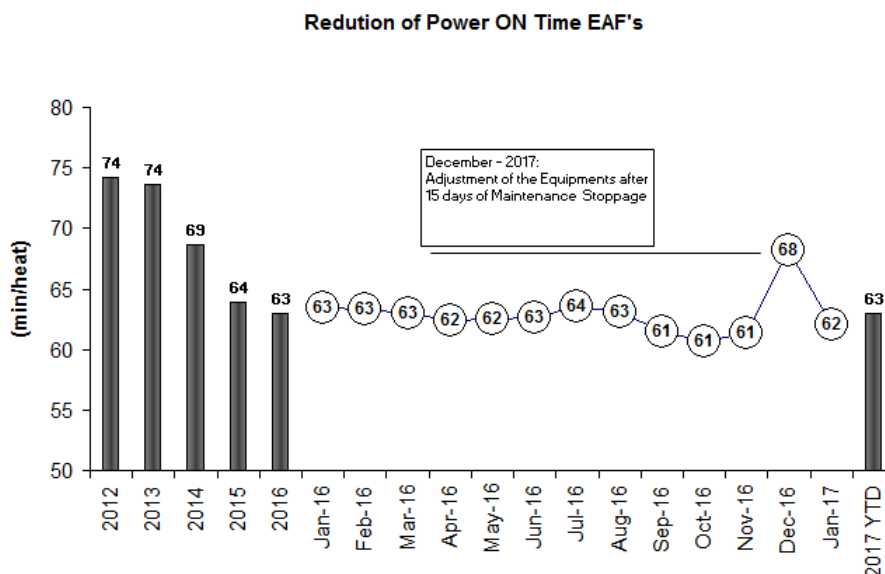


Figura 7 – Redução do tempo de forno ligado médio

#### 3.2 - Redução de paradas por engaiolamentos do forno

Após as alterações do programa de potência nos fornos, houve a redução do tempo médio de paradas por engaiolamentos conforme previsto no projeto. A figura 8 apresenta a evolução do indicador. Outras ações foram conduzidas no pátio para melhoria deste indicador, não sendo a modificação do programa de potência a única contribuição para a melhoria deste indicador.

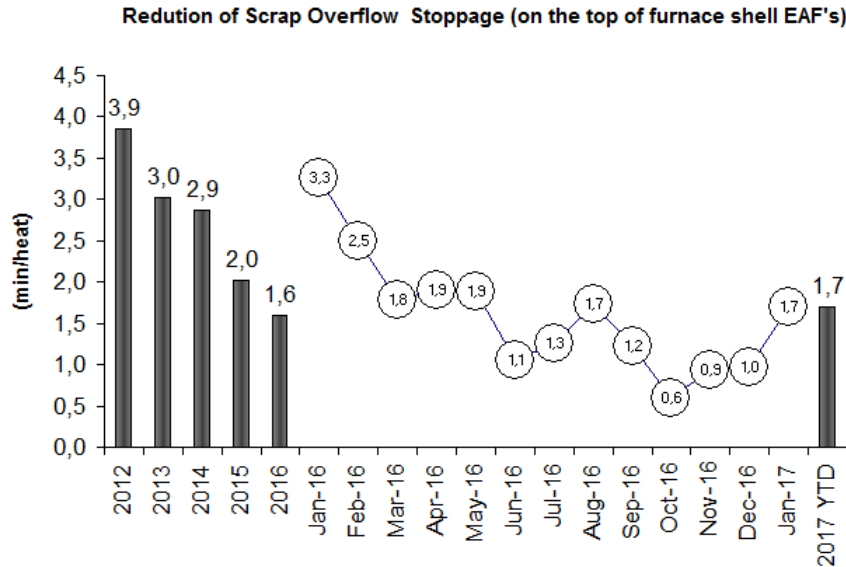


Figura 8 – Redução do tempo médio de paradas por engaiolamentos dos fornos

### 3.3 - Evolução da produtividade dos fornos

Finalizada a padronização do programa de potência, houve o incremento da produtividade dos fornos, conforme previsto no projeto. A figura 9 apresenta a evolução do indicador.

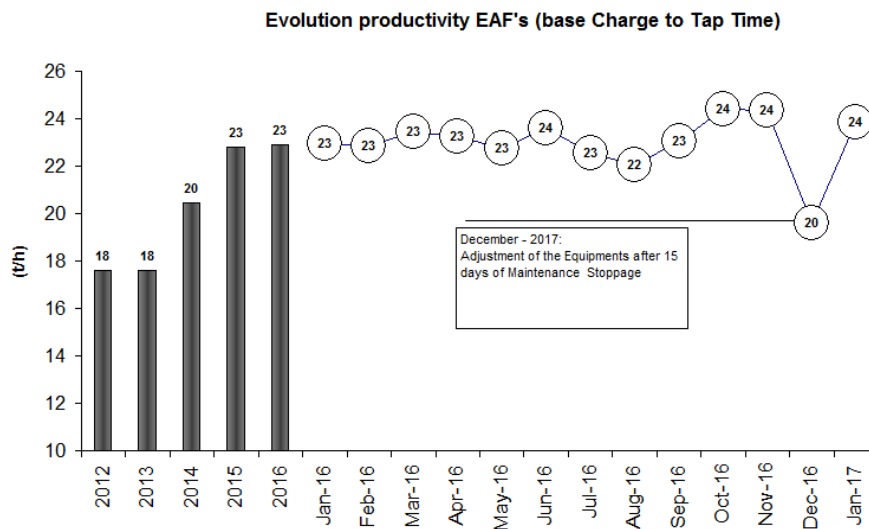


Figura 9 – Evolução da produtividade dos fornos - Base CTT

### 3.4 - Evolução do Consumo de sucata ligada do aço série austenítica

Como a evolução da performance dos equipamento após o projeto, possibilitou-se um aumento de 13% no consumo de sucata liga na produção dos aços austeníticos no qual os fornos elétricos são mais demandados.

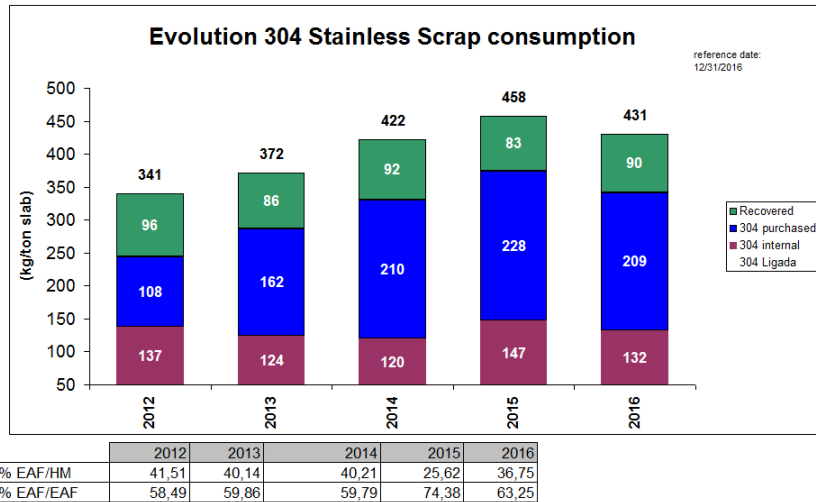


Figura 10 – Evolução do consumo de sucata aços austeníticos

### 3.5 - Evolução do consumo de energia elétrica e eletrodos

Após padronização do programa de potências nos fornos, houve a redução do consumo de energia elétrica conforme previsto no projeto. Considerando apenas a redução promovida pela modificação no programa de potência, tivemos uma redução de 7% no consumo de energia elétrica e eletrodo em relação a 2013. Esta redução promoveu uma economia de 2554 MWh/ano e 985 toneladas/ano de eletrodo de grafite, correspondentes a KR\$ 3700 por ano.

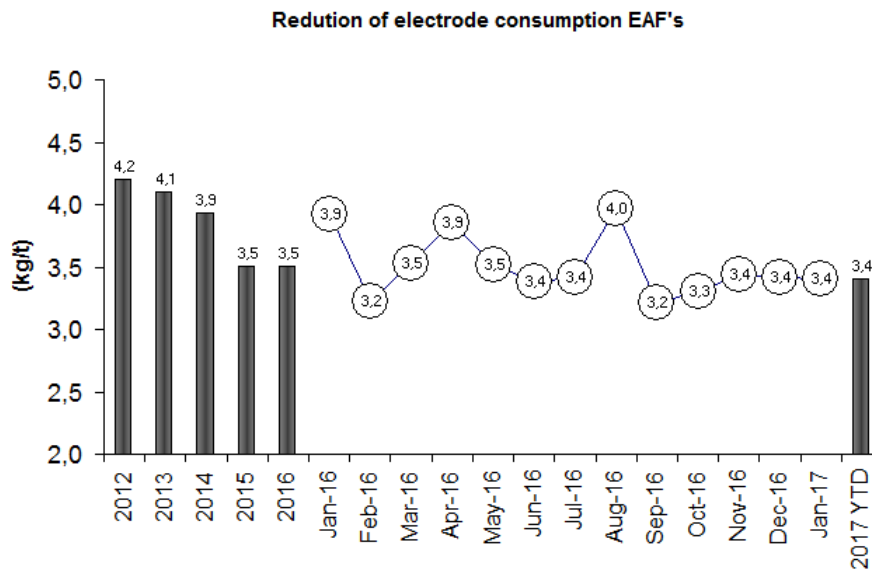


Figura 11 – Evolução do consumo de eletrodo



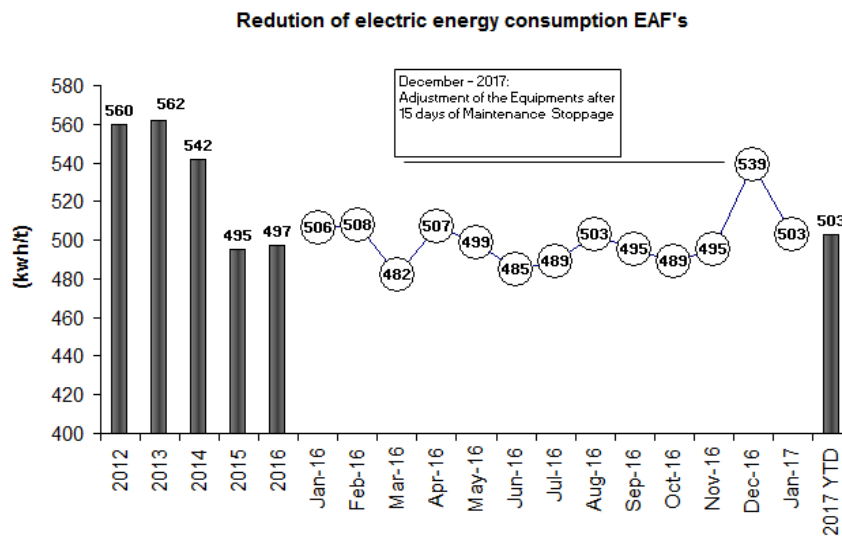


Figura 12 – Redução do consumo de energia elétrica

#### 4- CONCLUSÕES:

O forno elétrico a arco é dos equipamentos mais versátil para produção de aço e representa o principais processos para reciclagem de sucata. A Aperam South America Timóteo possui dois fornos elétricos, dedicados à produção dos aços inoxidáveis, onde praticamente 90% da sucata de inoxidáveis gerada na planta é reciclada neste processo, com o adicional de sucata adquirida no mercado de inoxidáveis.

O trabalho desenvolvido para a melhoria da parametrização elétrico dos fornos elétricos da Aperam South America proporcionou:

- 1- Redução de tempo de forno ligado
- 2- Redução de set up para desengaiolamentos dos fornos
- 3- Redução do consumo de energia elétrica
- 4- Redução do consumo de eletrodos

Com os benefícios de processo obtidos, capturamos aproximadamente kR\$ 3700 por ano.

Uma das maiores contribuições deste projeto, foi a estabilidade operacional, melhor seqüenciamento da aciaria com a eliminação de set up e conhecimento para o time que se dedicou a este projeto. Valores estes incalculáveis.

## REFERÊNCIAS

Alameddine, S., Bowman, B., Paege, S., Stafford, P. Innovative Solutions for Lowering the Conversion Cost of Steel in Arc Furnaces. 41º Seminário Internacional de aciaria. Pag 54 a 71. Resende – R.J, 2010.

Cândido, F. S, Passos, S. R. M, Silva, D. J, Fernando, Chevrand, L. A participação do consumo de eletrodos no modelo de programa de potência do FEA – AC – UHP 50 t. 41º Seminário Internacional de aciaria: Pag 201 a 209. Resende – R.J, 2010.

Coimbra, D.L. Fornos Eétricos da ArcelorMittal Timóteo. Programa Curso para Técnicos. Timóteo, 2008.

Nascimento, C. C. Modelamento do Rendimento Metálico de Forno Elétrico. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense – UFF. Rio de Janeiro, 2008.

Nolasco-Sobrinho, P.J. Reciclagem de Poeira e Lama Geradas na Fabricação de Aço Inoxidável. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 2004.

Silva, J. N. A., Estudo Teórico e Experimental do Efeito do Ciclo Térmico no Painel Refrigerado de Forno Elétrico a Arco. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná – EFP. Paraná, 2014.

Sollero, R. B., Penido, Lima, A. G. G., Ross, R. P., Valvano, E., Modelagem de Fornos a Arco para Estimativa de Flutuação de Tensão. Seminário Nacional de produção e transmissão de energia elétrica. Foz do Iguaçu – PR, 1999