

FACULDADE DOCTUM DE JOÃO MONLEVADE  
INSTITUTO ENSINAR BRASIL – REDE DOCTUM DE ENSINO

REDUÇÃO NO CONSUMO DO OXIGÊNIO E GÁS NATURAL EM UM FORNO DE  
REAQUECIMENTO DE TARUGOS DE UMA LAMINAÇÃO

Neimar Alcântara Linhares\*

Alain Viana de Araújo Júnior\*\*

RESUMO

Este artigo propôs alternativas que permitirão reduzir o consumo de O<sub>2</sub> e GN em um forno de reaquecimento de tarugos de um laminador de fio máquina em uma usina siderúrgica (quando forem implementadas). Com isso, é preciso saber quais medidas precisam ser implementadas para a redução no consumo de GN e oxigênio? Diante disso, o objetivo deste trabalho foi estudar, no setor de laminação de fio máquina de uma siderúrgica, a redução no consumo de dois recursos energéticos utilizados em um forno de reaquecimento de tarugos, o oxigênio e o gás natural, pois, ambos têm alta influência e impactam diretamente no preço final do produto acabado. Estabeleceu-se os seguintes objetivos específicos, analisar o processo de reaquecimento de tarugos de um forno, verificar o histórico de consumo dos energéticos através das ferramentas da qualidade e sugerir possíveis melhorias a serem utilizadas no processo. A justificativa para realizar este trabalho está associada à redução do consumo dos combustíveis, uma vez que, eles podem contribuir significativamente para a elevação dos custos de produção. Para atingir os objetivos propostos realizou-se um estudo de caso e constatou-se que o consumo desses combustíveis se elevou ao se comparar com os anos de 2015 e 2016. Por meio do *brainstorming* levantou-se as possíveis causas e possíveis melhorias para otimizar o processo de reaquecimento de tarugos, sendo constatado que existem diversos fatores que tem contribuído para a diminuição da qualidade desse equipamento, como a falta de treinamento e vazamentos.

Palavras-chave: Reduzir. Consumo. GN. O<sub>2</sub>. Qualidade. Melhoria.

---

\* Bacharelado em Engenharia de Produção da Faculdade Doctum; e-mail: [n130682@hotmail.com](mailto:n130682@hotmail.com)

\*\*Engenheiro de Produção, Prof. Orientador, e-mail: [alainjunior@gmail.com](mailto:alainjunior@gmail.com)

## 1 INTRODUÇÃO

Com os avanços tecnológicos nas últimas décadas o mercado tem se tornado mais competitivo e dinâmico para as empresas. Para que elas estejam em constante desenvolvimento e se mantenham à frente dos seus concorrentes é necessário buscar formas de fazer diferente, saber inovar, mas acima de tudo, oferecer seu produto final com o menor custo e gerando menos insumos. Dessa forma as empresas se destacam dos seus concorrentes, pois, a organização passa a se manter no mercado de forma competitiva e cada dia produzindo mais, gastando menos, aumentando assim sua lucratividade. O aço está presente no dia a dia das pessoas, em diversos locais, sendo utilizado em diversas ocasiões, dessa forma, esse material é tão comum que muitas vezes se torna invisível. Os aços são empregados em restaurantes, cozinhas industriais, hospitais, laboratórios, empresas em geral, residências e, devido à boa resistência, é utilizado na fabricação dos mais variados utensílios domésticos, na construção civil, enfim, em incontáveis aplicações.

Esses materiais são fabricados nas siderúrgicas, passando por processos em alto forno, aciaria, dentre outros, dependendo do tipo da indústria (integradas, semi-integradas). Um dos processos pelo qual o aço passa é a laminação, na laminação existem os fornos de reaquecimento de semi-produtos, instalados nas laminações de chapas grossas de tiras a quente e também nas usinas de produtos longos. Os fornos de reaquecimento desempenham um importante papel na área da laminação a quente, aquecendo os produtos intermediários, sejam eles placas ou tarugos, até torná-los suficientemente plásticos para o processamento subsequente. Para manter os fornos em funcionamento, é necessário utilizar grandes quantidades de energia. Com isso, é preciso saber quais medidas precisam ser implementadas para a redução no consumo de GN e oxigênio?

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi estudar, no setor de laminação de fio máquina de uma siderúrgica, a redução no consumo de dois recursos energéticos utilizados em um forno de reaquecimento de tarugos, o oxigênio e o gás natural, pois, ambos têm alta influência e impactam diretamente no preço final do produto acabado. Estabeleceu-se os seguintes objetivos específicos, analisar o processo de reaquecimento de tarugos de um forno, verificar o histórico de consumo dos energéticos através das ferramentas da qualidade e sugerir possíveis melhorias a serem utilizadas no processo.

Atualmente, a fonte de energia utilizada nos fornos de reaquecimento são combustíveis como, gás de alto forno (GAF), gás de coqueria (GC), gás de aciaria (GA), gás natural (GN), gás liquefeito de petróleo (GLP), gás misto (GM), óleo pesado, alcatrão e o oxigênio. Esses combustíveis são aproveitados dos variados processos produtivos existentes na própria siderúrgica ou adquiridos de empresas que os fabricam. Vale destacar que os combustíveis tem alto valor agregado no forno de reaquecimento de tarugos de uma laminação. Para reduzir o consumo desses dois recursos energéticos/combustíveis essenciais ao processo de reaquecimento de tarugos é necessário entendê-los melhor, avaliando a influência de cada um desses produtos na operação do forno. O oxigênio é capaz de enriquecer o ar da atmosfera tornando-a mais oxidante, este, é injetado dentro do forno, melhorando a relação de ar/gás. Assim obtêm-se uma melhor queima e caloria específica conforme especificado na norma para reaquecer as barras enforçadas no forno. Já o GN, por ter um poder calorífico maior, tem a capacidade de atingir altas temperaturas rapidamente, seu poder de queima é melhor do que o GAF, outro combustível gerado no processo da siderúrgica, seu custo é baixo quando comparado ao GN e ao oxigênio.

É aí que entra o Planejamento e Controle da Produção (PCP), por meio dessa ferramenta é possível realizar análises, formular planos de produção e de controle. Pensando na redução do consumo de tais combustíveis, será feita uma pesquisa aplicada, adotando o método de estudo de campo com abordagem quali-quantitativa e explorativa.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

O aço é uma liga metálica constituída basicamente de ferro e carbono, é aplicado em setores como da construção, automotivo e em diversos segmentos, na forma de barras, vergalhões, perfis, molas, dentre outros. Todo aço produzido vem inicialmente do processo de redução do minério de ferro e seus fundentes, onde é obtido o gusa líquido para fabricação do aço, que pode também ser obtido através do reaproveitamento de peças metálicas e sucatas diversas através do seu derretimento e a transformando em aço derretido (CHIAVERINI, 2008; COLPAERT, 2008). O aço

é produzido em uma aciaria, no qual, na fase líquida, recebe os componentes químicos de ligas conforme a necessidade e especificação do aço a ser produzido, em seguida o aço é lingotado e se solidifica em forma de tarugos, que são reaquecidos posteriormente em um forno de laminação para serem laminados (CHIAVERINI, 2008). O foco deste trabalho são os fornos de reaquecimento de tarugos para a laminação, esse estudo visa analisar este equipamento, bem como seu consumo energético (O<sub>2</sub> e GN), a fim de propor formas para diminuir o consumo desses combustíveis, como mencionado anteriormente.

## 2.1 Forno de reaquecimento de tarugos

O Forno de Reaquecimento de Tarugos é o responsável por reaquecer os tarugos até as temperaturas de laminação, é um dos principais equipamentos utilizados na laminação. É a primeira etapa da laminação, durante esse processo, os tarugos passam por diversos ciclos, desde o seu enformamento até a saída do mesmo para a linha de laminação (GONÇALVES, 2011).

O forno é de grande importância para o laminador e para a fabricação do produto final, esses fornos possuem grandes dimensões e ocupam boa parte da área física da laminação, o que inviabiliza a construção de um segundo forno na laminação. Os fornos trabalham, normalmente, com temperaturas entre 960°C à 1230 °C, dependendo do tipo de aço a ser reaquecido, por essa razão, os mesmos são revestidos de materiais refratários, protegendo assim sua estrutura e partes internas das temperaturas agressivas (SANTOS, 2013).

Existem dois tipos de fornos contínuos para reaquecimento de tarugos, o (pusher e walking beam)<sup>1</sup>, neste trabalho, o estudo foi realizado em um equipamento walking beam. Os fornos pusher são de uma tecnologia obsoleta/antiga, já o forno contínuo walking beam, são equipamentos com sistema de vigas móveis ou caminhantes e fixas. Esse forno trabalha de modo a subir suas vigas, levantando os tarugos e dando assim pequenos ciclos à frente e depositando-os novamente na soleira do forno, de forma a concluir os ciclos ao longo do comprimento do forno que

---

<sup>1</sup> Modelo de Forno de Reaquecimento de Tarugo usado em uma Laminação.

também é a sua capacidade máxima de tarugos, antes que se lamine essa barra (HAUCK; LAIA 2002).

De acordo com Carvalho (2003), no processo de combustão de um forno deve-se levar em consideração as seguintes variáveis: quantidade de calor fornecido pelo combustível; quantidade de calor recuperado pelo ar de combustão; quantidade de calor gerado pela combustão; quantidade de calor utilizado para aquecer a carga-calor útil; quantidade de calor perdido pelas paredes e aberturas de um forno; quantidade de calor contido nas fumaças após o recuperador; quantidade de calor fornecido pelo ar de entrada no recuperador e a quantidade de calor perdido pelas paredes do recuperador e dos condutos até o recuperador.

Para garantir a combustão completa é necessário ter um “excesso de ar”, de modo a manter um teor suficiente de oxigênio até o final da chama, superando assim, as deficiências de mistura do queimador (PINHEIRO; VALLE, 1995). Usualmente, é aconselhável uma atmosfera com um leve excesso de ar de combustão, na marca de 5 a 15% (1 a 2% de O<sub>2</sub> nos produtos da combustão), garantindo assim, a queima completa do combustível e proporcionar uma carepa de fácil remoção, apesar de favorecer o aumento de sua espessura (RIZZO, 2007).

## **2.2 Combustíveis utilizados nos fornos de reaquecimento de tarugo**

Hauck e Laia (2002) afirmam que os fornos de reaquecimento podem utilizar combustíveis líquidos e gasosos, dependendo da sua necessidade e projeto do mesmo. Os combustíveis gasosos utilizados em fornos de reaquecimento são gás de alto-forno (GAF), gás de Coqueria (GCO), gás de aciaria (GAC), gás natural (GN), gás liquefeito de petróleo (GLP) e gás misto (Mistura dos outros tipos de gás). E em relação aos combustíveis tipo oleosos, os mais comuns e utilizados são oleos pesados e óleos derivados de alcatrão. Esses combustíveis possuem particularidades específicas conforme sua composição química, forma de uso e ao poder calorífico de cada um. O forno estudado é operado utilizando o GN, O<sub>2</sub> e GAF.

A tabela 1 mostra a diferença do Poder Calorífico Inferior (PCI), a energia liberada na forma de calor durante a combustão, para cada tipo de combustível (HAUCK; LAIA 2002).

Tabela 1: Poder Calorífico Inferior característico para cada tipo de combustível

COMBUSTÍVEL	PCI PADRÃO (Kcal/Nm <sup>3</sup> )	FAIXA DE VARIÇÃO (Kcal/Nm <sup>3</sup> )	TEMPERATURA DE IGNIÇÃO (°C)
GAF	770	700 a 1100	700 a 800
GLP	27300	24000 a 30000	440 a 550
ÓLEO	9000	-	530 a 580
GN	9000	8700 a 9050	600 a 650

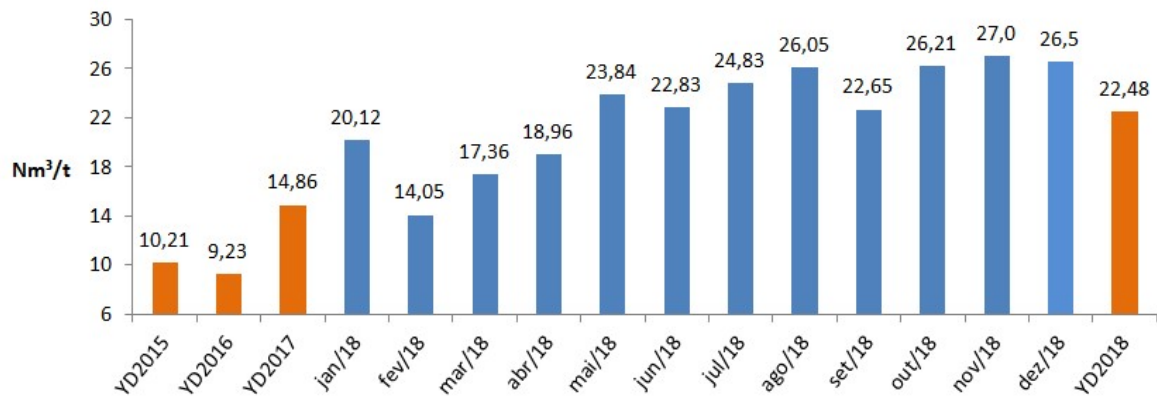
Fonte: Hauck e Laia (2002)

### 2.2.1 Oxigênio

O oxigênio tem uma grande diversidade de uso e aplicações, na siderurgia ele é usado em grande escala e em quase todos os processos produtivos das siderúrgicas. O oxigênio é utilizado nos fornos de reaquecimento de tarugos para aumentar o enriquecimento do ar de combustão, o mesmo é injetado junto com o ar de diluição, ele contribui para um menor consumo de combustível quando comparado com outros gases. A injeção do oxigênio com o ar de combustão traz como melhoria a produtividade e a economia de combustível, porém, ele pode custar caro dependendo da região, nesses casos, se o O<sub>2</sub> for usado abundantemente poder sair efetivamente caro (GONÇALVES, 2011).

O teor de oxigênio dentro de um forno de reaquecimento de tarugo deve ser controlado e não ultrapassar a concentração de 1,5% do seu teor, pois, pode provocar a descarbonetação do material, o excesso de carepas, além de tornar o ambiente interno do forno mais oxidante (RIZZO, 2007). A figura 1 ilustra o consumo de oxigênio em um forno de reaquecimento de tarugos, é possível observar que o consumo desse combustível tem aumentado consideravelmente nos últimos tempos, dessa forma, aumenta-se também os custos de produção.

Figura 1: Consumo de oxigênio em um forno de reaquecimento de tarugos



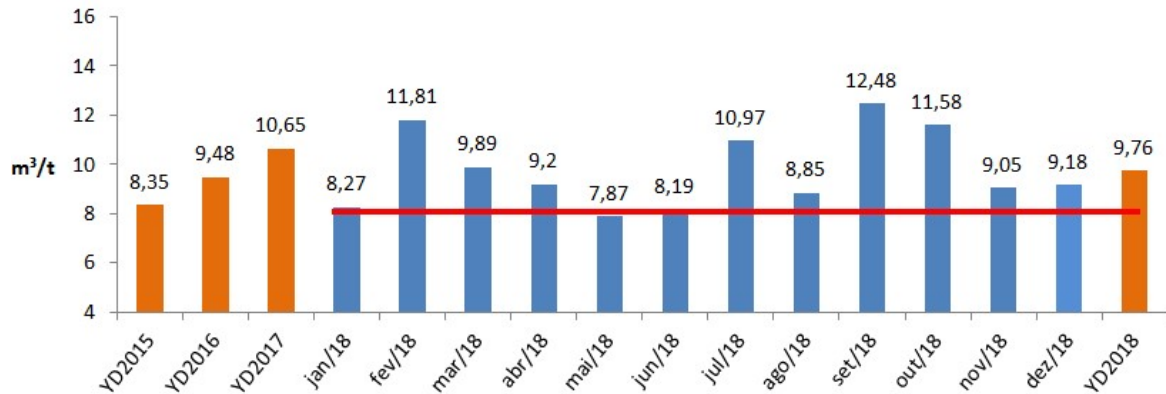
Fonte: Elaborado pelo pesquisador (2019)

### 2.2.2 Gás natural

De acordo com Poulallion (1986), o gás natural é um combustível fóssil não renovável, feito de uma mistura de hidrocarbonetos, contendo principalmente o metano (com mais de 70% da constituição do seu volume). O mesmo pode ser obtido através da decomposição de matéria orgânica por bactérias anaeróbias (sem presença de oxigênio). A composição do GN pode variar dependendo do poço de onde é extraído, assim sendo, seu Poder Calorífico Inferior pode variar.

Para efeito de cálculo considera-se o PCI pelo fato de que, nem toda energia existente no gás natural é efetivamente transferida durante o processo de queima. Parte da energia total disponível no gás natural é consumida para vaporização da água liberada durante o processo de queima, resultando apenas o PCI como o calor efetivamente aproveitável durante a queima. Por ser um gás com alto custo, as empresas restringem seu uso àquelas situações que realmente justifique tecnicamente e economicamente o seu uso (RIZZO, 2007). A figura 2 ilustra o consumo de gás natural em um forno de reaquecimento de tarugos, é possível observar que o consumo desse combustível oscilou bastante durante o período analisado, dessa forma, os custos de produção também oscilam e a empresa diminui seus lucros.

Figura 2: Consumo de gás natural em um forno de reaquecimento de tarugos



Fonte: Elaborado pelo pesquisador (2019)

### 2.3 Ferramentas da qualidade

As ferramentas da qualidade são um dos métodos mais empregados para solucionar problemas, sendo que eles são estruturados de modo a tornar a implementação da qualidade viável. Para isso utilizam-se procedimentos analíticos, numéricos e/ou gráficos, esquemas de funcionamento, formulações práticas, dentre outras coisas. Essas ferramentas têm como base as práticas e os conceitos estatísticos, sendo eles amplamente empregados para tal (FABRIS, 2014).

A vantagem de utilizar as ferramentas da qualidade é o fato de elas auxiliarem nas tomadas de decisão com base em dados coerentes do tema em estudo. Além disso, ela é essencial na implementação de melhorias, na coleta de dados e nas observações, uma vez que, permitem descobrir as causas raízes de um problema e como solucioná-los. Sendo que é possível avaliar as mudanças empregadas para a solução dos problemas, com isso, minimiza-se os custos dos produtos, de produção, além de aumentar a qualidade. As ferramentas da qualidade são empregadas em todos os níveis de planejamento, auxiliando na resolução de problemas, bem como a definição de metas. Porém, para que as ferramentas sejam eficientes é importante saber qual utilizar e como utilizá-la (FABRIS, 2014). A seguir são explicadas as ferramentas de gestão da qualidade empregadas neste artigo, que foi o *Brainstorming*, o Diagrama de Ishikawa e o Histograma.



O *Brainstorming* é uma ferramenta voltada a analisar a contribuição dos colaboradores, de forma espontânea, para a resolução de problemas ou a implementação de melhorias. Para isso várias pessoas são reunidas em grupo e fornecem ideias de como melhorar algo, o termo *brainstorming* significa tempestade de ideias, sendo esta muito empregada como um plano de ação colaborativo. Essa metodologia consiste em estimular a criatividade dos sujeitos de forma a explorá-los para a obtenção de ideias sobre um tema determinado previamente (STEFFEN, 2011).

Para que o *brainstorming* ocorra de forma eficiente é importante estar atento a algumas coisas como, não é permitido a oposição ou a crítica ao posicionamento de outra pessoa. Qualquer um da equipe pode expressar suas ideias e os seus pensamentos, nessa etapa é preciso valorizar a ideia de que quanto mais ideias, melhor. E, por fim, deve-se ter em mente que as opiniões e as ideias podem ser otimizadas (STEFFEN, 2011).

Os diagramas de causa e efeito ou o diagrama de Ishikawa ou o diagrama espinha de peixe são uma metodologia gráfica para avaliar a representação de vários fatores que exercem influência em um processo (causas) ou problema sobre o resultado de um processo ou de um dado problema que podem impactar o resultado em estudo. Esse diagrama permite identificar, ressaltar, explorar e mapear todos os fatores que influenciam em um determinado problema. Para isso, utilizam-se os 6 M's, que são as máquinas, as matérias-primas, os métodos, a mão-de-obra, o meio ambiente e as medidas, sendo que por através dessas causas secundárias e terciárias consegue-se identificar as causas de um problema. A vantagem desse método é a possibilidade de visualizar as possíveis causas de um problema, ampliando a visão sobre ele, bem como encontrar as soluções e as medidas para corrigir tais causas (STEFFEN, 2011).

O histograma é uma ferramenta da qualidade amplamente empregada na estatística, seu principal objetivo é descrever com qual frequência ocorrem variações no processo. A vantagem dessa metodologia é o fato de ela apresentar os dados de forma a facilitar a sua visualização e o seu entendimento. Os histogramas podem ser apresentados no formato de um gráfico de barras, de modo que no eixo horizontal tem-se intervalos menores que representam a variável desejada. Concomitantemente a isso, a barra vertical precisa ser construída proporcionalmente à quantidade de observações do pesquisador (FABRIS, 2014).

### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO

A empresa siderúrgica, foco deste trabalho, atua no mercado interno e externo no segmento de fio-máquina. Esse tipo de aço é utilizado em finalidades específicas, por exemplo, em cordoalhas para concreto protendido, lãs e palhas de aço, molas para veículos e equipamentos, cabos diversos, arame de solda elétrica, eletroeletrônicos, parafusos, pregos, vergalhões da indústria da construção civil, dentre várias outras aplicações.

A empresa está estrategicamente situada, próximo da capital mineira (Belo Horizonte) e não muito distante da região conhecida como o Vale do Aço, possui uma grande possibilidade de transportar seu produto final, seja por rodovias, como também por ferrovias, dando vazão a seus produtos, fazendo-os chegar nos principais portos e cidades do Brasil e do mundo.

A visão da empresa é: “ser a produtora de aço mais admirada do mundo – a referência global no setor”. A missão da usina é: “ser líder inquestionável no setor de aço”. As estratégias da empresa são: consolidar mercados relevantes; excelência industrial e liderança de mercado; melhoria contínua focada no desenvolvimento sustentável do negócio.

As filosofias da empresa são: segurança é prioridade máxima; multiculturas e ética; visão de longo prazo; orientação para o melhor desempenho; busca da agilidade e da sustentabilidade; trabalho em equipe. Os compromissos da usina são: superar a criação de valor esperada pelos *stakeholders*<sup>2</sup>; gerar valor para os clientes; fazer da empresa um lugar entusiasmante para trabalhar.

### 4 METODOLOGIA

A pesquisa realizada foi classificada como uma pesquisa aplicada, pois, gerou conhecimento para aplicação prática, de acordo com Gil (2010) a pesquisa prática é empregada quando são gerados conhecimentos pensando em aplicá-los em situações específicas.

---

<sup>2</sup> É um dos termos utilizados em diversas áreas como gestão de projetos, comunicação social administração e arquitetura de software referente às partes interessadas que devem estar de acordo com as práticas de governança corporativa executadas pela empresa.

Já em relação à natureza da pesquisa, ela foi classificada como quali-quantitativa, já que optou pela coleta e análise dos dados. Marconi e Lakatos (2011) afirmam que a pesquisa qualitativa analisa os fatos com base em aspectos aprofundados, fornecendo análise detalhada dos conteúdos. Já a pesquisa quantitativa se baseia em dados estatísticos na análise e na coleta dos dados, permitindo mensurar algo. Para tanto, o conjunto de pesquisa foi o forno de reaquecimento de tarugos de um setor de laminação de uma siderúrgica e a amostragem foi realizada com base em duas fontes que seriam usadas para comparação.

Neste trabalho adotou-se a pesquisa exploratória, uma vez que se optou em analisar o processo operacional de um forno, equipamento de uma siderúrgica, mais especificamente a redução do consumo do GN e Oxigênio de um forno de reaquecimento de tarugos, processos de uma etapa de uma laminação a quente de fio máquina. Vergara (1998) afirma que as pesquisas exploratórias são realizadas em áreas de conhecimento pouco exploradas, não comportando hipóteses que porventura possam vir a surgir ao longo da pesquisa.

Neste entendimento, a pesquisa aqui explanada foi um estudo de caso, foram analisados dados de em um período específico, sob situações também específicas e que se utilizaram de poucos dados para análise. Ventura (2007) afirma que o estudo de caso se baseia em poucos dados, mas que direcionam a como e ao porquê de uma investigação.

Os dados foram coletados no *software* de controle chamado PIMS<sup>3</sup>, em relatórios de anos anteriores do consumo de GN e O<sub>2</sub>. Os seguintes dados foram coletados, dados do consumo de GN e Oxigênio, observando todas as informações de consumo e gasto, dados de melhores desempenhos a fim de economizar os recursos energéticos, além de ideias (*brainstorming*) para avaliar as possíveis causas do excesso de consumo dos energéticos e sugestões para possíveis melhorias.

Com esse propósito, para o tratamento, a avaliação e a análise dos dados coletados, utilizou-se o *software* MS Excel, a partir de gráficos (histograma, o diagrama de Ishikawa) fundamentados pelos entendimentos básicos do controle estatístico do processo – CEP. De acordo com Marconi e Lakatos (2011) “os métodos estatísticos propiciam alcançar, de grupos importantes, representações simples e confirmar se essas verificações simplificadas têm relações entre si”.

---

<sup>3</sup> Plant Information Management System – Sistema de Gerenciamento de Informação da Planta.

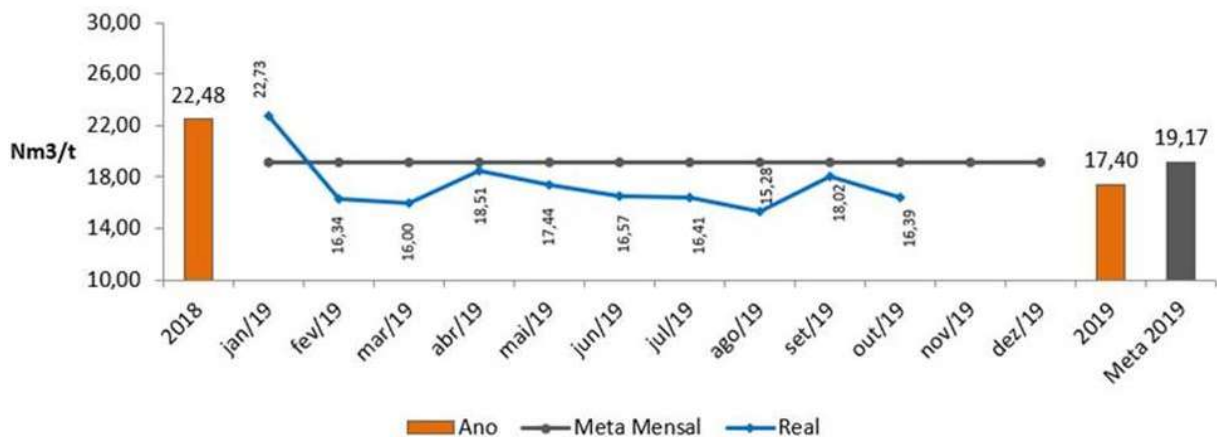
## 5 PESQUISA E ANÁLISE DE DADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos para esta pesquisa.

### 5.1 O histórico de consumo de energéticos

Analisando a figura 3 é possível observar o consumo de oxigênio no forno de reaquecimento de tarugos no ano de 2019 em metros cúbicos por toneladas ( $m^3/t$ ). Nessa figura é possível observar que o consumo de oxigênio em 2018 foi de 22,48  $m^3/t$  (barra laranja), sendo que a previsão para consumo em 2019 é de 20,57  $m^3/t$  (barra cinza), indicando uma redução de 9,5% em relação ao ano anterior. É possível observar ainda que há uma linha indicando a meta mensal (cinza), que é de 20,57  $m^3/t$ , ou seja, deseja-se consumir, no máximo essa quantidade de oxigênio para atingir a meta estipulada para o ano. É possível observar ainda uma linha azul representando o consumo real de oxigênio no forno de reaquecimento de tarugos. Essa linha mostra que em todos os meses do ano, exceto em janeiro e até o mês de outubro o consumo de oxigênio foi abaixo da meta projetada. Se a tendência de consumo continuar nessa mesma linha, possivelmente a meta de 20,57  $m^3/t$  será atingida facilmente.

Figura 3: Consumo de oxigênio em um forno de reaquecimento de tarugos em 2019



Fonte: Elaborado pelo pesquisador (2019)

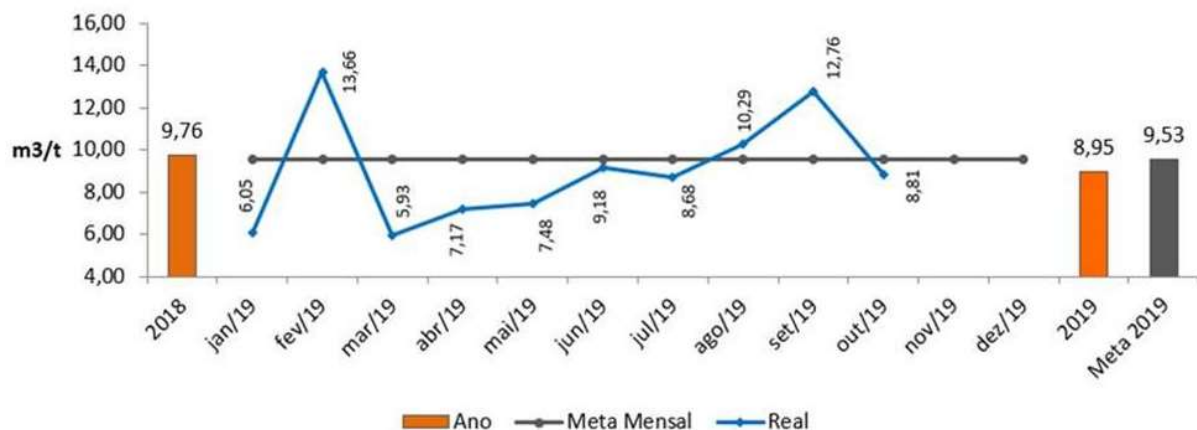
Comparando os dados da figura 3, com os dados da figura 1, que representam o consumo de oxigênio para o mesmo forno de reaquecimento de tarugos, é possível

constatar que em relação aos anos de 2015, 2016 e 2017 houve um aumento do consumo desse combustível quando comparado com os anos de 2018 e 2019.

Assunção (2011) afirma que a elevação da concentração de oxigênio no ar do sopro faz com que a temperatura da chama se eleve. Porém, o aumento do teor de oxigênio no ar do sopro se torna indesejável, uma vez que, o oxigênio é caro, além de gerar outros problemas como a descarbonetação, com isso, elevam-se os custos de produção, diminuindo a lucratividade das empresas. Por isso, é preciso buscar outras formas de aumentar a temperatura das chamas com um custo mais acessível sem perder em produtividade, sendo que isso pode ser alcançado utilizando o gás natural.

Observando a figura 4 onde é possível ver o consumo de gás natural no forno de reaquecimento de tarugos, que foi objeto deste estudo, até o mês de outubro de 2019 em metros cúbicos por toneladas ( $m^3/t$ ). Esse gráfico mostra ainda que no ano de 2018 o consumo desse combustível foi de  $9,76 m^3/t$  (barra laranja). Para o ano de 2019 a empresa espera reduzir o consumo deste insumo para  $9,53 m^3/t$  (barra cinza), representando uma diminuição de 3,4% em relação ao ano anterior. Observa-se também a linha cinza, que indica a meta mensal ( $9,53 m^3/t$ ), que aponta o máximo a ser consumido pelo forno em cada mês para alcançar a meta anual. Nessa figura há ainda a linha azul, indicando o consumo real de gás natural pelo forno até o mês de outubro, apenas nos meses de fevereiro, agosto e outubro o consumo de combustível foi acima da meta, com um gasto de 13,66%, 10,29% e 12,72%.

Figura 4: Consumo de gás natural em um forno de reaquecimento de tarugos em 2019



Fonte: Elaborado pelo pesquisador (2019)

Ao se comparar os dados da figura 4, com os dados da figura 2, que mostra o consumo de gás natural para o mesmo forno de reaquecimento de tarugos (estudado neste trabalho), nota-se que o consumo de 2018 e o previsto para 2019 estão abaixo do consumo desse combustível em 2016. Porém, nos anos de 2015 e 2016 o uso de gás natural foi menor quando comparado com os três períodos mencionados anteriormente.

Gorni *et al.* (2000) estudaram o balanço energético do forno de reaquecimento e constataram que o gás natural exerce uma contribuição significativa no reaquecimento, sendo que cerca de 81% do aporte térmico foi oriundo desse combustível. Os autores afirmam ainda que ao se diminuir a vazão desse combustível a temperatura e os fumos de combustão diminuem, sendo que há uma queda na contribuição do pré-aquecimento do ar de combustão. Isso reflete diretamente na economia de consumo de gás natural, diminuindo o custo desse insumo em R\$ 0,11 por tonelada.

## **5.2 Possíveis melhorias para o processo**

O *brainstorming* contribuiu significativamente para o levantamento das possíveis causas e soluções para a melhoria do processo, esses dados podem ser observados com mais detalhes no Anexo A, presente no final deste trabalho. Por meio do diagrama de causa e efeito foi possível definir quais seriam as melhorias mais importantes a serem implementadas no processo. A seguir são discutidas algumas causas mais relevantes para o autor associadas ao tema. Um relato dos colaboradores é a falta de treinamento específico com profissionais especializados e que dominam o assunto. Uma possível solução para resolver tal problema é a contratação de um profissional especialista, de modo que este possa capacitar os colaboradores, ensinando-os a manusear o forno e propor soluções eficientes para minimizar o consumo de combustíveis como gás natural e oxigênio.

Outro ponto abordado pelos colaboradores se refere ao vazamento de gás natural e de oxigênio no forno combustol e nas tubulações de combustível. As soluções para esses problemas seria a substituição da tubulação e a realização de manutenções periódicas a fim de evitar tais problemas. Outro relato dos colaboradores

foi o fato de os equipamentos estarem desatualizados, tanto nos seus programas para controlar o forno, como do equipamento em si, pois, refratários estão gastos e quebrando. Por isso, sugeriu-se atualizar o equipamento de modo a fazer com que este melhore a sua *performance*, que também está diretamente associada ao consumo de combustíveis como gás natural e oxigênio.

Lanius (2010), afirma que as melhorias nos fornos de reaquecimento de tarugos permitem otimizar a eficiência energética dos equipamentos, não sendo preciso realizar altos investimentos, na maioria dos casos. De acordo com o autor as melhorias simples permitem obter resultados expressivos, porém, as mais complexas e caras são necessárias para acompanhar a evolução e a diminuição do consumo de combustíveis nos fornos.

## **5.2 Melhorias que serão implementadas no processo e seus impactos**

Depois de analisar os dados acerca do consumo de oxigênio e gás natural no forno da empresa siderúrgica realizou-se o *brainstorming* para levantar as possíveis melhorias a serem implementadas no processo. Após isso a empresa resolveu automatizar o sistema supervisor do forno a fim de que seja possível obter uma mistura equalizada e homogênea dos combustíveis utilizados no forno de reaquecimento.

Essas mudanças estão previstas para ocorrerem em dezembro de 2019 e, além da automatização do sistema supervisor serão realizadas atividades como substituição do revestimento térmico com mantas térmicas em tubulações de ar quente e de gás, com isso será possível diminuir as perdas térmicas do processo que contribuem indiretamente na redução do consumo de combustível.

Outra atividade a ser realizada é a troca das tubulações antigas e desgastadas, que também contribuem para o aumento das perdas térmicas e do consumo de combustível. Válvulas reguladoras de vazão e alguns queimadores também serão substituídos devido ao seu desgaste excessivo, que tem contribuído significativamente para o baixo desempenho do forno.

Outras possíveis soluções não puderam ser levantadas devido ao fato de a modernização do forno ser um assunto confidencial, não foi possível obter dados

precisos sobre o valor e os custos desse processo. A empresa não forneceu também dados precisos acerca de quanto combustível será economizado, nem o preço desses insumos no mercado. Porém, o autor fez uma estimativa aproximada com base em alguns dados disponíveis que fornecem informações sobre o valor a ser economizado com cada combustível por ano na siderúrgica.

A empresa consome mais de 25 mil metros cúbicos de gás natural por mês, sendo que ela adquire o gás natural a 2,031 (dados da Gasmig<sup>4</sup>). Observando os dados apresentados na figura 4 sabe-se que em 2018 consumiu-se 9,76 metros cúbicos por tonelada e até outubro de 2019 8,95 metros cúbicos por tonelada, o que representa uma economia de 0,81 metros cúbicos por tonelada. Sabendo que a empresa produziu 400 mil toneladas de aço de janeiro a outubro de 2019 basta multiplicar esse valor pela quantidade a ser reduzida (0,81 metros cúbicos por tonelada) e o preço do metro cúbico do gás (2,031 por metro cúbico). Isso representa uma redução de R\$ 658.173,60 reduzindo abaixando o consumo de gás natural.

A siderúrgica espera reduzir o consumo de gás natural em 1,5 metros cúbicos por tonelada com a automação do sistema supervisorio e com a manutenção do forno. Ao somar a redução obtida no ano com a redução estimada após a atualização do forno de reaquecimento a empresa irá economizar 2,3 metros cúbicos de gás por tonelada. Partindo da ideia que a produção anual da empresa é de 480 mil toneladas por ano, ela irá economizar R\$ 2.252.416,32.

Quanto ao oxigênio, essa matéria prima tem um custo estimado de aproximadamente R\$ 1,00, observando a figura 3 é possível constatar que em 2018 foram consumidos 22,48 m<sup>3</sup> desse combustível, até outubro de 2019 foram consumidos 17,40 m<sup>3</sup> desse gás, o que representa uma redução de aproximadamente 5,08 m<sup>3</sup> de oxigênio por tonelada de aço produzido. Sabendo que até outubro de 2018 a siderúrgica produziu 400 mil toneladas de aço e sabendo que o valor do metro cúbico de gás é de R\$ 1,00, foi possível economizar R\$ 2.032.000,00 antes de automatizar o forno.

Após automatizar o forno espera-se que o consumo de oxigênio seja diminuído em 1,5 m<sup>3</sup> por tonelada de aço produzido. Diante disso, a empresa terá uma redução no consumo de oxigênio total de 6,58 m<sup>3</sup>. Com isso serão economizados por ano (considerando que a empresa produz 480 mil toneladas de aço por ano)

---

<sup>4</sup> Referência para a obtenção do gás natural de uso geral. Disponível em: <http://www.gasmig.com.br/NossosServicos/Industrial/Paginas/Tarifas.aspx>



R\$3.158.400,00. Ao se somar a economia após a automatização do forno a empresa economizará R\$ 5.410.816,32 por ano. Isso demonstra que a ideia sugerida para a empresa resultará em uma grande economia ao processo produtivo no que se refere ao consumo de gás natural.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As possíveis medidas a serem implementadas para a minimização do consumo de GN e O<sub>2</sub> se referem à modernização do equipamento, bem como a realização de capacitação e a manutenção periódica do forno de reaquecimento de tarugos. O objetivo de reduzir o consumo desses combustíveis só pode ser alcançado começando utilizando os requisitos citados anteriormente.

O reaquecimento de tarugos foi analisado por meio da revisão bibliográfica, na qual foi possível conhecer o forno e o processo de reaquecimento de tarugos. Conheceu-se também os combustíveis gás natural e oxigênio, bem como eles atuam no forno, contribuindo para o reaquecimento dos tarugos. A verificação do histórico do consumo de energéticos se deu analisando o consumo de oxigênio e gás natural no forno de reaquecimento de tarugos, notou-se que o consumo de oxigênio em relação aos anos de 2015, 2016 e 2017 foi mais baixa quando comparado com o ano de 2018 e a meta estipulada para 2019. Comportamento semelhante foi observado no consumo de gás natural, exceto para o ano de 2017 que teve o maior consumo desse combustível.

Através do *brainstorming* foi possível levantar as possíveis causas e possíveis soluções para melhorar o reaquecimento de tarugos, foi possível constatar que a desatualização e os vazamentos são as queixas mais relatadas pelos colaboradores. Para solucionar esses problemas deve-se realizar investimentos para atualizar os equipamentos, além de realizar manutenções periódicas no equipamento. Uma hipótese para justificar o aumento do consumo desses combustíveis pode estar associada aos vazamentos, porém, para realizar essa constatação e comprovar isso é preciso realizar um estudo mais aprofundado. Foi possível constatar ainda que com a modernização prevista para o forno a empresa irá economizar cerca de R\$ 2.252.416,32 somente com a redução no consumo de gás natural. No que se refere

ao consumo de oxigênio, após a modernização do forno de aquecimento a empresa irá economizar R\$ 3.158.400,00 por ano. Dessa forma, após a implementação das melhorias sugeridas pelos colaboradores e a modernização do forno a empresa irá economizar R\$ 5.410.816,32 por ano com a compra de combustíveis.

## **REDUCTION IN OXYGEN AND NATURAL GAS CONSUMPTION IN A LAMINATION TURNAL HEATING OVEN**

### **ABSTRACT**

*This paper proposed alternatives that will reduce the consumption of O<sub>2</sub> and NG in a billet reheat furnace of a wire rod mill in a steel mill (when implemented). Thus, it is necessary to know what measures need to be implemented to reduce the consumption of NG and oxygen? Therefore, the objective of this work was to study, in the steel wire rolling industry, the reduction in the consumption of two energy resources used in a billet reheating furnace, oxygen and natural gas, since both have high influence and directly affect the final price of the finished product. The following specific objectives were established: to analyze the process of reheating billets in a furnace, to verify the energy consumption history through the quality tools and to suggest possible improvements to be used in the process. The justification for this work is associated with the reduction of fuel consumption, since they can contribute significantly to the increase of production costs. To achieve the proposed objectives, a case study was conducted and it was found that the consumption of these fuels increased when compared to the years 2015 and 2016. Through brainstorming raised the possible causes and possible improvements to optimize the fuel consumption. Billet reheating process, and there are several factors that have contributed to the decrease in the quality of this equipment, such as lack of training, leaks, among other things.*

*Keywords: Reduce. Consumption. GN. O<sub>2</sub> Quality. Improvement.*

### **REFERÊNCIAS**

ASSUNÇÃO, C. S. Redução do consumo de oxigênio em um alto-forno a partir do aumento da eficiência energética dos aquecedores de ar. **Tecnol. Metal. Mater. Miner.**, v. 8, n. 2, 2011.

FABRIS, C. B. **Aplicação das ferramentas da qualidade em um processo produtivo em uma indústria de ração**. 2014. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica, Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

CARVALHO, S., R. **Desenvolvimento de um Modelo Matemático e Computacional de um Forno de Recozimento**. 2003, 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos: características gerais**, tratamentos térmicos, principais tipos. 8. ed. São Paulo: ABM, 2008.

COLPAERT, H. **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns**. São Paulo: Blucher, 2008.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 7. Ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GONÇALVES, Eduardo Sérgio da Silva. **Modelo de simulação em tempo real de um forno de reaquecimento de tarugos para laminação**. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica) Belo Horizonte - MG, 2011.

GORNI, Antônio Augusto *et al.* Comparação entre abordagens para o modelamento matemático do perfil térmico de placas durante seu reaquecimento. **Revista da Escola de Minas**. Jul.set. 2000.

HAUCK, Gustavo Acácio Corrêa, e Levi Lopes LAIA. **Fornos de Reaquecimento**. São Paulo - SP: ABM - Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2002.

LANIUS, C. E. P. **Redução do consumo de gás natural em forno de reaquecimento de tarugos de aço**. 2010. 29 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia Científica**. 12. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

MASIERO, Tiago Slomp. **Implementação de uma metodologia para sequenciamento de lotes econômicos de produção em empresa do setor siderúrgico**. Monografia (Especialização em Engenharia de Produção e Transportes) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2008.

OLIVEIRA, André Albuquerque Bittencourt de. **Inventário das emissões atmosféricas na indústria siderúrgica** Monografia (Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

PINHEIRO, Paulo Cesar; VALLE, Ramon Molina. **Controle de combustão: otimização do excesso de ar.** 1995. Disponível em: <http://www.geocities.ws/paulocpinheiro/papers/excesso.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2019.

POULALLION, P., **Manual do Gás Natural.** Brasília-DF, CNI/COASE, 1986.

RIZZO, Ernandes Marcos da Silveira. **Processos de laminação dos aços: uma introdução.** São Paulo - SP: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2007. 254 p.

SANTOS, H. S. O. **Minimização do custo energético de um forno de reaquecimento de tarugos utilizando algoritmos genéticos.** 2013. 76 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática e Computacional) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

STEFFEN, R. F. **Análise da implantação do macroprocesso do crédito tributário como uma ferramenta de redução de custos e otimização da receita tributária.** 2011. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Administração) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

VERGARA, S. C. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração.** 2. ed. São Paulo: Atlas, 1998.

VENTURA, M. M. O estudo de caso como modalidade de Pesquisa. **Revista SOCERJ**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 5, 2007.

## APÊNDICE

### POSSÍVEIS CAUSA E POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA MELHORAR O PROCESSO

POSSÍVEL CAUSA	POSSÍVEL SOLUÇÃO
Falta de treinamento específico com profissional da área/especialista em fornos de reaquecimento de tarugos	Buscar no mercado especialista para ministrar treinamento aos forneiros para reciclagem/novos conhecimentos no assunto!
Maçaricos de área ligados direto até em paradas grandes.	Desligar os maçaricos em paradas de montagem a acidentes com mais de 1 hora.
Janelas de inspeção empenadas, não fechando	Fazer a troca e ou melhorar a manutenção
Vazamento em algumas tubulações de oxigênio e GN.	Realizar inspeção rigorosa nas tubulações
Queimadores desregulados	Contratar empresa para fazer regulagem
Problemas de válvulas de queimadores de Ar/Gaf emperradas e difusores danificados	
Válvulas dos queimadores do Forno emperradas, dificultando ajustes de vazão dos gases/ar	* Trocar válvulas dos queimadores; * Regular válvulas/queimadores para obter uma vazão homogênea dos Gases/combustíveis.
*Aquecimento do Ventilador de ar devido esforço do mesmo	Instalar um segundo ventilador para amenizar o aquecimento do atual eliminando o risco de desligamento do forno quando necessário uma maior injeção de ar no forno.
Forno com tecnologia obsoleta	Modernização do forno e de equipamentos.
Vazamento de gás próximo ao forno combustol	Trocar ou fazer reparo de várias tubulações de gás ao longo do forno, pois as mesmas se encontram com vários furos e são bem antigas.
PLC obsoleto e sem recursos	Trocar PLC do forno combustol, adquirir um modelo mais novo!
Trocadores de calor de ar e de gás, com sua vida útil no fim! Pouca eficiência na troca de calor!	Inspecionar condição do trocador de calor ou trocar o mesmo caso constatado que o mesmo não esteja sendo eficaz!
Tubulação de combustível (O2 e GN) com vazamento!	Realizar inspeção e troca nas tubulações de O2 e GN.
Sistema controle do forno desatualizado.	Modernizar PLC do forno, junto com o sistema de instrumentação)
Queimadores do forno obsoletos	Estudar trocas dos queimadores por modelos mais modernos e eficientes.
Rever situação de válvulas e condições de chegada da pressão real do GN e O2, reduzindo o consumo específico destes energéticos	Trocar componentes e válvula na distribuição dos energéticos nos queimadores, para poder trabalhar o mais próximo do consumo real
Queimadores desregulados	Realizar regulagem de todos os queimadores do forno com empresa especializada.
Maçaricos acesso não sendo utilizado na área, mantendo os mesmos acessos com a laminação parada.	Verificar periodicamente na área os maçaricos que estão acesos desnecessariamente.

Refratários do forno com poder de retenção de calor fraco ou má qualidade.	Realizar estudo e aquisição de refratários e revestimentos térmicos de maior eficiência e eficaz!
Refratários do forno quebrando e soltando/caindo dentro do forno.	Adquirir refratários de melhor qualidade.
Tubulação de ar quente e gás de AFA sem isolamento térmico adequado perdendo temperatura ao longo do seu trajeto até o forno.	Inspeccionar toda a rota da tubulação de ar quente e GAF da saída do trocador de calor até o forno e refazer isolamento térmico da tubulação
Programação de tarugos com barras de aço de grupo 2 e grupo 4 sendo enforcada fazendo reduzir o forno e aumentar em seguida para atender normas de temperatura dos grupos dos aços.	Fazer uma programação de enforcamento respeitando os grupos de temperatura dos aços ao invés de enforar barras separadas de grupos diferentes de temperaturas.
Excesso de ciclos vazios no forno, ao longo do tempo pode danificar os refratários e demais componentes do forno com o desgaste prematuro!	Fazer programação em consenso com a GACTQ para disponibilizar barras suficientes evitando ciclos vazios desnecessários por falta de barras ou por programação que não atende a norma de enforcamento.
Maçarico da mesa giratória em constante funcionamento	Fixar isqueiro com corrente próximo do maçarico da mesa de uso coletivo, assim o conjunto do oxi-corte pode ser ligado de imediato quando necessário.
Forno perdendo temperatura com frequência	Parar para reaquecimento sem pressão para laminar.

Fonte: Elaborado pelo pesquisador (2019)