

# SISTEMA DE ANÁLISE DE IMAGEM PARA CONTROLE DE COMBUSTÃO PRAXAIR'S OPTIVIEW™\*

*Tiago Ribeiro Costa<sup>1</sup>  
Pedro Athias Zagury<sup>2</sup>  
Pablo Pacheco da Gama<sup>3</sup>  
Enderson Silva Gomes<sup>4</sup>  
João Paulo Silva<sup>5</sup>  
Vitor Zanotelli<sup>6</sup>*

## Resumo

Controle de combustão e a injeção suplementar de O<sub>2</sub> são utilizados em fornos rotativos basculantes de alumínio (TRFs) para tratar períodos de evolução de compostos orgânicos voláteis (COV) nos gases de exaustão / chama. Sucatas revestidas e oleadas são as fontes típicas de material orgânico que queimam de forma imprevisível ao longo da corrida dentro do TRF. As perdas de energia e as emissões são um desafio para as fundições de alumínio secundário. O sistema de análise de imagem OPTIVIEW™ da Praxair automatiza o controle de combustão modulando as taxas de combustível e oxigênio do queimador e a injeção suplementar de oxigênio no TRF usando o monitoramento de chama em tempo real. O sistema minimiza a ocorrência de excedências de CO e reduz a intervenção dos operadores. Essa tecnologia foi implementada com sucesso no TRF da Aluminiola Estrella na Espanha. Fatores-chave como taxa de fusão, eficiência de combustível e emissões são discutidos. Os dados operacionais antes e depois da implementação validam a eficácia da solução inovadora da Praxair para os TRFs. Este mesmo sistema pode ser usado em outros tipos de fornos, como o forno a arco elétrico (EAF) por exemplo.

**Palavras-chave:** Controle de Combustão; Forno Rotativo de Alumínio; Pós-Combustão; Análise de Emissão de Chama.

## PRAXAIR'S OPTIVIEW™ IMAGE ANALYSIS SYSTEM FOR ENHANCED COMBUSTION CONTROL

### Abstract

Combustion control and supplemental O<sub>2</sub> injection into aluminum tilting rotary furnaces (TRFs) are used to address periods of high volatile organic compounds (VOC) evolution in the exhaust gas/flame. Coated and oiled scraps are the typical sources of organic material that burn unpredictably over the course of the heat within the TRF. Energy losses and emissions issues are a challenge for secondary aluminum smelters. Praxair's OPTIVIEW™ Image Analysis System automates combustion control by modulating burner fuel and oxygen rates and supplemental oxygen injection into the TRF using real-time flame monitoring. The system minimizes the occurrence of exceedances of CO and reduces demands on operators. This technology was successfully implemented at Aluminio la Estrella's TRF in Spain. Key factors such as melt rate, fuel efficiency, productivity and emissions are discussed. Operational data before and after implementation validate the effectiveness of Praxair's innovative solution for Al TRFs. This same solution can be used in other types of furnace as Electric Arc Furnace (EAF) for example.

**Keywords:** Combustion Control; Aluminium Rotary Furnace; Post-combustion; Flame Image Analysis Emissions.

- <sup>1</sup> Técnico e Engenheiro Mecânico, Gerente de Aplicações e Processos, Clientes On Site, White Martins Gases Industriais Ltda, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- <sup>2</sup> Engenheiro Metalúrgico, Gerente de Tecnologias e Aplicações, Clientes On Site, White Martins Gases Industriais Ltda, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- <sup>3</sup> Técnico e Engenheiro Mecânico, Engenheiro de Aplicações e Processos, Clientes On Site, White Martins Gases Industriais Ltda, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- <sup>4</sup> Engenheiro Metalúrgico, Gerente de Aplicações e Processos, Clientes On Site, White Martins Gases Industriais Ltda, Belo Horizonte, MG, Brasil.
- <sup>5</sup> Engenheiro Químico e Mestre em Engenharia Térmica, Gerente de Aplicações e Processos, Clientes On Site, White Martins Gases Industriais Ltda, Belo Horizonte, MG, Brasil.
- <sup>6</sup> Engenheiro Químico, Gerente de Aplicações e Processos, Clientes On Site, White Martins Gases Industriais Ltda, Belo Horizonte, MG, Brasil.
- <sup>7</sup>

## 1 INTRODUÇÃO

Processos de combustão para fundição de sucata por batelada podem produzir monóxido de carbono (CO) altamente variável e emissões de compostos orgânicos devido às mudanças no forno ao longo da corrida. Um exemplo é a operação de Fornos Rotativos (TRFs), amplamente utilizados para processar diferentes tipos de sucata de alumínio. Estes materiais podem conter óleos de operações de corte, graxas e tintas com alto grau de combustão. No entanto, a energia disponível dessas fontes de compostos orgânicos pode ser perdida pela chaminé se eles queimam imprevisivelmente ao longo da corrida sem o controle adequado do volume de oxidante injetado para queimarem completamente dentro do forno. Baixa disponibilidade de oxigênio para queima resulta em fuligem (fumaça) e altas emissões de compostos orgânicos.

Somente a medição de combustível e ar ou oxigênio para os queimadores não pode ser usada para calcular e garantir a estequiometria de combustão apropriada e a demanda de oxigênio. Isto porque temporariamente há uma quantidade desconhecida de combustível no forno até que todos os hidrocarbonetos tenham sido volatilizados a partir da sucata. O ajuste inadequado da energia total de entrada para o processo impacta dramaticamente a produtividade.

O oxigênio suplementar para combater as emissões de hidrocarbonetos pode ser fornecido através de diferentes métodos, tais como: aumentando o fluxo de ar para o forno, injeção usando lanças de oxigênio ou aumentando a relação comburente / combustível no queimador. Muitas vezes, essas soluções são apenas aberturas cronometradas das válvulas de controle de fluxo para o forno, tipicamente realizada pelo operador do forno. Este tipo de controle é altamente dependente da experiência do operador que deve identificar alterações visuais na intensidade da chama de exaustão, que normalmente indica a presença de excesso de combustível não queimado no gás de combustão.

Soluções sofisticadas têm empregado medições de oxigênio ou monóxido de carbono através de analisadores de gases para controlar o excesso de oxigênio. Porém devido à alta quantidade de fuligem no processo e ao uso como agente de fluxo, essas ferramentas de monitoramento de processo ficam caras, difícil de manter e geralmente introduz um atraso na ação da malha de controle, resultando em uma precisão quase impossível. A eficácia limitada dessas estratégias de controle acaba resultando em temperaturas de combustão mais baixas e períodos prolongados de matéria não queimada em última análise, dando menor eficiência do forno e menor produtividade.

O fato observado de que operadores experientes usavam variações de intensidade na chama de gás de exaustão do forno para determinar os momentos de alta volatilização de hidrocarbonetos, dirigiu os esforços da Praxair para investigar a eficácia da análise de imagem da chama para melhorar o controle de combustão em fornos rotativos. O novo sistema de análise de imagens OPTIVIEW™ da Praxair usa uma tecnologia de monitoramento de chama em tempo real para automatizar o controle da combustão através da modulação das vazões de oxigênio e combustível do queimador, bem como a injeção suplementar de oxigênio no forno. O esquema de um sistema típico do OPTIVIEW é mostrada na Fig. 1.

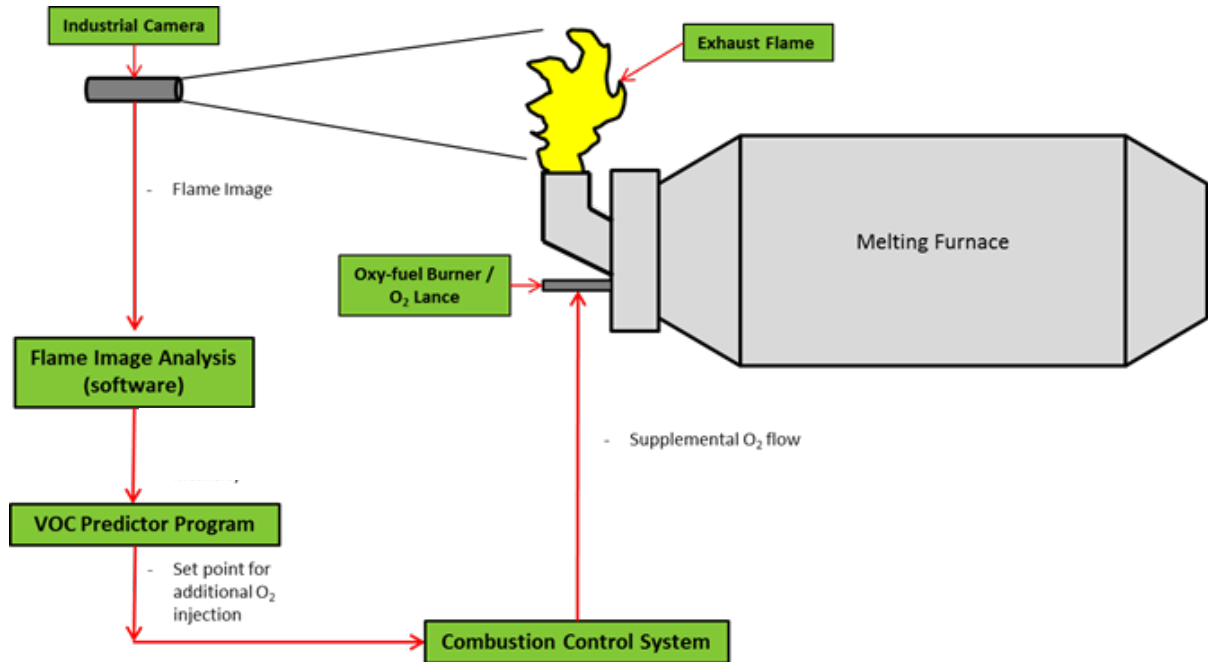


Fig. 1 esquema OPTVIEW System

## 2 Reprodução de Teste Conceitual em Escala Industrial

O primeiro passo do trabalho de desenvolvimento da tecnologia foi investigar o perfil da composição do gás em todo o ciclo de fusão e, ao mesmo tempo, capturar e analisar a imagem da chama de exaustão. Os dados coletados foram estudados para identificar a correlação entre a concentração de CO e os parâmetros obtidos a partir da análise de imagem da chama. O sistema de análise de gases de exaustão consistia numa amostragem de gás via sonda, equipamento de tratamento de amostras, analisador portátil de cinco gases e registrador de dados. A sonda de amostragem de gás estava temporariamente montada no topo da chaminé de exaustão que é parte da porta de carregamento do forno rotativo (Fig. 2) e conectada ao resto do sistema de análise para permitir a medição contínua e o registro dos dados durante todo o ciclo da corrida.



Fig. 2 Sonda de Amostragem no topo da chaminé do forno

Uma câmera industrial reforçada foi instalada no topo do coletor do gás de escape para monitorar continuamente a chama de exaustão e enviar o sinal de imagem via cabo Ethernet para o computador onde o software de análise de imagem gera vários parâmetros médios espaço-temporais para correlacionar com a concentração de CO no efluente gasoso.

Uma análise dos dados estatísticos foi realizada para investigar a robustez do uso da correlação dos gases de escape e dos parâmetros de imagem e seu potencial para ser utilizado como um método eficaz para controle automático do processo de combustão. A análise estatística confirmou a eficácia do ajuste ( $R^2$ ) – 95% e capacidade de previsão de CO ( $Q^2$ ) – 94% usando sete parâmetros de imagem. O gráfico da figura 3 resume esses resultados. A Figura 4 mostra o gráfico da série temporal com os parâmetros de imagem que foram encontrados para ser o melhor indicador de CO. Os resultados dos testes do conceito inicial em escala industrial confirmam uma forte correlação entre o parâmetro de imagem da chama e a concentração de CO efetivamente medida pelo gás de escape. Este resultado apoiou a decisão de avançar com a implementação do sistema OPTIVIEW para produção industrial na “Aluminiola Estrella TRF”, na Espanha.

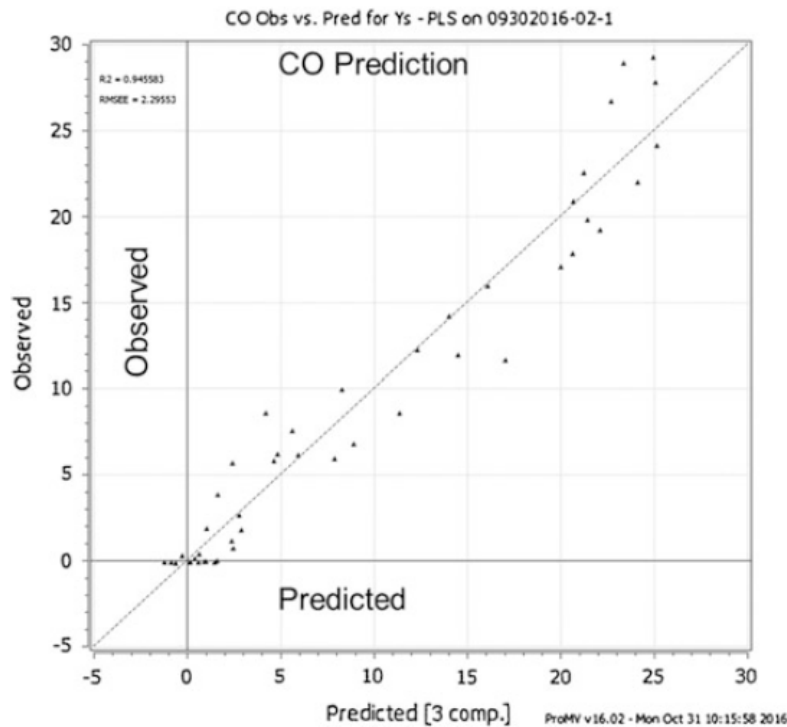


Fig. 3 Correlação da Imagem com o gás medido pelo analisador

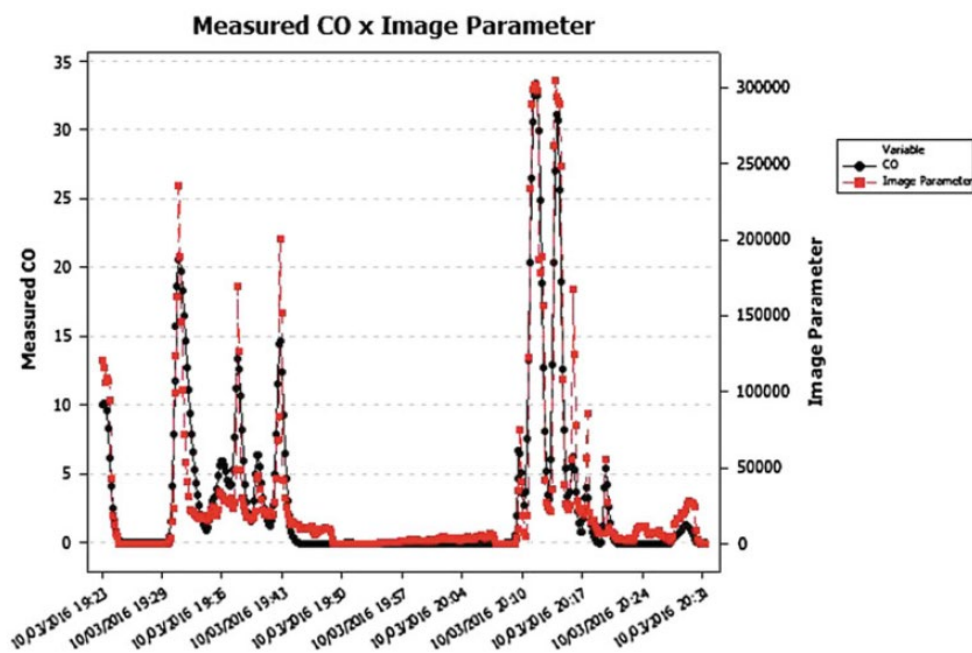


Fig. 4 Gráfico de tempo – CO Medido x Parâmetros de imagem

### 3Integração do Optview

O sistema de controle de combustão OPTIVIEW implementadona AluminiolaEstrella seguiu o lay-out do esquemamostrado anteriormente na Fig. 1. O sistema coleta dados do software de análise de imagem da câmera, processa esses dados junto com as entradas do usuário (limites, set-points de vazão, delays, etc.) e ajusta dinamicamente o processo para reduzirEmissões de CO.

Vários recursos operacionais são disponibilizados para os usuários para seleção e configuração, tais como: seleção de variáveis de controle, limites para partida, limites de parada, delay de válvula on-off, setpoint do fluxo de oxigênio e setpoint do fluxo de gás natural do queimador. Uma típica Interface Homem-Máquina (IHM) OPTIVIEW é apresentada na Fig. 5.

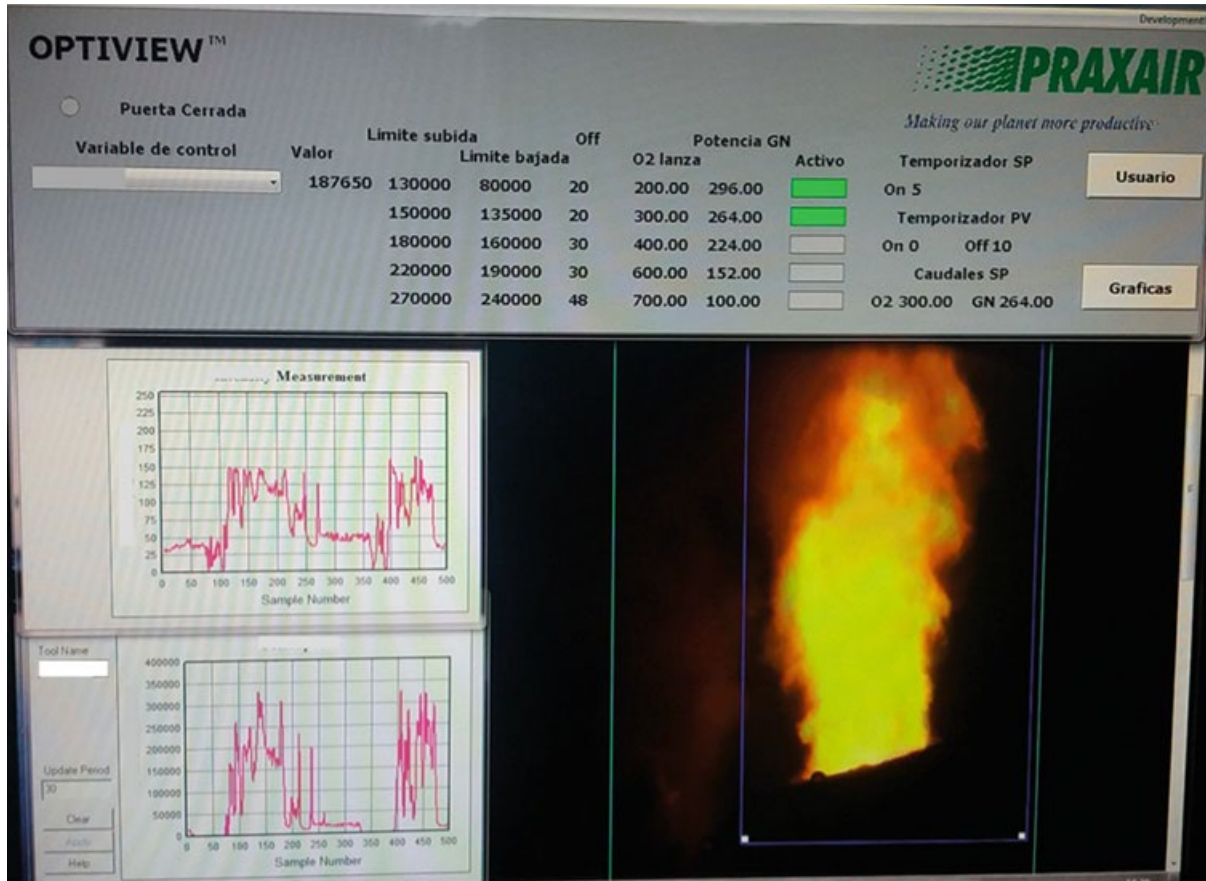


Fig. 5 IHM Optiview

### 3 Resultados e Discussão

Após a implementação do OPTIVIEW totalmente integrado ao sistema, dados operacionais de vários meses antes e após a instalação foram coletados e analisados. Significativa melhoria na operação do TRF foi observada particularmente em relação à produtividade e emissões. A figura 6 mostra passo a passo a mudança na taxa de fusão e duração da fusão. Em média, a taxa de fusão aumentou 11% devido ao sistema OPTIVIEW. Esta melhoria é um resultado da redução na duração da fusão em 0,6 h, ou seja, o tempo a partir do momento em que a primeira carga de sucata é carregada até o momento em que a corrida do alumínio do forno é transferida para um forno de espera antes da fundição.

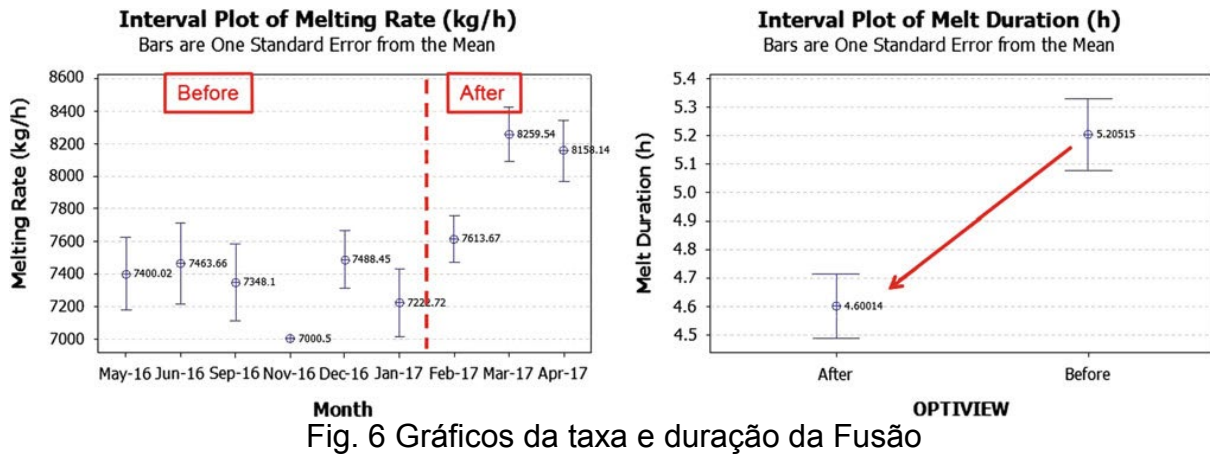


Fig. 6 Gráficos da taxa e duração da Fusão

Os efeitos do uso do gás de acordo com as mudanças na estratégia de controle de combustão podem ser vistas na Fig. 7. Antes de o sistema ser instalado a relação média de oxigênio para gás natural (ratio) usada durante todo o ciclo foi de 3,25, o que é bastante significativo dado que a relação estequiométrica de oxigênio para gás natural é perto de 2. A alta relação de partes de oxigênio para gás natural antes de o sistema OPTIVIEW ser instalado, demonstra a necessidade de compensar o fluxo excessivo de oxigênio para todo o forno para gerenciar as emissões.

Após a implementação da tecnologia, a proporção/ratio médio foi diminuído para 2,70. Uma melhoria de 17% frente ao valor anterior e representa uma grande redução no oxigênio necessário para derreter um lote de alumínio. A Figura 7 também mostra um padrão de emissões mensais mais estáveis sem diferença estatística na média diária de emissões de CO. Isso é consistente com a variabilidade de processo reduzida por virtude de controle automático de processo.

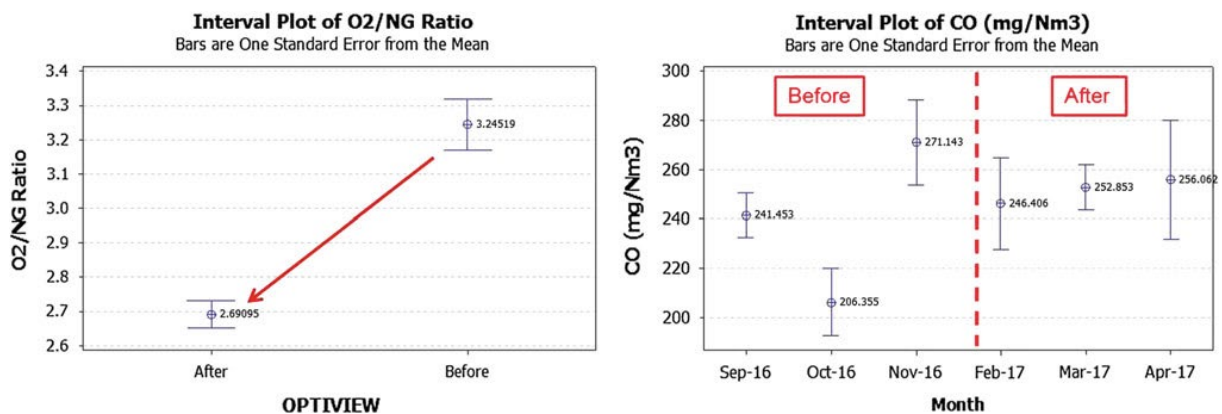


Fig. 7 Gráficos da relação de comburente e emissão de CO

## 4 CONCLUSÃO

A tecnologia discutida neste documento destaca o inovador uso da tecnologia de combustão com controle de oxigênio para resolver desafios de controle de emissões e processos. O Sistema de Análise de Imagem OPTIVIEW da Praxair foca no controle do fluxo de oxigênio e taxa de queima do queimador em processos de combustão com condições altamente variáveis durante a fusão de sucata. Usando as informações características da imagem da chama, o fluxo de oxigênio pode ser efetivamente adaptado às necessidades dos fornos no momento exato e na quantidade certa. O poder calorífico dos hidrocarbonetos provenientes da sucata



pode ser capturado e ser usado no forno de forma muito mais eficiente para reduzir o tempo do ciclo de fusão. Além disso, resultar em uma redução desejável de emissões de CO e hidrocarbonetos da fusão de sucatas no forno aliado a um fluxo de oxigênio otimizado e aperfeiçoada capacidade de produção.

O sistema foi operado com sucesso no forno da Aluminiola Estrella em Madrid, Espanha desde Janeiro de 2017. A baixa demanda de manutenção associada a este equipamento, o aumento significativo de produtividade, custo operacional reduzido e retorno rápido devido ao relativamente baixo custo de implementação (retorno de menos de um ano neste local) tornam o sistema OPTIVIEW um recurso desejável para a atualização para o alumínio rotativo.

Os resultados obtidos neste teste, deixam claras as oportunidades de implementação em diversos outros tipos de fornos de fusão de sucata bruta, como fornos de siderúrgicas semi-integradas. Na maioria desses fornos não há nenhum tipo de controle de oxigênio durante as etapas iniciais de fusão. Com o uso do OPTIVIEW, aliado a um sistema de injeção de oxigênio no forno pode se obter resultados significativos em redução de tempo de fusão, controle de emissões e até mesmo evitar problemas como superaquecimento do sistema de despoejamento durante etapa de fusão da sucata.

## REFERÊNCIAS

- 1 Valmiro Sa Neto, Joseph Maiolo, Kevin Albrecht, Bryan Bielec, Jorge Visús Pool, Joaquín de Diego Rincón, Daniel Bujeda Celma, Ignacio Parrilla Muñoz, e Juan Luis Suazo Tejeda. Praxair's OPTIVIEW™ Image Analysis System for Enhanced Combustion Control on Aluminum Tilting Rotary Furnace. 2017
- 2 © The Minerals, Metals & Materials Society 2018 O. Martin (ed.), Light Metals 2018, The Minerals, Metals & Materials Series, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-72284-9\\_134](https://doi.org/10.1007/978-3-319-72284-9_134)