

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA QUANTIFICAR O CONSUMO ESPECÍFICO DE PÓ FLUXANTE NO LINGOTAMENTO CONTÍNUO DE PLACAS*

Rodrigo Seara Martins¹
Leonardo José Silva de Oliveira²
Marcelo Moreira Furst Goncalves³
Roberto Parreiras Tavares⁴

Resumo

Os pós fluxantes estão continuamente sendo desenvolvidos para permitir que o processo de lingotamento contínuo possa gerar produtos de melhor qualidade superficial. Entretanto, a seleção e a avaliação do desempenho industrial desse insumo não são simples por envolver o conhecimento simultâneo de várias propriedades físico-químicas. Nesse sentido, desde que medido de forma adequada, o consumo do pó fluxante no molde é uma ferramenta útil para avaliar a estabilidade operacional. Assim, foi desenvolvido um sistema para quantificar o consumo específico dos pós fluxantes no molde para posteriormente correlacioná-lo com eventos que possam levar a desvios de qualidade superficial do produto lingotado.

Palavras-chave: Pó fluxante, Consumo específico, Sistema de medição.

DEVELOPMENT OF ONE SYSTEM TO QUANTIFY THE SPECIFIC CONSUMPTION OF MOLD POWDER IN CONTINUOUS CASTING

Abstract

Mold powders are in continuous development to allow the continuous casting process to manufacture products with high surface quality. However, the selection and evaluation of the industrial performance of this raw material is not easy because it involves the simultaneous knowledge of its different properties. In this sense, since properly measured, the mold powder consumption can be an useful tool to evaluate the operational stability. Thus, a system was developed to quantify the specific consumption of the mold powders in the mold to later correlate it with events that may lead to deviations of the surface quality of the slab.

Keywords: Mold Powders, Specific Consumption, Measuring System.

¹ Engenheiro Mecânico, Pós-Graduação em Metalurgia, Engenheiro de Produção Pleno, Gerência Técnica de Aciaria, Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais - Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

² Engenheiro Metalurgista, Mestre em Metalurgia Extrativa, Gerente de Pesquisa e Desenvolvimento de Processos, Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais - Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

³ Engenheiro Eletricista, Pesquisador Especialista, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento, Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais - Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

⁴ Engenheiro Metalurgista, PhD, Professor do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFMG, Membro da ABM, Belo Horizonte, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Os pós fluxantes são insumos fabricados a partir de uma mistura de óxidos com a adição de carbono, usados no processo de lingotamento contínuo do aço para promover a lubrificação da interface formada entre o molde e a placa em solidificação [1]. Além disso, os pós fluxantes devem controlar a transferência de calor, proteger a superfície livre do aço líquido no molde contra a reoxidação e a perda de temperatura, promovendo o isolamento térmico, além de absorver as inclusões remanescentes que flutuam no molde.

A escolha do tipo de pó fluxante depende da qualidade de aço a ser lingotado, das disponibilidades e condições operacionais de cada usina, de modo que a composição química varie de acordo com as propriedades almejadas [2]. Carbono também é adicionado ao pó fluxante, essencialmente, para o controle de sua taxa de fusão e, adicionalmente, devido a sua reação com o oxigênio, tende a prevenir a reoxidação do aço na região do menisco.

O pó fluxante é um insumo de muita importância para a qualidade final do produto e suas características físico-químicas devem ser conhecidas e ajustadas para um melhor desempenho no processo de lingotamento contínuo. Uma dessas propriedades é a taxa de fusão do pó fluxante. Essa taxa está diretamente ligada à formação da piscina de escória de pó fluxante líquido que, em quantidade suficiente, deve suprir o consumo entre placa de aço e o molde [3]. Se a velocidade de fusão for muito alta, a espessura de escória torna-se muito elevada diminuindo excessivamente a camada isolante do pó que a recobre, podendo promover um resfriamento da superfície do aço. Ocorrendo o contrário, baixa velocidade de fusão, diminui-se a quantidade de escória líquida disponível no menisco fazendo com que a lubrificação placa/molde fique comprometida.

Outra propriedade muito importante é a viscosidade. Ao lado das características de fusibilidade, a viscosidade assegura a adequada lubrificação da interface placa/molde, contribuindo para uma boa qualidade superficial das placas produzidas [4]. Esse parâmetro tem sido usualmente eleito para a otimização da lubrificação e infiltração de escória, bem como para evitar altas taxas de erosão na válvula submersa.

Tanto a taxa de fusão quanto a viscosidade são propriedades medidas em laboratório por diferentes métodos [5]. Entretanto, a correlação dessas propriedades com o desempenho industrial do pó fluxante no molde não é trivial, pois, além das características do insumo, parâmetros do processo devem ser considerados, tais como: características da oscilação do molde, velocidade de lingotamento e o consumo específico do pó fluxante no molde.

O consumo específico pode ser um meio útil e simples de avaliar o desempenho do pó fluxante no molde [6]. Ele pode ser considerado uma medida razoável da infiltração de pó fluxante na interface placa/molde e dar indicações sobre o comportamento de fusão do insumo [7]. O consumo é definido como a quantidade de insumo utilizada ao longo do processo de lingotamento para se produzir uma determinada quantidade de aço em um período de tempo previamente definido. Ele pode ser expresso de duas maneiras: em quilogramas por tonelada de aço líquido, geralmente denominado como Q_t [kg/tonelada], ou quilogramas por unidade de área de molde [kg/m^2], frequentemente denominada como Q_s .

Neste contexto, o presente trabalho visou desenvolver um método para quantificar o consumo de pó fluxante no molde, por meio de medições realizadas na área operacional.

2 DESENVOLVIMENTO

O pó fluxante utilizado no lingotamento contínuo é acondicionado em um reservatório conhecido como *bigbag* que é colocado sobre uma estrutura de metal que o sustenta durante o seu uso, conforme apresentado na Figura 1.



Figura 1. *Bigbag* com pó fluxante sendo colocado na estrutura de apoio na área de lingotamento contínuo.

O pó fluxante é então succionado, a partir da inserção de uma primeira mangueira inserida no *bigbag*, para um reservatório instalado na máquina de sucção. Essa, posteriormente, transfere o pó fluxante armazenado em seu reservatório para uma segunda mangueira que está posicionada sobre o molde de lingotamento contínuo, conforme apresentado nas Figuras 2 e 3.



Figura 2. Sistema de sucção do pó fluxante, onde se visualiza o *bigbag*, estrutura de apoio, mangueira de sucção e a máquina de sucção.

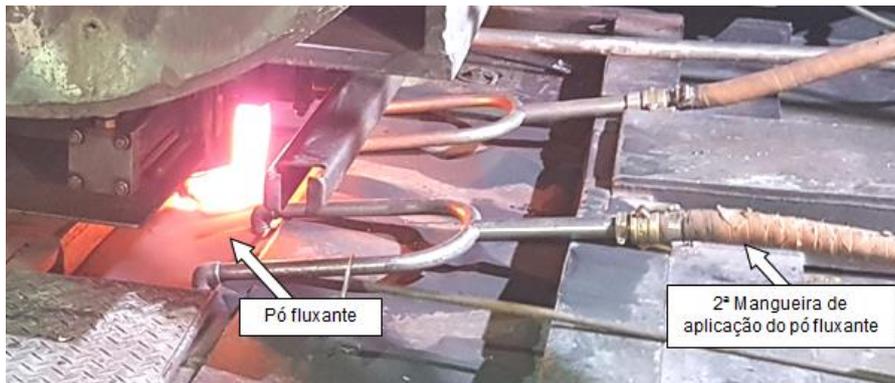


Figura 3. Aplicação de pó fluxante no molde de lingotamento contínuo.

2.1 Materiais e Métodos

2.1.1 Desenvolvimento do sistema de medição de consumo

Para medir o consumo de pó fluxante foi proposta uma metodologia que permita o monitoramento em tempo real durante o processo de lingotamento contínuo. Então, optou-se por transformar a estrutura de apoio do *bigbag* em uma balança de medição. Foram instalados quatro extensômetros biaxiais de 350 Ω em cada um dos pés de sustentação da estrutura de apoio do *bigbag*. Os extensômetros utilizados nessa aplicação são formados por dois sensores uniaxiais em uma mesma lâmina, sendo um sensor no sentido vertical e outro no sentido horizontal, conforme apresentado na Figura 4, totalizando oito sinais a serem medidos.

A partir dos extensômetros, é obtida a deformação sofrida pela estrutura em função da quantidade de pó fluxante no interior do *bigbag*.

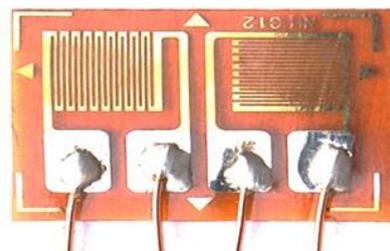


Figura 4. Extensômetro biaxial.

Na Figura 5 é apresentado um extensômetro colado em um dos pés da estrutura de apoio.



Figura 5. Extensômetro biaxial instalado no pé da estrutura de apoio do *bigbag*.

Para a aquisição dos valores de deformação gerada em cada um dos oito sensores foi utilizado um módulo condicionador de sinal, modelo NI 9236, específico para extensômetros uniaxiais de $350\ \Omega$. Este módulo possui oito canais de entrada, taxa de amostragem de até $10\ \text{kS/s}$, 24 bit de resolução, excitação interna de $3\ \text{V}$ e isolamento contra transiente até $1.000\ \text{Vrms}$. Na Figura 6 é apresentado o módulo NI 9236 e seu respectivo esquema elétrico.

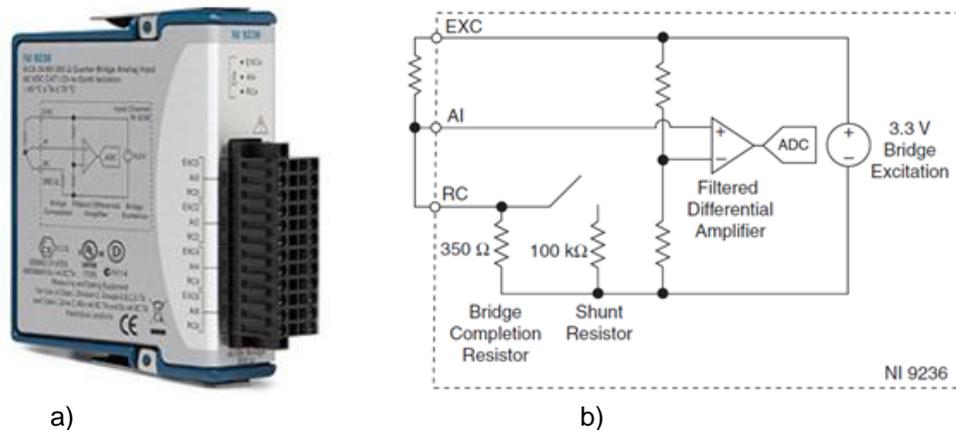


Figura 6. (a) Módulo condicionador de sinal NI 9236 e (b) esquema elétrico.

O módulo de condicionamento de sinal é conectado ao *rack* de aquisição de dados cDAQ 9191 que possui transmissão via *Ethernet* ou *wireless*. Na medição realizada para homologação, foi utilizada a transmissão dos dados via *Ethernet*. Na Figura 7 é mostrado esse módulo de transmissão de sinais.



Figura 7. Módulo cDAQ-9191 de transmissão de dados via rede *Ethernet* ou *wireless*.

O módulo, assim como todo o sistema de medição, foram instalados na face inferior da estrutura de apoio do *bigbag*, como é apresentado na Figura 8. Cada um dos pés de apoio possui um extensômetro. Assim, o extensômetro instalado no pé nº 1 (SG1) é composto pelo par H1-V1; no pé nº 2 (SG2), pelo par H2-V2; nº 3 (SG3), H3-V3; e

nº 4 (SG4), H4-V4, sendo que H se refere ao extensômetro horizontal e V ao vertical. Os extensômetros e o módulo cDAQ são alimentados por uma bateria de 12V.

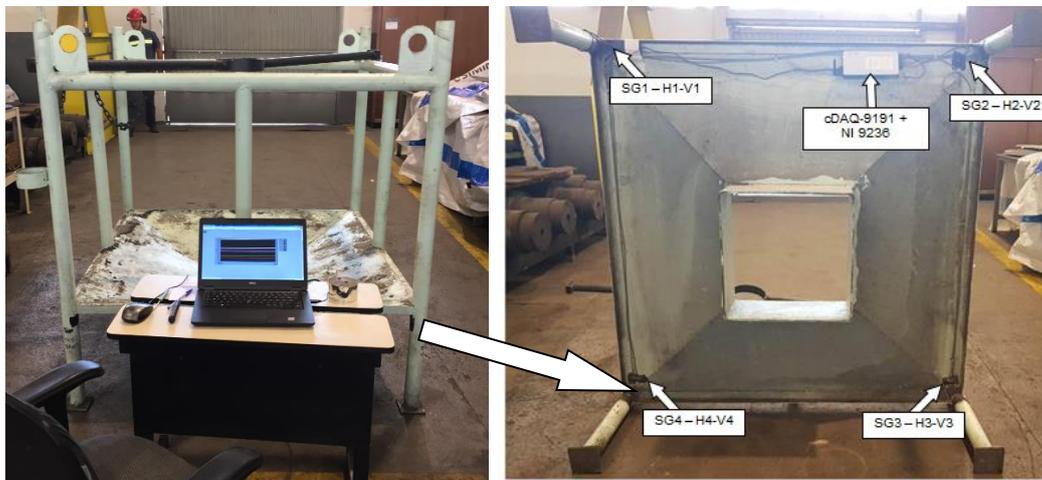


Figura 8. Sistema de medição instalado na face inferior da estrutura de apoio do *bigbag* com a localização dos extensômetros e do módulo de aquisição dos dados.

Para realizar a aquisição, processamento, apresentação e armazenamento dos dados de deformação, foi desenvolvida uma rotina específica para esta aplicação e instalada em um *notebook*. Na Figura 9 é apresentada a tela do sistema elaborado.

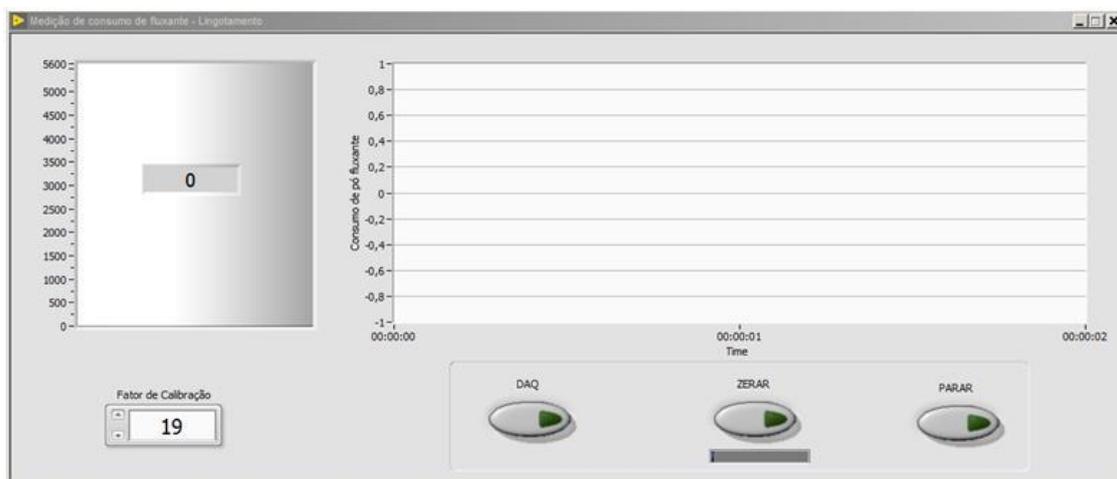


Figura 9. Tela do *software* desenvolvido.

O *software* realiza o processamento das informações dos extensômetros e apresenta o gráfico em toneladas consumidas durante o processo. Foi obtido um valor único de medição final, que considera a deformação de todos os extensômetros. Assim, para cada extensômetro (SG1, SG2, SG1 e SG4) é feita a medição da deformação horizontal e vertical. Dessa medição obtém-se a diferença entre elas em módulo ($|H_n - V_n|$) resultando em quatro valores, um para cada pé de apoio. Esses valores são somados, obtendo-se um único valor de deformação referente à estrutura. Esse valor é, ao final, multiplicado pelo fator de conversão obtido a partir da calibração do sistema. O valor final representa o peso medido em toneladas de pó removido do *bigbag*.

2.1.2 Simulação e calibração do sistema de medição em bancada

A verificação e calibração do comportamento do sistema de medição foram realizadas em laboratório, onde foi colocado sobre a estrutura um *bigbag* contendo 500 kg de pó fluxante embalados em pacotes de 10 kg, conforme mostrado na Figura 10.



Figura 10. *Bigbag* de pó fluxante posicionado sobre a estrutura para acondicionar o pó fluxante.

Após ter colocado o *bigbag* sobre a estrutura, foram retirados manualmente os pacotes de pó fluxante (contendo 10 kg) e colocado sobre uma balança, com intuito em verificar o peso de cada pacote e correlacionar com o valor medido pelo sistema em miliVolt (mV) com o valor em quilograma para cada pacote removido do *bigbag*. Na Figura 11 são mostrados os pacotes sobre a balança para conferência dos pesos e o painel da balança (*display*) com o peso encontrado referente aos 10 pacotes de pó fluxante e a Figura 12 a curva obtida pelo sistema durante este procedimento de calibração. Assim, sabendo-se que o extensômetro é um elemento com comportamento linear, foi obtido um fator de calibração igual a 18,5, sendo que cada mV de variação no sinal equivale a 18,5 kg de pó fluxante extraído do *bigbag*.

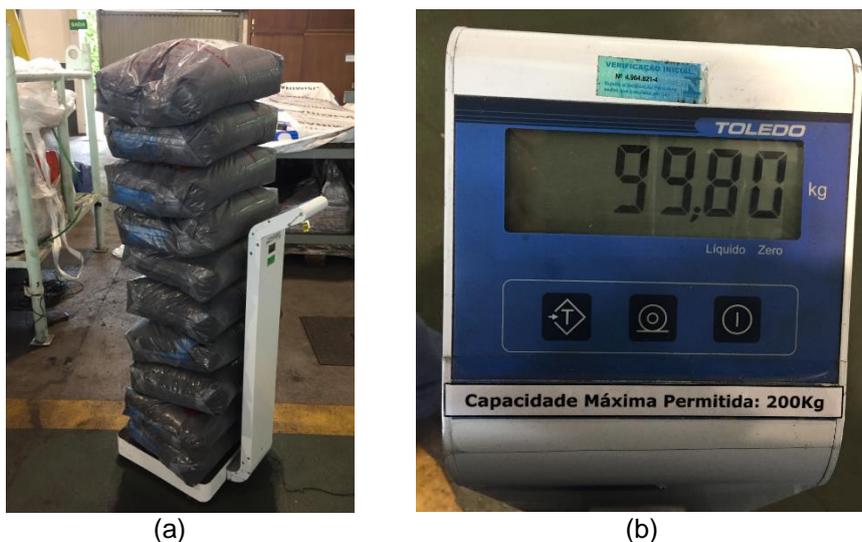


Figura 11. a) Balança com os pacotes de 10 kg de pó fluxante do tipo a granel e (b) peso registrado para os 10 pacotes de pó fluxante.

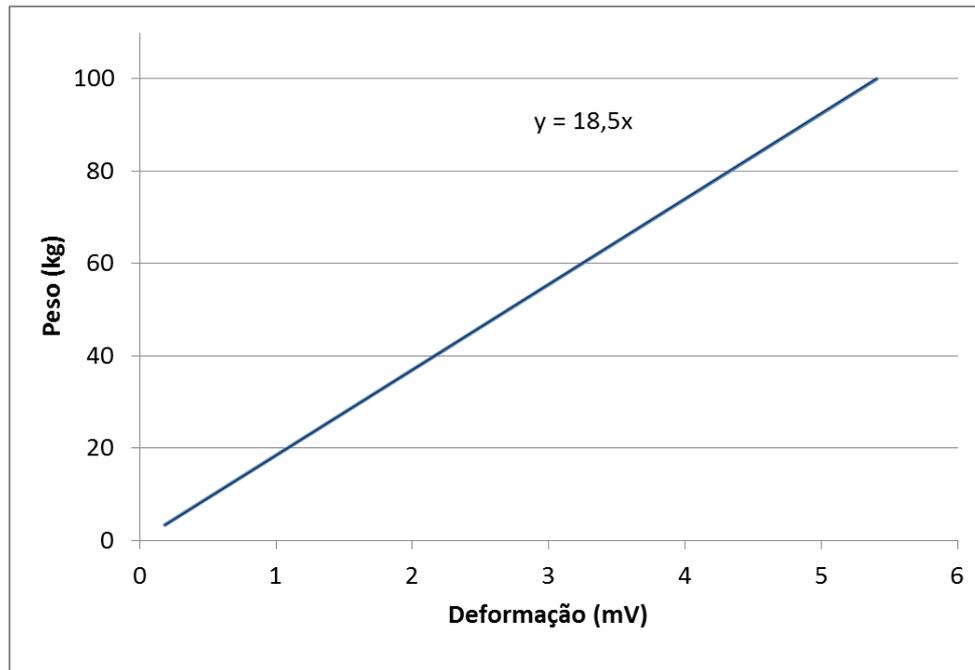


Figura 12. Curva de calibração do sistema, correlacionando o sinal dos extensômetros (mV) com o peso de pó fluxante (kg).

2.1.3 Modos de adições de pó fluxante

Há dois modos de adição de pó fluxante no molde, sendo uma automática, realizada através de uma máquina pré-programada e uma manual, realizada pela adição do pó fluxante no molde de lingotamento contínuo pelo próprio operador da máquina. Na adição automática, tem-se uma máquina com um silo acoplado que armazena o pó fluxante. Posteriormente, esse é transportado através de uma mangueira até chegar aos garfos de adição que ficam localizados sobre a superfície do aço no molde.

Na adição manual, o pó fluxante é retirado do *bigbag* através de baldes pelo colaborador e, posteriormente, é adicionado sobre uma tampa que fica na região próxima ao molde. O pó fluxante é adicionado à superfície do aço no molde através de um “rodo”. Na Figura 13 é possível verificar o rodo de adição e o balde contendo pó fluxante.

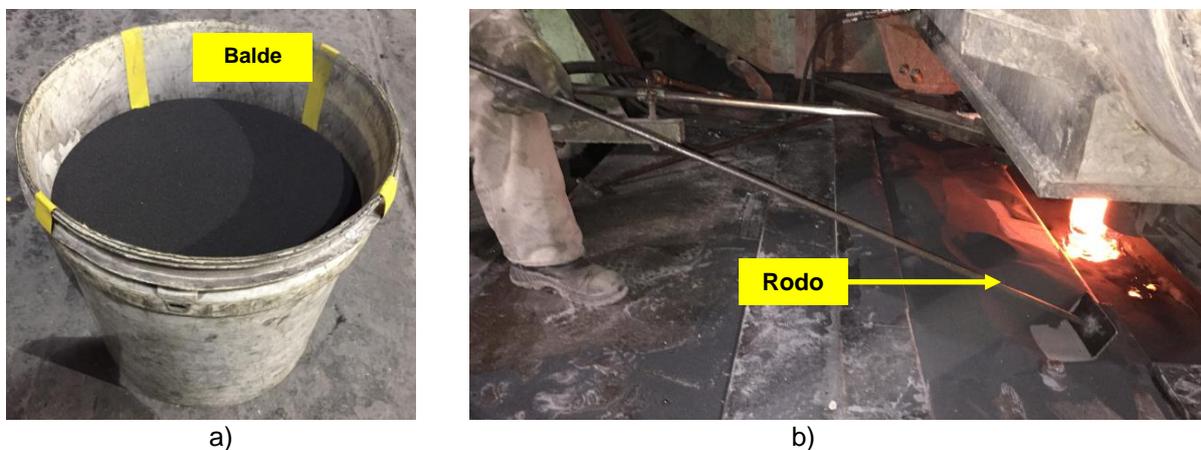


Figura 13. a) Balde contendo o pó fluxante e b) rodo de adição de pó fluxante

2.1.4 Testes do sistema na área

A quantidade de pó fluxante consumido para cada instante depende de vários fatores, tais como velocidade de lingotamento, área do molde e temperatura do aço. Para o teste foram mantidos fixos esses fatores, com objetivo de evitar desvios durante as medições.

Foi estabelecido que em um veio seria usado o sistema de injeção de pó fluxante no modo automático e no outro veio o sistema de medição manual. A utilização destes dois métodos foi realizada com intuito de verificar se haveria ocorrência de desvios entre os métodos. Enquanto isso, o sistema monitora a quantidade de pó fluxante removida do *bigbag* para ser injetado nos veios.

Na Figura 14 é apresentada a medição sendo realizada na área da Aciaria nº2 da Usiminas durante o processo de lingotamento contínuo do aço. Nessa Figura visualiza-se o *notebook* utilizado para registro dos dados, uma bateria de 12 V para alimentação do sistema de medição e dos extensômetros, o *bigbag* com pó fluxante apoiado na estrutura instrumentada e a mangueira de sucção inserida no *bigbag*.

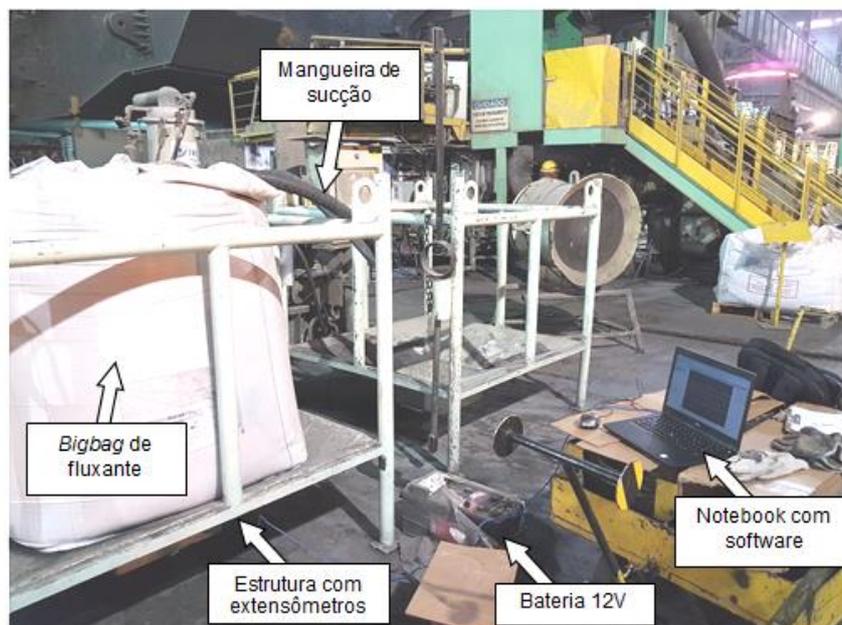


Figura 14. Medição do consumo de pó fluxante durante processo de lingotamento contínuo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 15 é apresentado um gráfico de consumo específico de pó fluxante obtido pelo sistema de medição durante o lingotamento contínuo de aço.

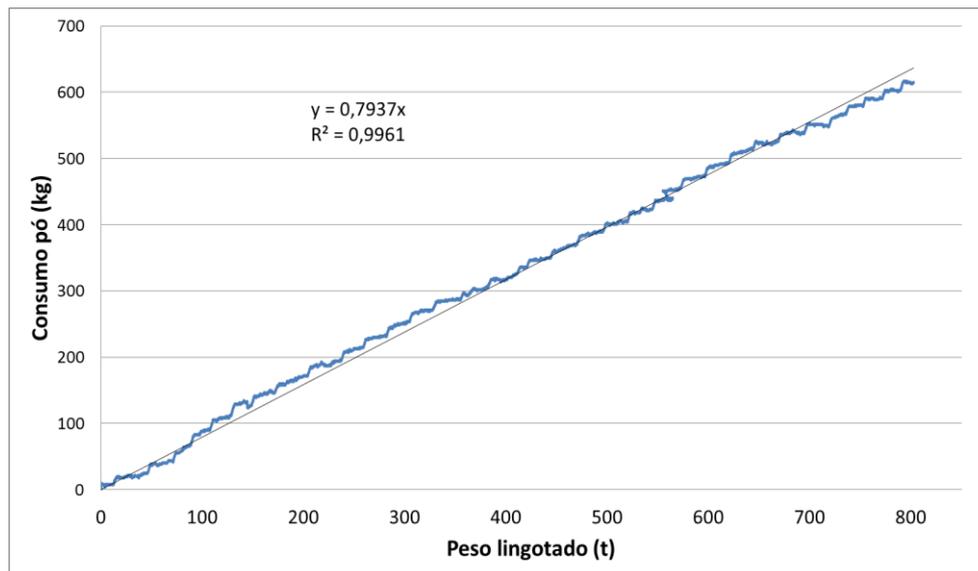


Figura 15. Gráfico de consumo de pó fluxante durante lingotamento contínuo de aço.

Na Figura 15 é possível identificar que o consumo específico de pó fluxante durante o teste foi de 0,79 kg/t.

O teste de homologação industrial foi realizado em uma máquina de lingotamento de dois veios, com intuito de comparar os dois métodos. Em um veio o pó foi adicionado manualmente e feita a contagem da quantidade de baldes adicionados e no outro veio o pó fluxante foi adicionado com a máquina de adição automática, no qual estava acoplado o sistema desenvolvido. O teste foi realizado dessa maneira a fim de ser verificado se o consumo específico nos dois veios ficaria com valores próximos, ou se ocorreria diferença relevante, sendo necessária uma nova calibração na máquina.

Na Figura 16 é apresentada uma segunda medição com o método desenvolvido, onde obteve-se um consumo específico pelo sistema de 0,57 kg/t e pelo sistema tradicional de contagem do número de baldes de 0,58 kg/t.

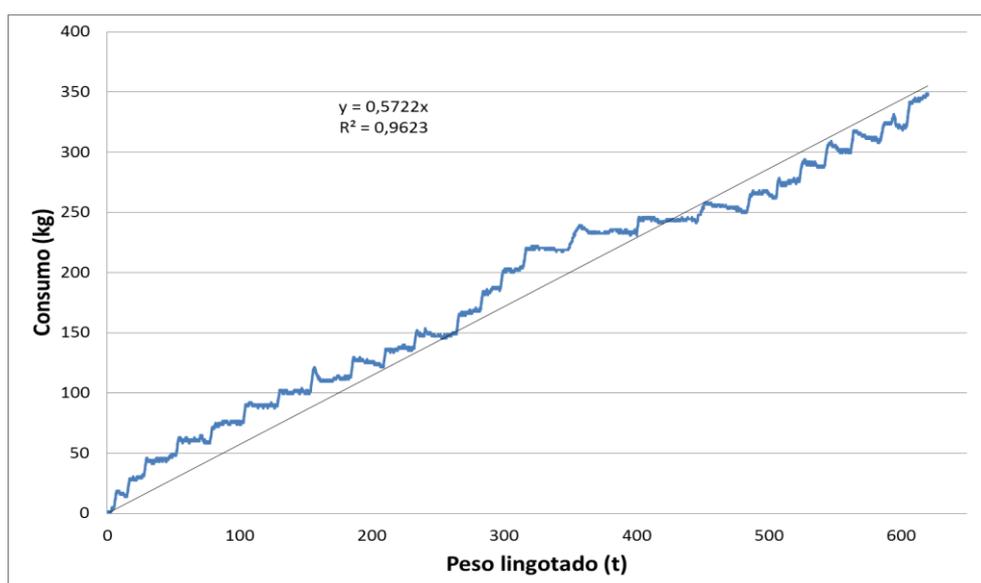


Figura 16. Medição de consumo de pó fluxante com o sistema desenvolvido.

Os valores de consumo apresentados nas figuras 15 e 16 são diferentes devido aos testes terem ocorrido com grupos de aços e pós fluxantes distintos.

Após o resultado destes testes de homologação considerou-se o sistema disponível para realização de novos testes em escala industrial, onde será quantificado o consumo específico e correlações com eventos que possam avaliar desvios de qualidade superficial do produto lingotado.

4 CONCLUSÃO

No presente trabalho foi desenvolvido um sistema automático para medição do consumo pó fluxante durante o lingotamento contínuo de placas. A estrutura de apoio do *bigbag* apresentou deformação possível de ser medida em função do volume de pó fluxante.

Para obter a deformação sofrida pela estrutura do *bigbag* em função da quantidade de pó fluxante em seu interior, foram instalados extensômetros em cada um dos pés de sustentação da base de apoio do reservatório de pó fluxante.

Foi desenvolvida uma rotina computacional para realizar a aquisição, processamento, apresentação e armazenamento dos dados de deformação e peso.

O teste de homologação do sistema de medição de consumo foi satisfatório ao comparar com o método manual, não há diferença relevante entre os métodos.

REFERÊNCIAS

- 1 Moore JA, Phillips RJ, Gibbs TR. An overview for the requirements of continuous casting mold fluxes. Steelmaking Conference Proceedings, 1991, 615-621
- 2 Oliveira LJS, et alii. Desenvolvimento de metodologia para caracterização de pós fluxantes. 2007. Relatório Interno de P&D (RPPQ05103) – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Usiminas, Ipatinga, Minas Gerais.
- 3 Kromhout JA, Ludlow V, McKay S, Normanton S, Thalhammer M, ORSF, Cimarelli T. Physical properties of mould fluxes for slab casting. Ironmaking and Steelmaking, 2002 n°3, 191-193.
- 4 Normanton AS, Ludlow V, Harris B, et alii. Mould powder consumption, melting and lubrication and their effects on mould heat transfer and subsequent surface quality of continuously cast slab. European Commission, Technical steel research. Contract No 7210-PR/273, 1 July 2001 to 30 June 2004.
- 5 Mills KC, Däcker C. The Casting Powders Book. Cham: Springer; 2017.
- 6 Wolf M. Mould powder consumption – a useful tool METEC Congress 1994, 2nd European Continuous Casting Conference, Düsseldorf, Germany, 20-22 June 1994, 78.
- 7 Mills KC. Continuous casting powders and their effect on surface quality and sticker breakouts. Molten Slags, Fluxes and Salts '97 Conference, 1997, 675-682.