

POSICIONADOR DIGITAL NA OTIMIZAÇÃO DO OXIGÊNIO NOS CONVERTEDORES (LD'S)

Fábio Antônio Cardoso Júnior¹, Douglas Paz Tatagiba¹, Eduardo Bianchi Loureiro¹, Cecília Montibeller Oliveira², Brunna Oliveira Guimaraes² e Kevyn Phillipe Gusmão².

¹Acadêmico do curso de Engenharia de Produção

² Orientador – Docente Multivix – Serra

RESUMO

A aplicação de posicionador digital na otimização do controle de sopro de oxigênio nos convertedores apresenta a importância do uso de tecnologia e de equipamentos modernos na otimização de processos de produção melhorando sua eficiência e produtividade. Este trabalho visa avaliar o impacto da aplicação dessas técnicas na eficiência e qualidade dos produtos acabados, dentre eles as placas e bobinas de aço; analisar os custos e benefícios de sistemas de inteligência artificial nos processos de produção; propor recomendações para a implementação de sistemas de inteligência artificial em processos de produção da gusa e aço líquido, envolveu a realização de uma revisão sistemática da literatura e o levantamento de dados dos processos, junto a uma siderúrgica localizada na cidade de Serra/ES, na qual foram selecionados artigos relevantes que abordaram o tema em questão. Além disso, os estudos incluídos tiveram que demonstrar resultados práticos e melhorias na eficiência do processo, controle de qualidade ou produtividade na produção siderúrgica. O resultado encontrado comprova que alteração do posicionador antigo por um posicionador digital, elevou a confiabilidade e retorno financeiro compatível com aplicação de equipamento tecnologicamente moderno em comparação com posicionador antigo.

Palavras – Chave: Posicionador digital, controle de processo, sopro de oxigênio, convertedores LD e produção de aço.

1. INTRODUÇÃO

A otimização de processos de produção é uma área de grande importância para a indústria, pois permite reduzir custos, aumentar a produtividade e melhorar a qualidade dos produtos. Diversos autores têm abordado o tema, por exemplo, em um

estudo recente, Al-Tahat e Al-Ashwal (2021) propuseram o uso de algoritmos genéticos para otimizar o processo de corte de chapas de aço, obtendo reduções significativas no tempo de produção. Já em um estudo anterior, Chen et al. (2019) utilizaram redes neurais artificiais para prever a qualidade dos produtos em um processo de fabricação de chips eletrônicos, permitindo que ajustes fossem feitos antes que os produtos fossem produzidos.

Outros autores também têm destacado a importância do uso de tecnologia e equipamentos modernos na otimização de processos de produção. Por exemplo, Lee et al. (2020) defendem que a utilização de algoritmos pode ajudar a identificar gargalos e melhorar a eficiência dos processos. Já em um estudo de revisão, Beheshti et al. (2020) analisaram diversas abordagens de otimização de processos de produção utilizando inteligência artificial e lógicas de controle digitais, destacando os benefícios e desafios de cada técnica.

Em conclusão, o uso de tecnologia na otimização de processos de produção tem se mostrado uma área promissora. Dessa forma, é importante que as empresas estejam atentas a essas tecnologias e busquem implementá-las em seus processos, a fim de melhorar sua eficiência e produtividade.

Em relação às considerações expostas, este trabalho tem como tema: "Aplicação de posicionador digital na otimização do controle no sopro de oxigênio nos convertedores (LD's)", Pois segundo Garcia (2019 *apud* Berni 2024, p.2) "uma das soluções mais usadas na indústria em geral para a redução de variabilidade de malha é a instalação de posicionadores como elementos de controle de malha interna de posição junto às válvulas, principalmente para mitigar ou atenuar os efeitos do crescente atrito com o tempo de operação".

Justifica-se a escolha deste tema uma vez que um dos principais benefícios da aplicação de tecnologia digital na otimização de processos produtivos é a possibilidade de coletar e analisar grandes volumes de dados em tempo real, permitindo tomar decisões mais precisas e assertivas. Além disso, as transferências de dados podem ser utilizadas para identificar padrões e tendências, o que pode ajudar a prever problemas e evitar falhas no processo produtivo.

Um exemplo de aplicação bem-sucedida na otimização de processos produtivos é o uso de redes neurais artificiais para prever o desempenho de

equipamentos industriais. Segundo o estudo de Li e Wang (2017), essa técnica permitiu reduzir em 20% o tempo de inatividade dos equipamentos em uma indústria de cimento, gerando uma economia significativa de custos.

Outra aplicação interessante na otimização de processos produtivos é o uso de algoritmos genéticos para definir a melhor sequência de produção de um determinado produto. Segundo o estudo de Tseng et al. (2018), essa técnica permitiu obter uma redução de 10% no tempo total de produção em uma indústria de semicondutores.

Para que as atualizações tecnológicas de equipamentos industriais possam ser aplicadas com sucesso na otimização de processos de produção, é necessário que as empresas invistam em infraestrutura tecnológica e em profissionais capacitados na área. É importante que os dados sejam coletados e armazenados de forma adequada, garantindo a qualidade e a integridade das informações. Além disso, é fundamental que as empresas adotem uma cultura de inovação e estejam abertas a adotar novas tecnologias e processos para se manterem competitivas no mercado. Para realizar o estudo, definiu-se uma questão de pesquisa clara e objetiva: “Como a aplicação do posicionador digital pode contribuir para otimizar o controle no sopro de oxigênio nos convertedores (LD's), e conseqüentemente no processo de produção do aço?” (problema)

Acredita-se que a aplicação de tecnologia digital nos processos de produção do aço, pode aumentar a eficiência, reduzir custos e tempo de produção, além de melhorar a qualidade dos produtos acabados.

Diante disso, esse projeto tem como objetivo geral: Analisar como a aplicação do posicionador digital pode contribuir para otimizar o controle no sopro de oxigênio nos convertedores (LD's).

Para o cumprimento do objetivo geral foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos: Identificar as técnicas de inteligência artificial mais adequadas para cada processo de produção (Coque, Gusa, Aço, Placas e Bobinas), bem como avaliar o impacto da aplicação dessas técnicas na eficiência e qualidade dos produtos acabados (dentre eles as placas e bobinas de aço), analisar os custos e benefícios da implementação de sistemas de inteligência artificial nos processos de produção, e propor recomendações para a implementação de sistemas de inteligência artificial em processos de produção da gusa e aço líquido.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o estudo do tema "Aplicação de posicionador digital na otimização do controle no sopro de oxigênio nos convertedores (LD's)", envolveu a realização de uma revisão sistemática da literatura e o levantamento de dados dos processos, junto a uma siderúrgica localizada na cidade de Serra/ES, na qual foram selecionados artigos relevantes que abordaram o tema em questão.

Para realizar o estudo, definiu-se uma questão de pesquisa clara e objetiva: "Como a aplicação do posicionador digital pode contribuir para otimizar o controle no sopro de oxigênio nos convertedores (LD's), e conseqüentemente no processo de produção do aço?"

Houve uma busca sistemática para identificar estudos relevantes, utilizando determinadas palavras-chave "posicionador digital", "controle de processo", "sopro de oxigênio", "converteedores LD" e "produção de aço", combinadas com termos adicionais como "melhoria de processo", "malha de controle", "automação industrial", "eficiência de produção" e "indústria siderúrgica", em bases de dados como *Scopus*, *Web of Science*, *IEEE Xplore* e outras fontes de informação, com experiências positivas, que permitissem a utilização do tema aplicado em outros processos. A busca visou um embasamento teórico para a implementação das técnicas referente ao tema no processo de produção siderúrgico.

Na etapa seguinte, foram estabelecidos critérios bem definidos, selecionando os estudos relevantes e voltados ao setor produtivo, mais específicos de produção siderúrgica. Foram feitas pesquisas tanto em fontes mais antigas (década de 90), quanto manuais técnicos, catálogos e cases de aplicações (de 2020 em diante) para garantir relevância tecnológica, e em outras indústrias, juntamente com o fornecedor do equipamento citado acima da empresa "*Valment Flow Control LTDA*". Além disso, os estudos incluídos tiveram que demonstrar resultados práticos e melhorias na eficiência do processo, controle de qualidade ou produtividade na produção siderúrgica, utilizando métodos quantitativos ou qualitativos robustos.

Por outro lado, foram eliminados os estudos que não trataram da aplicação de posicionadores digitais ou do controle de processos industriais, ou que focaram em setores industriais não relacionados à siderurgia. Artigos de opinião, editoriais,

resumos de conferências sem texto completo disponível, notas técnicas e relatórios internos não revisados por pares também foram excluídos. Pesquisas muito antigas, com mais de 20 anos, que estavam desatualizadas tecnologicamente, também foram excluídas, exceto as consideradas como fundamentais. Estudos com métodos de pesquisa inadequados, mal definidos ou sem resultados claros, que não apresentaram dados empíricos ou evidências robustas sobre a eficácia dos posicionadores digitais, também não foram selecionados.

Após a seleção dos estudos relevantes, desenvolveu-se a leitura e análise crítica dos artigos, com o objetivo de sintetizar as informações e identificar padrões e tendências, visando a utilização das técnicas e/ou relatos nos processos produtivos da siderurgia. Na etapa de análise, determinou-se a síntese dos resultados, identificando as principais tendências e as lacunas de conhecimento existentes, sendo de suma importância a adaptação dos métodos levantados, na particularidade de cada processo realizado pela empresa em questão.

A análise dos artigos permitiu a identificação das principais técnicas e metodologias utilizadas em setores produtivos similares ou até mesmo em processos siderúrgicos, bem como das lacunas de pesquisa existentes na área. Após o levantamento dos estudos e embasamentos teóricos, foram elaborados alguns tópicos, contendo possibilidades de melhoria na otimização do controle no sopro de oxigênio nos convertedores (LD's), visando a implementação das técnicas pela empresa em questão.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. A utilização de algoritmos genéticos para a otimização de parâmetros de produção

Algoritmos genéticos são técnicas de otimização que simulam o processo de evolução natural para encontrar a melhor solução para um problema. Na produção industrial, esses algoritmos podem ser utilizados para otimizar os parâmetros do processo de produção, como temperatura, pressão e tempo de processamento, com o objetivo de maximizar a eficiência e minimizar os custos.

A utilização de algoritmos genéticos (AGs) para a otimização de parâmetros de produção é uma técnica que tem ganhado cada vez mais espaço em diversas áreas da engenharia, incluindo a engenharia de produção. Esses algoritmos são inspirados na evolução biológica e, portanto, são capazes de encontrar soluções ótimas para problemas complexos de otimização.

O uso de AGs para a otimização de parâmetros de produção tem como objetivo melhorar a eficiência e a qualidade dos processos produtivos, reduzindo o tempo de produção e, conseqüentemente, os custos. Através da aplicação de AGs, é possível identificar as melhores combinações de parâmetros de produção, levando em consideração as restrições do processo produtivo e os objetivos da organização.

Segundo a pesquisa realizada por M. V. R. Gomes et al. (2014), a aplicação de AGs em processos produtivos pode trazer benefícios significativos, como a redução do tempo de produção e a melhoria da qualidade do produto. Além disso, os autores afirmam que a utilização de AGs permite a exploração de muitas soluções possíveis em um curto espaço de tempo, o que seria inviável com outros métodos de otimização.

Outros autores, como D. E. Goldberg (1989) e J. H. Holland (1975), também destacam a eficácia dos algoritmos genéticos na otimização de sistemas complexos, como os processos produtivos. Goldberg (1989) afirma que os AGs são capazes de lidar com problemas de otimização que envolvem múltiplos objetivos e restrições, enquanto Holland (1975) destaca a capacidade dos AGs em encontrar soluções ótimas mesmo em ambientes de incerteza e mudança.

Em conclusão, a aplicação de algoritmos genéticos para a otimização de parâmetros de produção é uma técnica eficaz e promissora para melhorar a eficiência e a qualidade dos processos produtivos. Através da exploração de várias soluções possíveis em um curto espaço de tempo, os AGs permitem encontrar soluções ótimas para problemas complexos de otimização. Os autores citados neste texto destacam a eficácia dos AGs na otimização de sistemas complexos, incluindo os processos produtivos.

3.2. A utilização de algoritmos de aprendizado de máquina para a identificação de gargalos na linha de produção

Com a análise de dados em tempo real, é possível identificar gargalos e pontos críticos na linha de produção. Com essa informação, é possível realizar ajustes para otimizar o processo de produção e maximizar a eficiência. A utilização de algoritmos de aprendizado de máquina para a identificação de gargalos na linha de produção tem se mostrado uma abordagem promissora para a otimização de processos industriais. Isso se deve à capacidade desses algoritmos em identificar padrões e relações complexas em grandes conjuntos de dados.

Um dos principais benefícios da utilização de algoritmos de aprendizado de máquina para a identificação de gargalos na linha de produção é a possibilidade de realizar análises em tempo real, permitindo que as equipes de produção possam rapidamente identificar problemas e agir de forma proativa para resolvê-los. Além disso, esses algoritmos podem ser utilizados para prever gargalos futuros, o que permite que as equipes de produção possam planejar antecipadamente e evitar problemas.

Entre as técnicas de aprendizado de máquina mais utilizadas para a identificação de gargalos na linha de produção, destaca-se o uso de redes neurais artificiais, que são capazes de aprender padrões complexos em dados históricos e identificar gargalos com alta precisão. Além disso, outras técnicas como árvores de decisão e regressão logística também têm sido utilizadas com sucesso para essa finalidade.

Um exemplo de aplicação bem-sucedida de algoritmos de aprendizado de máquina para a identificação de gargalos na linha de produção é o trabalho de Lee et al. (2019), que utilizou redes neurais artificiais para prever gargalos em uma linha de produção de semicondutores. Os resultados mostraram uma melhoria significativa na eficiência da produção após a implementação do sistema proposto.

Outro estudo interessante é o trabalho de Chen et al. (2020), que utilizou uma combinação de algoritmos de aprendizado de máquina para identificar gargalos em uma linha de produção de peças automotivas. Os resultados mostraram que a abordagem proposta foi capaz de identificar gargalos com alta precisão e permitiu que a empresa otimizasse seus processos de produção.

Em resumo, a utilização de algoritmos de aprendizado de máquina para a identificação de gargalos na linha de produção é uma abordagem promissora que tem

se mostrado eficiente na otimização de processos industriais. A aplicação dessas técnicas pode permitir que as empresas identifiquem problemas rapidamente, evitando perdas e melhorando a eficiência da produção.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste segmento do Trabalho, apresentaremos os resultados obtidos a partir das metodologias e técnicas de pesquisa detalhadas nos capítulos anteriores. A análise dos dados coletados é fundamental para validar as hipóteses propostas e para alcançar os objetivos definidos inicialmente neste estudo.

O objetivo principal desta seção é fornecer uma visão clara e abrangente dos achados, destacando tanto os aspectos esperados quanto os insights inesperados que emergiram ao longo do processo investigativo. Através de gráficos, imagens e descrições detalhadas, procuramos não apenas apresentar os resultados de forma objetiva, mas também interpretar seus significados e implicações dentro do contexto teórico e prático abordado. A interpretação desses resultados será fundamentada em análises estatísticas robustas e sustentada por referências e exemplos relevantes.

Para entendimento dos resultados, precisamos descrever brevemente o processo de conversão de gusa em aço.

Segundo Informat, Aços e ligas. (2017), o processo de sopro de oxigênio, também conhecido como Processo LD (Linz-Donawitz) ou BOF (Basic Oxygen Furnace), é um método fundamental na produção de aço. O convertedor é inicialmente carregado com ferro-gusa líquido proveniente do alto-forno e sucata de aço. Uma lança de oxigênio é introduzida no convertedor, e oxigênio puro é soprado sobre o ferro-gusa fundido a alta pressão. Este procedimento provoca a oxidação rápida das impurezas. O oxigênio reage com carbono (C), silício (Si), manganês (Mn), fósforo (P) e enxofre (S), formando óxidos. Os óxidos formados combinam-se com cal (CaO) adicionada ao convertedor, resultando na formação de escória. Esta escória flutua na superfície do banho metálico e é removida periodicamente, juntamente com as impurezas capturadas. Após a oxidação inicial, são realizados ajustes na composição química do aço. Elementos de liga podem ser adicionados conforme necessário para atingir as propriedades desejadas. O aço refinado é vazado do convertedor para

painéis de transporte, onde pode passar por tratamentos adicionais antes de ser moldado em produtos.

A melhoria do controle de malha no processo de sopro de oxigênio nos convertedores LD é vital para aumentar a eficiência e a precisão do processo de fabricação de aço. Com um controle de malha aprimorado, é possível obter uma composição química do aço mais precisa, controlar a temperatura do banho metálico com maior exatidão, e otimizar o consumo de energia. Além disso, a melhoria no controle reduz a geração de poluentes e resíduos, contribui para uma produção mais consistente e de alta qualidade, e aumenta a segurança operacional. Isso resulta em uma operação mais econômica, sustentável e capaz de atender às rigorosas especificações industriais, proporcionando vantagens competitivas no mercado de aço.

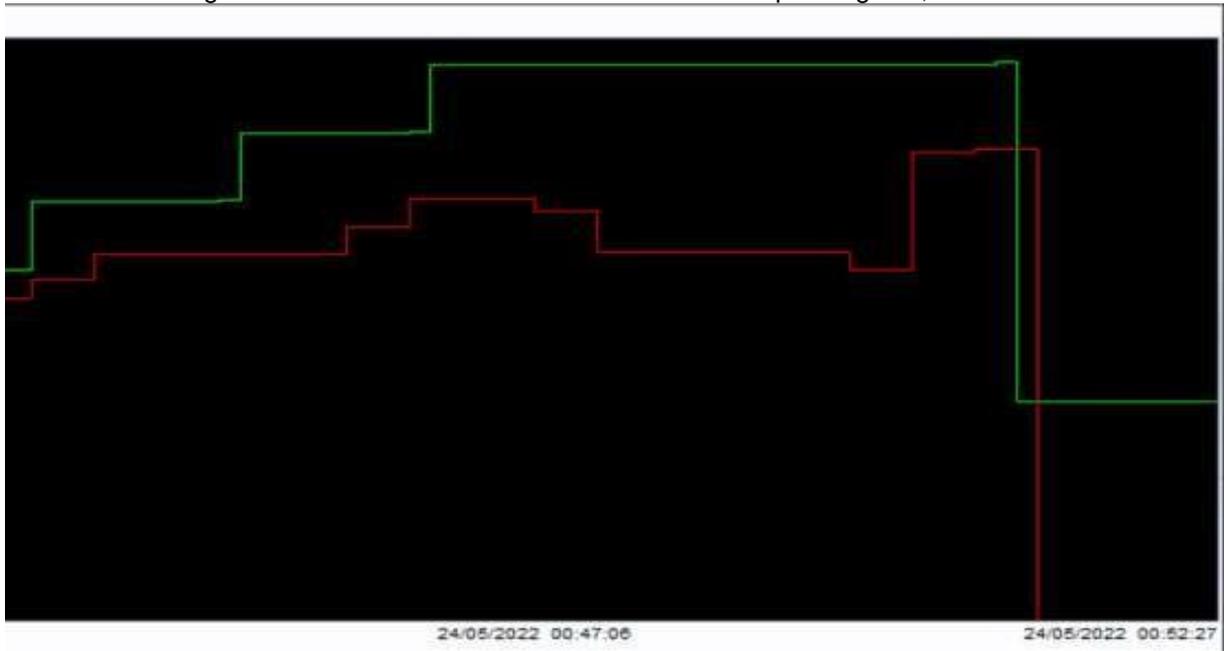
A “*imagem 1*” e “*imagem 2*” a seguir, ilustram diretamente o controle na malha durante o sopro de oxigênio, antes da implantação da melhoria proposta, nesse gráfico estamos utilizando um posicionador antigo, sem tecnologia digital e *feedback* dos dados operacionais. Conseguimos ver nitidamente um delay e uma inconsistência no valor de *set-point* esperado, apresentado em linha verde, e no valor vazão real desejado, apresentado em linha vermelha. Vemos uma discrepância no valor que desejamos obter durante o processo (*Set-point – linha verde*) com o valor que realmente é obtido com o posicionador (*Valor real – linha vermelha*), essa diferença de valores, influencia no processo de retirada das impurezas e no tempo para realizar a conversão de gusa em aço, visto que temos uma quantidade menor de oxigênio sendo adicionado ao processo.

Imagem 1 – Gráfico de controle PID da malha de sopro oxigênio, vazão inicial.



Fonte: produzido pelo autor (2024).

Imagem 2 – Gráfico de controle PID da malha de sopro oxigênio, vazão total.



Fonte: produzido pelo autor (2024).

Após uma avaliação técnica em posse dos dados coletados, verificamos a possibilidade de implementar um posicionador digital, para realizar o controle da válvula responsável pelo sopro de oxigênio. Em conjunto com alguns fornecedor e fabricantes do equipamento, foi especificado um modelo apropriado para as características do processo e particularidades da área aplicada.

Imagem 3 – Melhoria de substituição do posicionador apresentada na empresa

Título – Substituição do posicionador das válvulas de controle vazão da lança O²

- Problema / Motivo da Iniciativa: Falha constante no controle de vazão de O² durante sopro.
- Solução Encontrada ou Proposta: Substituído posicionador das válvulas de controle FCV-500A e FCV-500B
- Ganhos Operacionais ou Segurança: Melhora significativa na malha de controle de vazão de oxigênio no sopro.
- Resumo livre após sobre o projeto: Devido a constantes falhas no controle de vazão de O² durante o sopre, foi realizado a troca do posicionador westlock-remoto (obsoleto) por posicionador novo Neles-ND9000, equipamento instalado e mais preciso e eficiente no controle, além de ter peças de reposição disponíveis.



Fonte: produzido pelo autor (2024).

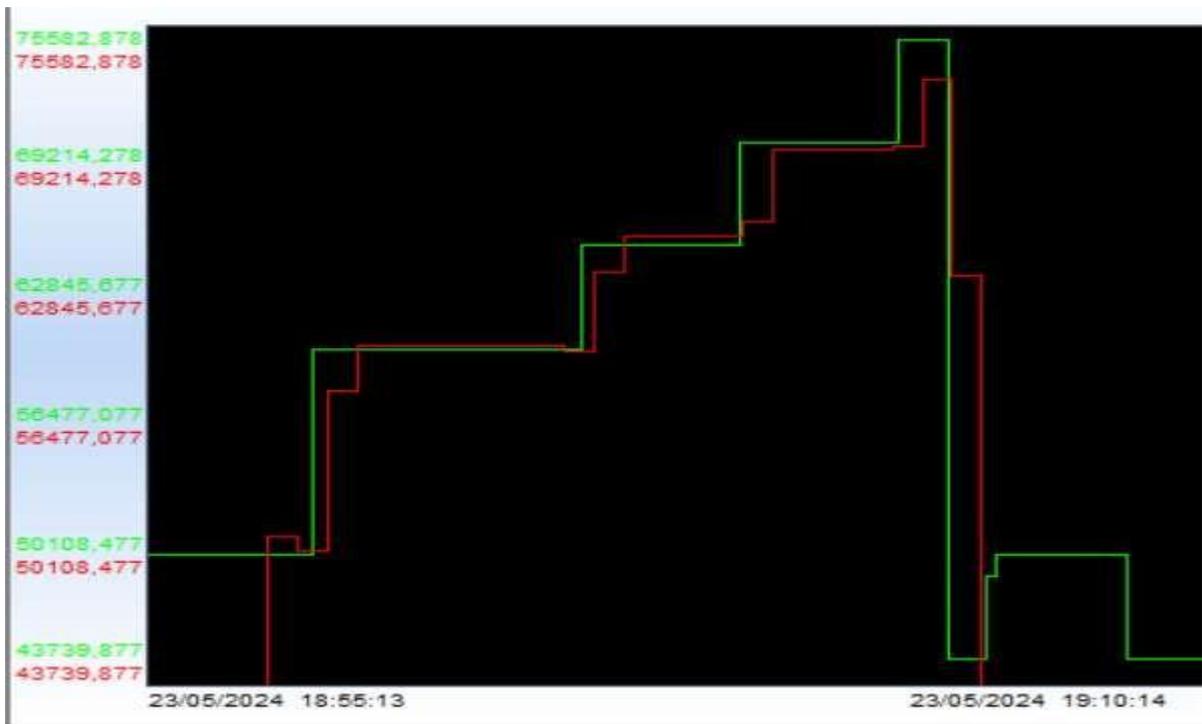
A melhoria realizada, substituindo o posicionador da válvula de controle do sopro de oxigênio, gerou ganhos significativos em precisão na medição da variável operacional, redução de erros de medição, aumento da confiabilidade dos dados, melhor monitoramento dos processos de conversão, detecção mais rápida de desvios e anormalidades, otimização dos parâmetros de operação e aprimoramento geral do desempenho do sistema de controle. Na “*imagem 4*” e “*imagem 5*”, vemos que as variações indesejadas (*Valor real – linha vermelha*) cruzando o valor solicitado (*Set-point – linha verde*), não ocorrem. Vemos também na “*imagem 5*”, um ganho na vazão total de oxigênio real que é soprada no convertedor, o valor real apresentando pela linha vermelha, está bem próximo ao valor de referência que é apresentado pela linha verde, fato que não ocorre na “*imagem 2*”.

Imagem 4 – Gráfico de controle PID da malha de sopro oxigênio, vazão inicial após melhoria.



Fonte: produzido pelo autor (2024).

Imagem 5 – Gráfico de controle PID da malha de sopro oxigênio, vazão final após melhoria.



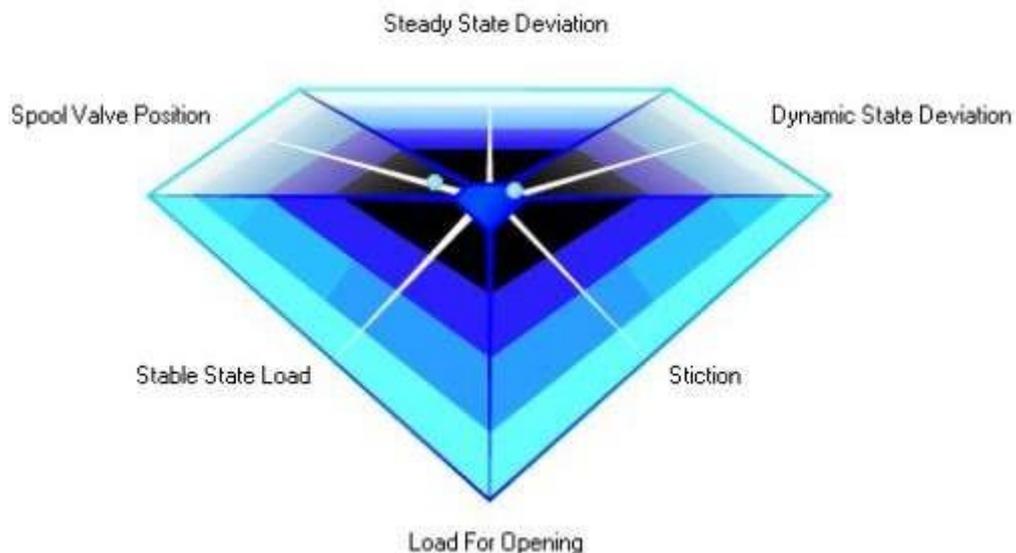
Fonte: produzido pelo autor (2024).

Outro ponto positivo que obtivemos com a aplicação do equipamento, foram os relatórios gerados pelo mesmo, com informações, falhas e erros em tempo real.

Essa abordagem permite a detecção imediata de anomalias e desgaste excessivo, garantindo uma manutenção preventiva eficiente e minimizando o tempo de inatividade não planejado. Além disso, possibilita a otimização contínua do processo, ajustando os parâmetros de operação da válvula para aumentar a eficiência e reduzir o consumo de energia. A melhoria da qualidade do produto também é alcançada, assegurando uma distribuição mais uniforme do oxigênio soprado. Além disso, o monitoramento em tempo real contribui para a segurança operacional, detectando e prevenindo potenciais riscos para os operadores e o equipamento. Em suma, o monitoramento em tempo real oferece uma visão detalhada do desempenho da válvula, possibilitando uma gestão eficaz do processo e garantindo a qualidade e segurança operacional.

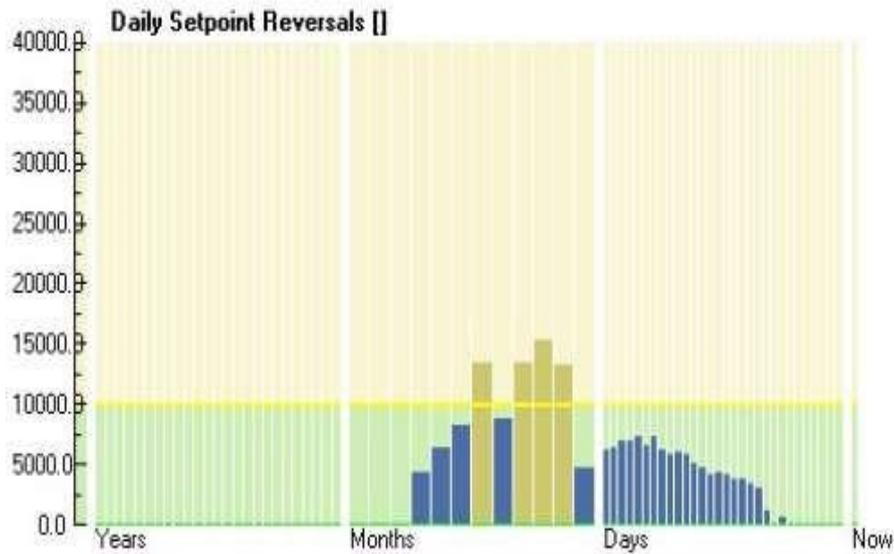
As imagens abaixo, mostram detalhadamente os dados que obtemos para análise e tomadas de decisões durante a operação do equipamento.

Imagem 6 – Gráfico diamante de operação do ND9000



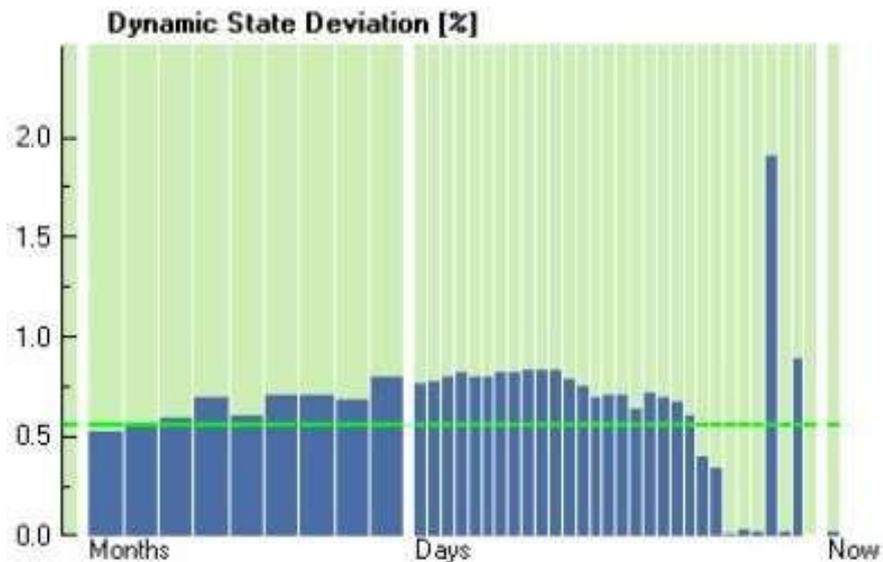
Fonte: relatório gerado pelo equipamento (2024).

Imagem 7 – Gráfico setpoint reversals do ND9000



Fonte: relatório gerado pelo equipamento (2024).

Imagem 8 – Gráfico dynamic deviation do ND9000



Fonte: relatório gerado pelo equipamento (2024).

No processo produtivo de empresas de grande porte, fala-se muito em Estabilidade, Disponibilidade e Custo. Estes são pilares acompanhados de perto para o avanço dos setores produtivos, visando sempre uma produção de qualidade com um custo aceitável.

Este trabalho mostra oportunidade encontrada para alavancar um melhor controle durante a fabricação de aço. Conforme evidências mostradas nas figuras 01 e 02, posicionador Westlock-remoto apresentava retardo na variação de abertura de

válvula para alcançar valor exigido no set point, gerando controle deficiente no processo.

Nas imagens 04 e 05, verificamos um avanço significativo quanto a exatidão da malha de controle, reduzindo delay e conseqüentemente contribuindo nos custos relacionados ao consumo de oxigênio durante a geração de chapas de aço.

Outra consideração importante exemplificada anteriormente são os gráficos das figuras 07 e 08, visualizamos que após implantação do posicionador Neles-ND9000 a estabilidade desejada foi alcançada, reduzindo falhas, identificando erros em tempo real, de acordo com Lee et al. (2020) defendem que a utilização de algoritmos pode ajudar a identificar gargalos melhorando a eficiência dos processos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho é apresentado a contribuição do posicionador digital para otimizar o controle no sopro de oxigênio nos convertedores (LD's), e conseqüentemente no processo de produção do aço.

Podemos verificar ao longo do trabalho evidencias positivas de variáveis de processo demonstrando evolução no controle de temperatura, tempo de produção, economia de energia para uma produção mais consistente e de alta qualidade, levando um aumento na segurança operacional.

Este estudo comprova que alteração do posicionador antigo por um posicionador digital, elevou a confiabilidade e retorno financeiro compatível com aplicação de equipamento tecnologicamente moderno em comparação com posicionador antigo. A aplicação de tecnologia digital nos processos de produção do aço, aumenta a eficiência, reduz custos e tempo de produção, além de melhorar a qualidade dos produtos acabados.

Após análise dos gráficos das imagens 4 e 5, verifica-se a aplicação do posicionador digital contribuiu para otimizar o controle no sopro de oxigênio nos convertedores (LD's), pois vemos que as variações indesejadas cruzando o valor solicitado, não ocorrem, vemos também na *"imagem 5"*, um ganho na vazão total de oxigênio real que é soprada no convertedor. Como sugestões de trabalhos futuros, propõe-se realizar a coleta de mais dados para identificar a necessidade de

implementação de outros posicionadores digitais para outros insumos do processo de produção de aço. Dessa forma poderemos estreitar pontos de perda de produção e desperdícios de recursos.

6. REFERÊNCIAS

Al-Tahat, Z., & Al-Ashwal, H. (2021). **Multi-objective optimization of cutting parameters for laser cutting of steel plates using genetic algorithm**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 115(5-6), 1799-1812.

Beheshti, H. M., Shariati, M., & Sadeghian, R. (2020). **A review on artificial intelligence applications in industrial engineering**. Journal of Industrial and Production Engineering, 37(8), 578-597.

BERNI, Cassio de Carvalho. **Posicionador digital com capacidade de reduzir a variabilidade gerada pelo atrito em válvulas de controle**. 2024. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas) - Escola Politécnica, University of São Paulo, São Paulo, 2024. Acesso em: 2024-05-27.

CHEN, Jie et al. **A multi-algorithm approach for bottleneck identification in automotive assembly line**. Journal of Manufacturing Systems, v. 56, p. 164-175, (2020).

Chen, C., Wang, Y., Chen, H., Zhang, L., & Li, X. (2019). **Quality prediction in semiconductor manufacturing via a hybrid deep learning framework**. Journal of Intelligent Manufacturing, 30(2), 751-761.

Dispositivos automatizados. **Posicionador Metso**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=3SCz6s8li3Q>>. Publicado em: 26 fevereiro, 2024. Acesso em: 01 maio, 2024.

FEIJÓ, B.; COSTA, M. **Animação comportamental baseada em lógica**. Anais do VI SIBGRAPI (1993), SBC, p.117-122, (1993).

Infomet, Aços e ligas. (2017). **Aciaria: Obtenção do aço líquido**. Disponível em: <<https://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?codConteudo=236>>. Acesso em: 24 abril, 2024.

Instrumentation and Solutions. **Metso's Neles ND9000 Smart Positioner Calibration**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=vFQnJ0sq_wM>. Publicado em: 24 abril, 2017. Acesso em: 01 fevereiro, 2024.

IYODA, E. **Inteligência Computacional no Projeto Automático de Redes Neurais Híbridas e Redes Neurofuzzy Heterogêneas**. Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial, Unicamp, (2000).

Lee, W. S., Kim, Y. S., & Lee, J. Y. (2020). A machine learning approach to bottleneck identification and improvement in a semiconductor manufacturing line. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(8), 1979-1992.

LI, J.; WANG, Y. Application of artificial neural networks to predict the performance of industrial equipment. *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 28, n. 6, p. 1467-1475, 2017.

Mead O'Brian. **Neles® ND9000 Intelligent Valve Controller**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=FCqBkCdLFe0>>. Publicado em: 25 fevereiro, 2017. Acesso em: 01 fevereiro, 2024.

M.V.R. Gomes et al. (2014), D. E. Goldberg (1989), J. H. Holland (1975).

Neles® ND9000 Intelligent valve Controller. (2016). Disponível em: <<https://www.valin.com/sites/default/files/asset/document/metso-neles-nd9000-datasheet.pdf>>. Acesso em: 01 fevereiro, 2024.

NERIS, Alexandre Gomes. **Identificando as informações no Display do Posicionador ND9000 da Metso (Válvula de controle)**. 2023. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Hpupo1CsJNY>>. Acesso em: 01 fevereiro, 2024.

ROCHA, A.; SOUZA, E.; ALVES, J.; **Introdução aos Agentes Inteligentes e aos Sistemas Multiagentes**. Universidade Federal de Lavras – UFLA, (2003).

SVI™II AP, Posicionador digital de desempenho avançado. (2023). Disponível em: <<https://dam.bakerhughes.com/m/6827dd7a05424ea1/original/Masoneilan-SVI-II-AP-Quick-Start-Guide-Portuguese.pdf>>. Acesso em: 01 fevereiro, 2024.

Slag Splashing – Convertedor LD / BOF. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=J5MYSwqzdk>>. Publicado em: 07 janeiro, 2024. Acesso em: 17 maio, 2024.

TSENG, C.-L.; CHEN, Y.-C.; CHANG, C.-C.; WU, C.-C. Application of genetic algorithms to optimize production sequence of semiconductor fabrications. *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 29, n. 3, p. 587-596, 2018.