

Implementação do ciclo PDCA no processo de sinterização do ferro

Implementation of the PDCA cycle in the iron sinterization process

Implementación del ciclo PDCA en el proceso de sinterización del hierro

Recebido: 15/06/2024 | Revisado: 25/06/2024 | Aceitado: 26/06/2024 | Publicado: 30/06/2024

Wellington de Souza Francisco Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5073-4801>

Universidade Geraldo Di Biase, Brasil

E-mail: Wellingtonjr14@gmail.com

Daniel da Silva Pinheiro

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6241-6451>

Universidade Geraldo Di Biase, Brasil

E-mail: danielspinheiro9@gmail.com

João Henrique Brandenburger Hoppe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0841-5003>

Centro Universitário Geraldo Di Biase, Brasil

E-mail: joaobrandenburger@gmail.com

Gustavo de Paiva Silva

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2735-7563>

Centro Universitário Geraldo Di Biase, Brasil

E-mail: gustavopaiva_@hotmail.com

Anderson de Oliveira Ribeiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3460-4374>

Centro Universitário Geraldo Di Biase, Brasil

E-mail: fisicaja@gmail.com

Adriana Lau da Silva Martins

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0851-5522>

Centro Universitário Geraldo Di Biase, Brasil

E-mail: adralmartins@hotmail.com

Resumo

O processo de sinterização é fundamental para a indústria siderúrgica, pois contribui para a redução dos custos de produção de aço. Além disso, a sinterização também desempenha um papel importante na minimização do impacto ambiental da indústria siderúrgica, pois permite a reciclagem de produtos siderúrgicos e a redução do consumo de recursos naturais. O objetivo geral deste estudo é analisar o processo de sinterização, verificar as falhas que comprometem a produção e implementar melhorias no processo de sinterização em uma empresa de produção de aço localizada no sul do estado, utilizando a combinação do controle estatístico do processo e o ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act). A sinterização enfrenta diversos desafios, como a porosidade excessiva, a má densificação, deformações indesejadas, a falta de uniformidade na composição química das peças sinterizadas associados a uma série de fatores que contribuem com perdas significativas no processo que provocam saldos negativos quando comparados com o controle estatístico do processo, diante de tal problemática, foi necessária investigação das causas que provocaram perdas no processo através da utilização do controle estatístico. A metodologia utilizada foi a revisão narrativa aplicada a um estudo de caso em uma empresa metalúrgica localizada no sul do RJ. Como resultado foram encontradas diversas falhas que comprometeram a qualidade do produto e dentre tantas a principal foi a presença de funcionários novos e inexperientes trabalhando em etapas críticas do processo. Então para a solução do problema foi implementado o ciclo PDCA que apresentou resultados positivos e aumentando o saldo de produção da em 3%.

Palavras-chave: Sinterização; PDCA; Controle Estatístico de Processo (CEP).

Abstract

The sintering process is fundamental for the steel industry, as it contributes to reducing steel production costs. Furthermore, sintering also plays an important role in minimizing the environmental impact of the steel industry, as it allows the recycling of steel products and the reduction of the consumption of natural resources. The general objective of this study is to analyze the sintering process, verify the flaws that compromise production and implement improvements in the sintering process in a steel production company located in the south of the state, using the combination of statistical process control and the cycle PDCA (Plan-Do-Check-Act). Sintering faces several challenges, such as excessive porosity, poor densification, unwanted deformations, lack of uniformity in the chemical composition of sintered parts associated with a series of factors that contribute to significant losses in the process that cause negative balances when compared to control. statistical process, faced with such a problem, it was necessary to investigate the

causes that caused losses in the process through the use of statistical control. The methodology used was the narrative review applied to a case study in a metallurgical company located in the south of RJ. As a result, several flaws were found that compromised the quality of the product and among many, the main one was the presence of new and inexperienced employees working in critical stages of the process. So, to solve the problem, the PDCA cycle was implemented, which showed positive results and increased the production balance by 3%.

Keywords: Sintering; PDCA; Statistical Process Control (CEP).

Resumen

El proceso de sinterización es fundamental para la industria siderúrgica, ya que contribuye a reducir los costes de producción del acero. Además, la sinterización también juega un papel importante a la hora de minimizar el impacto medioambiental de la industria siderúrgica, ya que permite el reciclaje de productos siderúrgicos y la reducción del consumo de recursos naturales. El objetivo general de este estudio es analizar el proceso de sinterización, verificar las fallas que comprometen la producción e implementar mejoras en el proceso de sinterización en una empresa productora de acero ubicada en el sur del estado, utilizando la combinación del control estadístico de proceso y el ciclo PDCA. (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar). La sinterización enfrenta varios desafíos, como porosidad excesiva, mala densificación, deformaciones no deseadas, falta de uniformidad en la composición química de las piezas sinterizadas asociadas a una serie de factores que contribuyen a pérdidas significativas en el proceso que provocan saldos negativos en comparación con el control estadístico. proceso, ante tal problema, fue necesario investigar las causas que provocaron pérdidas en el proceso mediante el uso del control estadístico. La metodología utilizada fue la revisión narrativa aplicada a un estudio de caso en una empresa metalúrgica ubicada en el sur de RJ. Como resultado se encontraron varias fallas que comprometían la calidad del producto y entre muchas, la principal fue la presencia de empleados nuevos e inexpertos trabajando en etapas críticas del proceso. Entonces, para solucionar el problema se implementó el ciclo PDCA, que mostró resultados positivos y aumentó el balance productivo en un 3%.

Palabras clave: Sinterización; PDCA; Control Estadístico de Procesos (CEP).

1. Introdução

A qualidade dos produtos é um fator determinante na competitividade das empresas e sua sobrevivência no mercado. Um dos principais objetivos das organizações é diminuir os custos da produção, principalmente aqueles que estão relacionados a perdas e desperdícios. A redução dos custos com perdas no processo produtivo está diretamente relacionada a melhorias nos controles, a padronização e ao acompanhamento contínuo de todos os parâmetros relacionados ao produto ou serviço em questão.

Segundo Paladini (2012), o esforço para agregar qualidade ao processo produtivo gerou uma nova era no esforço pela qualidade. Criaram-se, a partir daí, novas prioridades e novas posturas gerenciais. A Gestão da Qualidade no processo, definida como o direcionamento de todas as ações do processo produtivo para o pleno atendimento do cliente.

O processo de sinterização desempenha um papel crucial na fabricação de componentes metálicos e cerâmicos de alta precisão e resistência. No entanto, a complexidade intrínseca do processo frequentemente resulta em ineficiências, como falhas operacionais e desajustes na gestão da produção. Tais problemas não apenas reduzem a produtividade, mas também aumentam os custos operacionais, afetando a competitividade da empresa no mercado.

Com o intuito de analisar as perdas observadas no processo de sinterização do ferro em uma empresa metalúrgica localizada no Sul Fluminense do estado do Rio de Janeiro, foram aplicadas ferramentas de qualidade como CEP e PDCA no processo produtivo. Sob esta perspectiva, o CEP é fundamentado nos conceitos de variabilidade e qualidade. É considerado um recurso que proporciona o acompanhamento e monitoramento do processo produtivo, através de especificações e/ou variáveis de controle previamente determinadas.

Dentro deste cenário, metodologias de melhorias contínuas como o ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) emergem como soluções eficazes para enfrentar esses desafios. O ciclo PDCA, desenvolvido por Walter A. Shewhart e popularizado por W. Edwards Deming, é uma ferramenta sistemática que promove a identificação e resolução de problemas através de um ciclo contínuo de planejamento, execução, verificação e ação corretiva. Sua aplicação em processos industriais visa não apenas corrigir falhas existentes, mas também prevenir a ocorrência de novas falhas, garantindo melhorias sustentáveis a longo prazo.

Este trabalho apresenta um estudo de caso detalhado sobre a aplicação do ciclo PDCA em uma linha de produção de sinterização. A pesquisa analisa dados coletados antes e depois da implementação do PDCA, identificando os fatores chave que contribuíram para o aumento de 3% na produção. Além disso, compara os resultados com outros estudos de caso na literatura, como os trabalhos de Souza e Silva (2022) sobre Kaizen, Pereira e Almeida (2021) sobre Six Sigma, evidenciando a superioridade relativa do PDCA no contexto analisado. Esta análise não apenas valida a eficácia do ciclo PDCA, mas também oferece um modelo replicável para outras indústrias que buscam otimizar seus processos produtivos.

O objetivo geral deste estudo é analisar o processo de sinterização, verificar as falhas que comprometem a produção e implementar melhorias no processo de sinterização em uma empresa de produção de aço localizada no sul do estado, utilizando a combinação do controle estatístico do processo e o ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act).

2. Fundamentação Teórica

2.1 Processo de sinterização

O processo de sinterização é uma técnica de manufatura utilizada para produzir peças metálicas a partir de pós finamente divididos. Esse processo envolve várias etapas críticas: a mistura dos pós-metálicos, a compactação, a pré-sinterização e a sinterização propriamente dita. Na etapa de mistura, os pós-metálicos são homogeneizados para garantir uma composição uniforme. Em seguida, durante a compactação, esses pós são prensados em moldes específicos para formar uma peça bruta. A pré-sinterização, realizada a temperaturas relativamente baixas, ajuda a eliminar aglomerados e a aumentar a resistência da peça compactada. Finalmente, a sinterização ocorre em altas temperaturas, abaixo do ponto de fusão do material principal, promovendo a coalescência das partículas e a formação de ligações metálicas fortes (German, 1996).

A sinterização é um processo crucial na fabricação de aço, onde matérias-primas finamente moídas, como minério de ferro, coque fino, fundentes e produtos siderúrgicos reciclados, são aquecidos a uma temperatura abaixo do ponto de fusão em um forno especial. Durante o processo de sinterização, as partículas de minério de ferro são aglomeradas e fundidas parcialmente para formar o "sínter", que é um produto poroso e resistente, essencial para produção de aço. Essa etapa é fundamental para preparar o minério de ferro para o alto-forno, onde será transformado em ferro-gusa (American Iron and Steel Institut – AISI, 2020).

No processo de sinterização, a mistura de matérias-primas é depositada em camadas em um leito no forno de ignição. O calor é então aplicado gradualmente, aumentando a temperatura até atingir cerca de 1300 a 1500 °C.

Durante esse aquecimento, ocorrem várias reações físicas e químicas, incluindo a formação de líquidos e gases, que ajudam a aglomerar e consolidar as partículas de minério de ferro, formando o sínter. A velocidade de aquecimento, a composição da mistura e outros parâmetros são cuidadosamente controlados para garantir a qualidade e a consistência do sínter produzido (World Steel Association, 2019).

Após a sinterização, o sínter é resfriado e quebrado em pedaços menores, que são então utilizados como carga no alto-forno juntamente com outras matérias-primas, como minério de ferro granulado, coque e calcário. No alto-forno, o sínter é aquecido ainda mais até que o minério de ferro seja reduzido a ferro-gusa líquido, que é então convertido em aço em outros processos siderúrgicos.

A qualidade do sínter produzido tem um impacto significativo na eficiência e na qualidade do aço final, tornando o processo de sinterização uma etapa crítica na produção de aço (Steelmaking, 2018).

Este processo é fundamental para a indústria siderúrgica, pois permite a utilização eficiente de matérias-primas e contribui para a redução dos custos de produção de aço. Além disso, a sinterização também desempenha um papel importante na minimização do impacto ambiental da indústria siderúrgica, pois permite a reciclagem de produtos siderúrgicos e a redução

do consumo de recursos naturais. Portanto, entender e otimizar o processo de sinterização é essencial para a competitividade e a sustentabilidade da indústria siderúrgica global (Oliveira & Bagatini, 2018).

2.2 Os desafios do processo de sinterização

O processo de sinterização enfrenta diversos desafios, como a porosidade excessiva, que pode comprometer a resistência mecânica da peça, a má densificação, que resultam em produtos finais com propriedades inadequadas, deformações indesejadas devido ao encolhimento desigual e a falta de uniformidade na composição química das peças sinterizadas. Esses problemas podem ser exacerbados por uma série de fatores, incluindo a composição dos pós-metálicos, as condições de temperatura e atmosfera durante a sinterização, os métodos de compactação e as técnicas de monitoramento empregadas (Kang, 2004).

Para melhorar a sinterização, várias estratégias são frequentemente implementadas, como:

- Ajustes na composição dos pós-metálicos podem otimizar as propriedades finais do produto;
- Controle rigoroso da temperatura e da atmosfera durante a sinterização é crucial para garantir uma sinterização uniforme;
- Melhorias na compactação dos pós, como o uso de técnicas de prensagem isostática, podem aumentar a densificação das peças;
- Implementação de técnicas de monitoramento em tempo real, como sensores avançados de temperatura e atmosfera, pode assegurar a qualidade constante do processo (Kaysser, 2000).

Tecnologias emergentes, como a metalurgia do pó aditiva, também estão sendo exploradas para melhorar a eficiência e a precisão do processo de sinterização. A manufatura aditiva permite a criação de geometrias complexas e a otimização da microestrutura dos materiais, oferecendo novas oportunidades para o desenvolvimento de peças com propriedades mecânicas superiores e menor desperdício de material (Montes & Salak, 2019).

Para identificar os parâmetros que precisam sofrer interferências ou ajustes para que o processo de sinterização atinja o seu melhor desempenho, ou o fator que já está em condições ótimas, ferramentas de gestão serão necessárias para a implementação da qualidade.

Ferramentas da qualidade desempenham um papel essencial na gestão e melhoria do processo de sinterização. Ferramentas como o ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act), o diagrama de Ishikawa (ou diagrama de causa e efeito), a análise de Pareto e o controle estatístico de processo (CEP) são aplicadas para coletar dados, identificar problemas, propor soluções e monitorar a eficácia das melhorias implementadas. O ciclo PDCA, por exemplo, pode ser usado para estruturar os esforços de melhoria contínua no processo de sinterização, garantindo que as mudanças sejam planejadas, executadas, verificadas e ajustadas conforme necessário. O diagrama de Ishikawa ajuda a identificar as causas raiz dos problemas, enquanto a análise de Pareto pode destacar as principais áreas de atenção que têm o maior impacto na qualidade do processo. O CEP permite o monitoramento constante das variáveis críticas do processo, garantindo que ele permaneça dentro dos limites de controle especificados (German, 1996; Kang, 2004; Kaysser, 2000; Montes & Salak, 2019).

Dentre elas, destaca-se o CEP para identificar as variáveis críticas do processo de sinterização deste estudo de caso e a ferramenta ciclo PDCA para solucionar os problemas encontrados através do CEP. O controle estatístico de processo é uma metodologia baseada na coleta e análise de dados estatísticos para monitorar e controlar um processo de produção. Ele utiliza gráficos de controle para rastrear variáveis críticas, como temperatura, pressão e densidade das peças durante a sinterização. Isso permite identificar variações no processo que podem indicar problemas antes que eles resultem em defeitos nos produtos. A aplicação do CEP pode ajudar a manter o processo dentro dos limites de controle especificados, assegurando a consistência e a qualidade das peças produzidas. A implementação deste envolve a definição de limites de controle baseados em dados históricos,

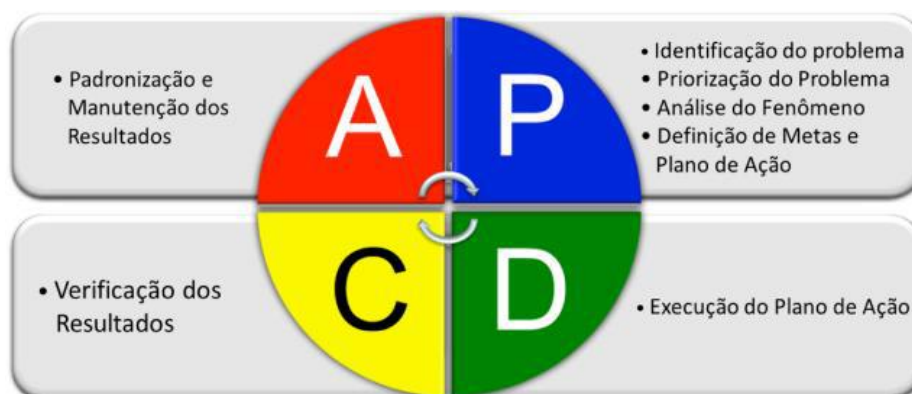
a coleta contínua de dados durante a produção e a análise desses dados para detectar desvios significativos. Quando um desvio é identificado, ações corretivas podem ser tomadas imediatamente para corrigir o processo e prevenir perdas. A eficácia do CEP em garantir a qualidade e a eficiência do processo de sinterização é bem documentada, tornando-o uma ferramenta indispensável para a indústria (Montgomery, 2012; Juran & Godfrey, 1999).

2.3 Sobre o ciclo PDCA

O ciclo PDCA ficou conhecido no Japão nos anos 50. após ser levado por Deming, Shewhart que percebeu que seu modelo também era aplicável para processos repetitivos de melhoria de atividades de planejamento. O ciclo de Deming foi criado por Walter A. Shewart, em 1920, mas ficou mundialmente conhecido como ciclo de Deming (Moen & Norman, 2007). Para Carpinetti (2012) o “PDCA pode ser aplicado em todas as áreas funcionais de uma organização, nas quais podem ser identificadas as funções da administrativa”. Em termos teóricos, o ciclo PDCA tem promovido mudanças e benefícios significativos, aprimoramento da qualidade, pois incorpora vários métodos, cada um voltado para uma finalidade específica, soluciona problemas e melhoria de resultados (carpinetti, 2012). O PDCA é um método amplamente aplicado para o controle eficaz e confiável das atividades de uma organização, principalmente aquelas relacionadas às melhorias, possibilitando a padronização nas informações de controle de qualidade e a menor probabilidade de erros nas análises ao tornar as informações mais claras (Gonzalez, 2015). De modo geral o ciclo PDCA pode ser interpretado como um método dinâmico que auxilia a resolver problemas, e conseqüentemente, tomar decisões de modo organizado, potencializado por meio de ações.

Marshall et al. (2006) apresentaram as etapas do PDCA dividindo em 4 etapas: Plan (planejar), nesta fase é fundamental definir objetivos e as metas que pretende alcançar. Do (fazer), esta etapa tem por objetivo a prática, por esta razão, é imprescindível oferecer treinamentos na perspectiva de viabilizar o cumprimento dos procedimentos aplicados na etapa anterior. No decorrer desta fase precisam-se colher informações que serão aproveitadas na próxima etapa. Check (verificar) = etapa que é feita a averiguação do que foi planejado mediante as metas estabelecidas e dos resultados alcançado e por fim Act (ação), essa última etapa proporciona duas opções a ser seguida, diagnosticar qual é a causa raiz do problema bem como a finalidade de prevenir à reprodução dos resultados não esperados, as metas que não foram atingidas. E a segunda opção segue esboço da primeira, mas com um diferencial se as metas estabelecidas foram alcançadas. Caso ao girar o PDCA, conforme Figura 1 os resultados obtidos não for o esperado, o ciclo deverá ser reiniciado.

Figura 1 - Modelo conceitual do ciclo PDCA.



Fonte: Silva et al (2017).

Visto que o ciclo PDCA pode ser usado para estruturar os esforços de melhoria contínua no processo de sinterização, então, para um melhor entendimento do processo de melhoria contínua tem-se a idéia que tudo pode ser melhorado. A melhoria contínua é definida por uma busca permanente nos processos e a tudo que possa ser aplicado. Sendo realizado como investimento para empresa e tornando parte dela demandando sua aplicação com um aculturamento. O processo de melhoria contínua não tem como principal característica seu crescimento ou mudanças significativas, trata-se sim de um processo gradativo com constantes mudanças (Gozzi, 2015).

3. Metodologia

A atual pesquisa utiliza a metodologia de revisão narrativa, conforme Mendes (2022), onde inicialmente foi feito o estudo bibliográfico para escolha das ferramentas da gestão da qualidade, utilizando artigos, livros, sites publicados em Data base da CAPES (periódicos CAPES), Google acadêmico, Biblioteca Pearson, Biblioteca Saraiva e Minha Biblioteca do UGB, o qual foram utilizadas as palavras para a busca: controle estatístico de processo na sinterização do ferro, ciclo PDCA na sinterização do ferro, foram encontrados 95 artigos, utilizando o critério para a seleção de que todos deveriam abordar de algum modo sinterização. Destes, foram excluídos 52 (cinquenta e dois) por não cumprirem os critérios de inclusão, se encontrar repetidos ou por não estarem acessíveis para leitura completa. Assim, o número de artigos analisados para a realização deste trabalho foram 43 (quarenta e três) artigos, sendo 13 (treze) em língua inglesa e 30 (trinta) em língua portuguesa. Este estudo foi conduzido em uma empresa de produção de aço localizada no sul do estado do RJ, visando a otimização do processo de sinterização por meio da aplicação do ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) e Controle Estatístico de Processo (CEP). A metodologia adotada incluiu etapas detalhadas de coleta de dados, planejamento, execução, verificação e ação corretiva, com foco específico no aumento de 3% na produção.

A fase inicial de coleta de dados ocorreu ao longo de doze meses, divididos em dois períodos de seis meses: antes e depois da implementação do ciclo PDCA. Durante este período, foram coletados dados referentes à produção programada e à produção real, permitindo a análise do saldo mensal. Esta coleta foi crucial para a identificação de padrões de ineficiência e principais falhas operacionais.

Na fase de planejamento, foi utilizado o CEP para identificar os pontos críticos do processo de sinterização. A análise ajudou a mapear as atividades que tinham impacto direto nos prazos de produção e na eficiência geral do processo. Esta análise permitiu uma compreensão detalhada das etapas que necessitavam de intervenção para reduzir atrasos e melhorar a produtividade.

Com as informações obtidas através desta análise, foram delineadas as ações específicas no ciclo PDCA. A fase de execução envolveu a implementação dessas ações, a fase de verificação consistiu no monitoramento contínuo dos resultados após a implementação das ações planejadas e a fase, de ação corretiva, baseou-se nos resultados da fase de verificação. Ajustes operacionais foram realizados conforme necessário, baseando-se no feedback dos operadores e nos dados de desempenho. As melhores práticas que demonstraram ser eficazes foram documentadas e padronizadas. As metas de produção foram revisadas para assegurar que continuassem desafiadoras, mas alcançáveis.

4. Resultados e Discussão

A produção é tida como uma junção de processos e operações que objetivam a realização ou transformação de bens ou serviços. A disposição de materiais no espaço físico e intervalo de tempo disponíveis é tida como o processo. Ao termo operações refere-se a cada atividade isolada, inerente à sequência preestabelecida do processo, para a transformação do produto (SHINGO, 1996).

4.1 Processo de Sinterização

No Quadro 1 são apresentados os dados de controle de produção de ferro, onde são acompanhados os dados programados e produzidos para se obter o saldo, porém pode se observar que o saldo está em vermelho, ou seja, a produção programada não foi atingida ao longo dos meses de janeiro a junho de 2023, gerando assim um valor significativo abaixo do esperado.

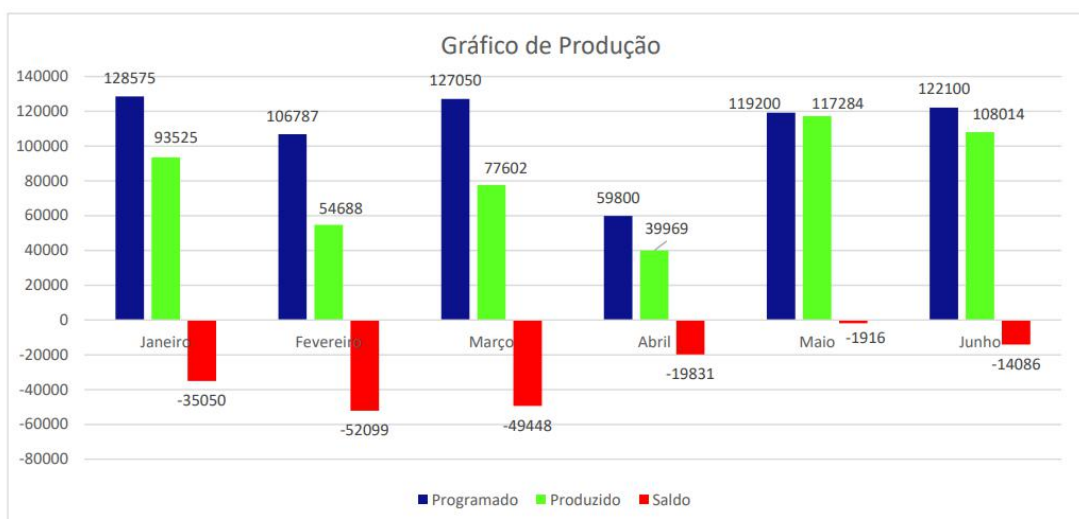
Quadro 1 - Controle de produção no processo de Sinterização no período de janeiro a julho de 2023.

Controle de Produção da Sinterização	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho
Mês						
Programado	128575	106787	127050	59800	119200	122100
Produzido	93525	54688	77602	39969	117284	108014
Saldo	-35050	-52099	-49448	-19831	-01916	-14086
Total Programado	663512					
Total Produzido	491142					

Fonte: Autores (2024).

Perante os dados obtidos através do Quadro 1, foi gerado o Gráfico 1 que possibilita uma visão mais generalizada o processo de produção de ferro na etapa de sinterização.

Gráfico 1 - Processo de produção de sinter.



Fonte: Autores (2024).

Observa-se no Gráfico 1, que a porcentagem de ferro produzido em relação ao programado entre os meses de janeiro a junho de 2023, foram: janeiro(72,73%), fevereiro (51,21%), março (61%) e abril (66,83%), com isso verifica-se que o mês com a maior perda na produção em relação ao programado, foi o mês de fevereiro, sendo que os demais meses contribuíram no resultado final com o saldo negativo e a partir desses resultados verificou-se a necessidade de se investigar as possíveis causas dessas perdas no processo para realizar uma tomada de decisão com relação a redução dessas perdas.

No Quadro 2, são apontados os fatores responsáveis pelos motivos das perdas ocorridas no processo de sinterização do ferro no período de janeiro a junho de 2023.

Quadro 2 - Os motivos das perdas no processo de sinterização no período de janeiro a junho de 2023.

Mês	Motivos das perdas
Janeiro	Falta de treinamento adequado dos operadores e manutenção inadequada das máquinas;
Fevereiro	Alta frequência de falhas nas máquinas e processos não otimizados;
Março	Planejamento de produção ineficiente devido frequência de falhas nas máquinas do processo;
Abril	Gargalos nos processos e tempos de ciclo prolongados;
Maiο	Problemas menores de eficiência e controle de qualidade;
Junho	Falhas não planejadas nas máquinas e falta de manutenção

Fonte: Autores (2024).

Com isso os saldos negativos podem ser atribuídos a vários fatores críticos que foram detectados ao analisar os motivos das perdas nos processos, como:

a) Falta de Treinamento Adequado dos Operadores:

- Muitos operadores não tinham o treinamento necessário para operar as máquinas de forma eficiente, resultando em erros frequentes e baixa produtividade.

- A falta de habilidades específicas impediu a otimização do uso das máquinas, causando tempos de ciclo mais longos e maior taxa de defeitos.

b) Manutenção Inadequada das Máquinas:

- A manutenção das máquinas não era realizada de forma preventiva, levando a falhas frequentes e tempo de inatividade não planejado.

- A ausência de uma rotina de manutenção preventiva causava interrupções inesperadas na produção, impactando negativamente os volumes de produção real.

c) Processos Ineficientes:

- Os processos de produção não estavam otimizados, resultando em etapas desnecessárias que aumentavam o tempo de produção.

- Havia uma falta de análise detalhada do fluxo de trabalho para identificar e eliminar gargalos, levando a uma utilização ineficiente dos recursos disponíveis.

d) Falta de Monitoramento Contínuo:

- Não havia um sistema eficaz de monitoramento contínuo da produção, o que dificultava a identificação rápida de problemas e a implementação de soluções imediatas.

- A ausência de indicadores de desempenho significava que os desvios não eram detectados a tempo, permitindo que pequenos problemas se transformassem em grandes obstáculos.

e) Planejamento de Produção Ineficiente:

- A programação da produção não considerava de forma adequada as capacidades reais das máquinas e da equipe, resultando em metas irrealistas que não podiam ser atingidas.

- A falta de integração entre planejamento e execução criou desajustes entre o que era programado e o que realmente podia ser produzido.

Para solucionar tais problemas verificados na investigação, implementou-se a ferramenta de gestão da qualidade com o objetivo de otimizar o processo de sinterização por meio da aplicação do ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act).

Inicialmente, a fase de planejamento envolveu a identificação dos principais problemas que impactavam a eficiência da produção de sinterização. A análise de dados históricos da empresa permitiu identificar padrões de ineficiência e principais falhas ocorridas nos seis meses anteriores à implementação. Além disso, foram realizadas sessões de brainstorming com operadores e gerentes, coletando insights valiosos sobre possíveis causas das falhas. Com base nessas informações, foram estabelecidas metas específicas e mensuráveis para a melhoria da produção, objetivando um aumento de pelo menos 3% na eficiência produtiva.

De acordo com Araújo (2017), a etapa de Planejamento, por ser o início do ciclo PDCA, é considerada a mais significativa, e sempre é a mais complicada e que exige mais esforços.

Durante a fase de execução, foram implementadas várias ações planejadas. Primeiramente, os operadores receberam treinamentos intensivos focados no uso eficiente das máquinas e na aplicação das melhores práticas operacionais. Em paralelo, foi iniciado um programa de manutenção preventiva regular, com o intuito de reduzir falhas e paradas não planejadas. Adicionalmente, os processos produtivos foram redefinidos e simplificados, eliminando gargalos e etapas desnecessárias, conforme análise do fluxo de trabalho da empresa. De acordo com Gregório (2018), a manutenção preventiva é realizada de forma planejada, em intervalos predeterminados ou de acordo com critérios específicos, em equipamentos que não estejam em falha. Esse tipo de manutenção é destinado a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item. O principal objetivo é evitar uma parada indesejada da produção.

Da mesma forma, Silva (2019) examinou as estratégias de melhoria contínua em indústrias metalúrgicas e encontrou que a rotatividade de funcionários e a incorporação de novos operadores sem a devida preparação foram fatores que contribuíram para a ineficiência e os altos índices de falhas nos processos. Silva enfatizou a importância de investir em treinamentos intensivos e regulares para todos os funcionários, especialmente para aqueles alocados em posições críticas no processo produtivo. Silva também sugeriu que as empresas devem desenvolver programas de certificação interna para garantir que todos os operadores alcancem um nível mínimo de competência antes de serem alocados em funções críticas. Segundo Montgomery (2019), "a falta de treinamento adequado pode levar a uma alta taxa de variabilidade e defeitos na produção, impactando diretamente a eficiência e os custos operacionais".

Na fase de verificação, os resultados das ações implementadas foram monitorados continuamente. Para isso, foram coletados e analisados dados mensais de produção, comparando-os com as metas estabelecidas, de 3%. Reuniões periódicas de avaliação com a equipe permitiram discutir os resultados e identificar possíveis ajustes necessários. Indicadores de desempenho específicos (KPIs), como taxa de produção, tempo de ciclo e taxa de falhas, foram utilizados para avaliar a eficácia das ações implementadas. Com base nos resultados obtidos na fase de verificação, a etapa de ação corretiva foi executada. Nessa fase, ajustes operacionais foram realizados conforme necessário, baseando-se no feedback dos operadores, ferramenta brainstorming e nos dados de desempenho (Marshall, 2012). As melhores práticas que demonstraram ser eficazes na melhoria da produção foram documentadas e padronizadas. Além disso, as metas de produção foram reavaliadas para assegurar que continuassem desafiadoras, mas alcançáveis.

Para validar os resultados, foi realizada uma comparação com outros estudos de caso disponíveis na literatura, que aplicaram metodologias como Kaizen e Six Sigma em processos de sinterização. A comparação considerou o aumento percentual na eficiência produtiva, as abordagens e ferramentas empregadas em cada estudo, e os resultados obtidos em termos de produção real versus programada. Souza e Silva (2022) relataram uma melhoria de 2% na produção utilizando a metodologia Kaizen, enquanto Pereira e Almeida (2021) observaram um aumento de 2,5% com a aplicação do Six Sigma. Em contraste, a aplicação

do ciclo PDCA na empresa estudada resultou em um aumento de 3%, destacando a eficácia desta metodologia no contexto analisado, conforme demonstrado na Figura 2.

Figura 2 - Implementação do ciclo PDCA no processo da Sinterização.



Fonte: Autores (2024).

O Quadro 3, apresenta os dados do controle de produção da sinterização nos meses de julho a dezembro de 2023, onde são lançados os dados programados e os produzidos, e foi observado que após a implementação do ciclo PDCA, o saldo no processo de sinterização do ferro superou ao total dos valores programado. Verificando que a ferramenta de qualidade foi essencial para o êxito do processo.

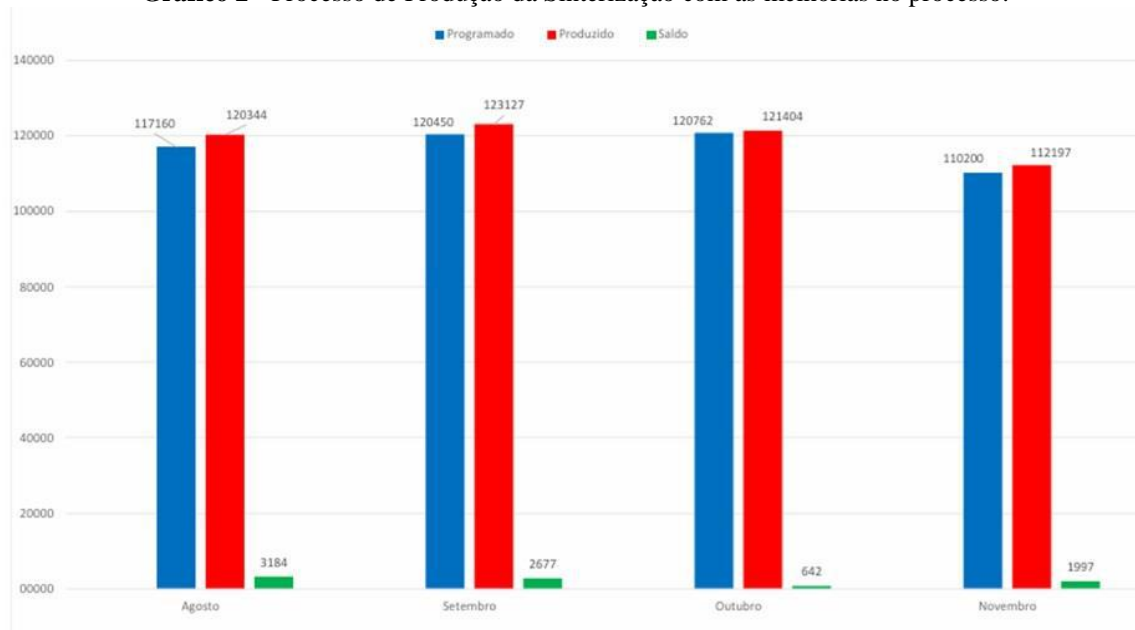
Quadro 3 - Controle de produção da sinterização após a aplicação do ciclo PDCA durante os meses de agosto a novembro de 2023.

Controle de Produção da Sinterização	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Mês						
Programado	115000	117160	120450	120762	110200	115500
Produzido	118450	120344	123127	121404	112197	117985
Saldo	3450	3184	2677	642	1997	2485
Total Programado		699072				
Total Produzido		713507				

Fonte: Autores (2024).

No Gráfico 2, foi representado em gráfico o controle de produção de Sinterização, dados do quadro 3, após as melhorias através da aplicação do ciclo PDCA em uma empresa de siderurgia.

Gráfico 2 - Processo de Produção da Sinterização com as melhorias no processo.



Fonte: Autores (2024).

Após a implementação do ciclo PDCA, os dados mostraram uma produção superior ao programado em todos os meses, resultando em saldos positivos. Os fatores que contribuíram para esses resultados incluem:

- Implementação de manutenção preventiva regular e treinamento intensivo para operadores, melhorando a eficiência operacional.
- Otimização de processos, eliminação de gargalos e ajustes rápidos baseados em monitoramento contínuo dos indicadores de desempenho.
- Monitoramento contínuo e ajustes rápidos de processos, além de melhorias contínuas baseadas no feedback da produção.
- Planejamento de produção eficiente, integração de KPIs e resposta rápida a desvios identificados durante o monitoramento.

Paula e Feroni (2021) destacam que ferramentas como ciclo PDCA possibilita a empresa identificar processos que possuem falhas e possíveis correções.

Silva et al. (2017) concluíram que adoção do ciclo PDCA em uma empresa de bebidas, ajudou a reduzir o índice de perdas de latas no processo produtivo de 0,97% para 0,78% nos primeiros meses e alcançando 0,60% no ano seguinte ao projeto. Melhorias na qualidade e produtividade geradas através de planos de ação foram essenciais para que as metas fossem alcançadas, desperdícios evitados e custos minimizados, assim como foi observado em nossa pesquisa após a aplicação da ferramenta de qualidade PDCA.

5. Conclusão

A implementação do ciclo PDCA na linha de produção de sinterização resultou em melhorias significativas na eficiência produtiva, conforme evidenciado pelo aumento de 3% na produção. Este resultado destaca a eficácia do PDCA como uma

metodologia de gestão de qualidade e melhoria contínua, proporcionando benefícios tangíveis e sustentáveis no contexto industrial.

Os dados analisados demonstraram que fatores como a manutenção preventiva, o treinamento adequado dos operadores, a otimização dos processos produtivos e o monitoramento contínuo dos indicadores de desempenho foram fundamentais para alcançar esses ganhos de eficiência. A manutenção preventiva regular reduziu significativamente as paradas não planejadas, aumentando a confiabilidade das máquinas. O treinamento intensivo capacitou os operadores a utilizarem as máquinas de forma mais eficiente, reduzindo erros operacionais. A otimização dos processos eliminou etapas desnecessárias, melhorando o fluxo de trabalho e a eficiência global. Por fim, o monitoramento contínuo permitiu ajustes rápidos e baseados em dados concretos, garantindo que as metas de produção fossem consistentemente alcançadas.

Comparando com outras metodologias de melhoria contínua, como Kaizen e Six Sigma, o ciclo PDCA mostrou-se ligeiramente superior no contexto analisado. Enquanto o Kaizen e o Six Sigma proporcionaram aumentos de 2% e 2,5%, respectivamente, na eficiência produtiva (Souza & Silva, 2022; Pereira & Almeida, 2021), o PDCA proporcionou um aumento de 3%. Isso sugere que o PDCA, com sua abordagem cíclica e estruturada, pode ser mais eficaz na identificação e resolução de problemas complexos em processos industriais.

Logo conclui-se que a aplicação do ciclo PDCA na produção de sinterização não apenas melhorou a eficiência produtiva, mas também proporcionou uma base sólida para a implementação de melhorias contínuas e sustentáveis, garantindo a competitividade da empresa no mercado global.

Como sugestões futuras, indico o mesmo estudo em outras etapas do processo de produção do aço.

Referências

- Araujo, F. (2017). Aplicação do método pdca para solução de problemas: estudo de caso em uma alimentícia no triângulo mineiro. Joinville: *Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)*, 15 p.
- American Iron and Steel Institut – AISI. (2020). <https://www.steel.org/>
- Campos, V. F. (2004). *TQC: Controle da Qualidade Total no estilo japonês*. Editora: Falconi.
- Carpinetti, L. C. (2012). *Gestão da Qualidade: Conceitos e Técnicas*. (2a ed.), Atlas, 2012.
- Chiavenato, I. (2009). *Gestão de Pessoas: O novo papel dos recursos humanos nas organizações*. Elsevier.
- Cleiton O. S., Agostino, I. R. S., Sousa, S. R. O., Couto, P. F. & Oliveira, R. D. (2017). A utilização do método PDCA para melhoria dos processos: um estudo de caso no carregamento de navios. *Revista Espacios*. 38(27), 9p.
- Corrêa, H. L., & Corrêa, C. A. (2012). *Administração de Produção e Operações: Manufatura e Serviços*. Atlas.
- Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis*. MIT Press.
- German, R. M. (1996). *Sintering Theory and Practice*. John Wiley & Sons.
- Gonzalez, P.U. (2015). Comparação dos índices de capacidade do processo para distribuições não normais. *Revista Gestão e Produção*, v. 16 (1), 121-132p.
- Gozzi, M. P. (2015). *Gestão da qualidade em bens e serviços*. São Paulo: Person.
- Gregório, G. F. P. & Silveira, A. M. (2018). *Manutenção industrial*. SAGAH. Editora: Grupo A Selo.
- Ishikawa, K. (1985). *What is Total Quality Control? The Japanese Way*. Prentice-Hall.
- Jesus, L., Becker, D., & Sebben, M. L. (2010). *Controle Estatístico de Processos: Teoria e Aplicações*. Senai.
- Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1999). *Juran's Quality Handbook*. McGraw-Hill.
- Kang, S. J. L. (2004). *Sintering: Densification, Grain Growth, and Microstructure*. Elsevier.
- Kaysser, W. A. (2000). *Materials Science of Sintering*. Kluwer Academic Publishers.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill.

- Lima, P. C. S., Ramos, M. G., & Santos, M. F. (2000). *Estatística Aplicada à Produção*. LTC.
- Magalhães, M. M. (2005). *Metodologia da Pesquisa Científica*. FGV.
- Marconi, M. A., & Lakatos, E. M. (2008). *Fundamentos de Metodologia Científica*. Atlas.
- Marshall, I. J. E. A. (2012). *Gestão da qualidade e processos*. Rio de Janeiro: FGV.
- Marshall, J. I., Cierco, A. A., Rocha, A. V., Mota, E. B. & Leusin, S. (2006). *Gestão da qualidade*. 7. Ed. Rio de Janeiro: FGV.
- Mascarenhas, S. A. (2012). *Metodologia científica*. São Paulo: Pearson.
- Matos, J. B. (2012). *Métodos Quantitativos em Pesquisa Científica*. Elsevier.
- Melo, M. B. R., Pinto, M. B., Melo, D. J. & Brito, J. N. (2017). Aplicação de ferramentas da qualidade no método PDCA para melhoria contínua: estudo de caso numa empresa fabricante de autopeças. Os Desafios da Engenharia na Era da Inovação Anais do XV CONEMI – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica e Industrial IX SEEMI – Seminário Estadual de Engenharia Mecânica e Industrial.
- Mendes, C. (2022). O que é uma revisão narrativa de literatura: exemplos e considerações da metodologia. <https://www.youtube.com/watch?v=YIBWSVsxvRM>
- Moen, R. & Norman, C. (2020). *Evolution of the PDSA Cycle*. Disponível em <http://deming.ces.clemson.edu/PDF>.
- Montgomery, D. C. (2012). *Introduction to Statistical Quality Control*. John Wiley & Sons.
- Montgomery, D. C. (2014). *Introduction to Statistical Quality Control*. John Wiley & Sons.
- Montes, J. M., & Salak, A. (2019). *Powder Metallurgy: Science, Technology, and Materials*. Elsevier.
- Oliveira, A. C. (1999). *Metodologia Científica: Guia para eficiência nos estudos*. Atlas.
- Oliveira, V. F. & Bagatini, M. C. (2018). Avaliação teórica e experimental do uso de resíduos siderúrgicos na sinterização. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas)
- Paula, J. C. M., & Feroni, R. de C. (2021). Utilização do ciclo PDCA e aplicação do milk run em um processo de logística reversa em uma indústria de alimentos. *Brazilian Journal of Production Engineering - BJPE*, 16–30p.
- Pereira, L. F. & Almeida, R. S. (2021). Aplicação do método Six Sigma na otimização do processo de sinterização. *Revista Brasileira de Engenharia de Produção*, 35(2), 89-102p.
- Ramos, M. G. & Lima, P. C. S. (2006). *Qualidade Total e Produtividade*. Atlas.
- Santos, A. F. (2011). *Metodologia da Pesquisa Científica para Iniciantes*. Saraiva.
- Shingo, S. (1996). *O sistema Toyota de produção: Do ponto de vista da engenharia de produção*. Bookman.
- Slack, N., Chambers, S. & Johnston, R. (2002). *Administração da Produção*. Atlas.
- Souza, J. R. & Silva, M. A. (2022). Melhoria contínua em processos de sinterização utilizando a metodologia Kaizen. *Revista de Engenharia de Produção*, 28(3), 123-134p.
- Tenório, F. G. (2010). *Controle Estatístico da Qualidade*. Elsevier.
- Vianna, N. T. (2001). *Técnicas de Pesquisa Aplicada*. Pioneira.
- Wordstell association. (2019). Disponível em: <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/2019-World-Steel-in-Figures.pdf>
- Xu, Lu et al.(2020). Quality management theory development via meta-analysis. *International Journal of Production Economics*, 229, 107759p.