

# Desenvolvimento da Carta de Controle no processo siderúrgico

## *Control chart development process in steel*

- <sup>1</sup> Amanda Batista Lopes  
<sup>1</sup> Carlos Eduardo Erbiste de Rezende  
<sup>1</sup> Douglas Braga Cardoso  
<sup>1</sup> Mariana de Almeida Freitas  
<sup>2</sup> Byanca Porto de Lima  
<sup>2</sup> Marcello Silva e Santos  
<sup>2</sup> Sérgio Ricardo Bastos de Mello [sergio.mello@foa.org.br](mailto:sergio.mello@foa.org.br)

1 Graduado em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário de Volta Redonda/UniFOA.

2 Docentes do Centro Universitário de Volta Redonda/UniFOA.

### Resumo

A qualidade, ao longo dos tempos, se tornou para as indústrias um fator decisivo num mercado competitivo, com consumidores cada vez mais exigentes. A melhoria na qualidade passa necessariamente pela melhoria do processo produtivo, que, por sua vez, possui variabilidade, o que pode acarretar desvio da qualidade no produto final. Com isso, ferramentas foram desenvolvidas, com o passar dos anos, para orientar as empresas na busca pela excelência em qualidade. O CEP – Controle Estatístico do Processo, criado por Shewart, é uma poderosa ferramenta na tentativa de manter ou obter o controle da variabilidade, podendo ser aplicado a cada etapa do processo produtivo. Embora sua utilização não seja um fato novo no mercado quando se trata de qualidade, ainda existem empresas, como a Votorantim Siderurgia, que não as utilizam como forma de demonstração e controle da variabilidade de processo. Este projeto propõe um método para implementar as cartas de controle no processo produtivo de aços longos, fazendo com que sejam identificadas as causas e, conseqüentemente, os pontos a serem melhorados ao longo das etapas produtivas. O método para implementação da carta se dá por meio da identificação da variável; a escolha da carta de controle mais apropriada com base nos dados coletados; elaboração dos gráficos de controle, utilizando softwares específicos ou manualmente; análise e conclusão da leitura das cartas de controle por pessoal capacitado.

### Palavras-chave

Qualidade; CEP; variabilidade; cartas de controle.

### ABSTRACT

Over the time quality became for industries a decisive factor in a competitive market with increasingly demanding consumers. The improvement in the quality hinges on improving the production process, which in turn has variability, which can cause deviation of quality in the final product. So tools have been developed over the years to guide companies in the pursuit of excellence in quality. The CEP - Statistical Process Control, created by Shewhart, is a powerful tool in dealings to maintain or gain control of variability, can be applied to each stage of the production process. Although their use is not new in the market when it comes to quality, there are still companies like Votorantim Steel that do not use as a means of demonstration and control of process variability. This project proposes a methodology to implement control charts in the production process of long steel, to identified the causes and consequently the points to be improved along the production steps. The methodology for implementation of the charts to give the variable identification, the choice of the most appropriate control chart based on the collected data, preparation of control charts using specific software or manually, analysis and completion of the reading of the control charts for trained staff.

### Keywords

Quality; SPC; variability; control charts.

### Como você deve citar?

MELLO, S.R.B. et al. Desenvolvimento da Carta de Controle no processo siderúrgico. **Cadernos UniFOA Especial Eng. Produção**, Volta Redonda, n. 2, p. 51-62, ago. 2015.

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema produtivo nasceu como um processo artesanal. Segundo Araújo (2010), os artesãos eram responsáveis pela fabricação do produto e pela sua qualidade. Contemporaneamente, com o crescente desenvolvimento do mercado, muitos produtos são fabricados em alta escala, levando naturalmente a uma crescente automação dos métodos e processos. Tal cenário de mudanças promoveu o crescente nível de exigência dos clientes, cada vez mais conscientes de seus direitos. Isso impulsionou as empresas na busca de melhorias em seus processos e produtos, a fim de equilibrar o binômio: satisfação do cliente e margem de lucro esperado.

Segundo Deming (1990), para a operação assegurar que produtos e serviços de alta qualidade satisfaçam as necessidades dos clientes é necessário empregar técnicas estatísticas para identificar as duas fontes de desperdício: causas sistêmicas (85%) e falhas locais (15%), procurando reduzir cada vez mais esses desperdícios.

Segundo Toledo *et. al.* (2013), o CEP ajuda a identificar e priorizar as causas de variação da qualidade, ou seja, tem como objetivo eliminar todas as causas resultantes em não conformidade. Essas variações podem ser comuns, com difícil identificação, pois são pequenas causas que provocam a variação aleatória, e podem ser especiais, de fácil identificação, sendo mais rápida a sua correção.

O CEP se tornou mais que uma ferramenta estatística. Passou a ser compreendido como um conjunto de princípios de gerenciamento de técnicas da Estatística e da Engenharia de Produção, garantindo a estabilidade e melhoria do processo (TOLEDO *et. al.*, 2013).

A Votorantim Siderurgia, Unidade Resende, onde foi desenvolvido este trabalho, não aplica as cartas de controle para monitoramento da variabilidade no processo de fabricação de aços longos.

Foram feitos estudos baseados em material bibliográfico e artigos científicos sobre controle estatístico do processo, controle da qualidade, cartas de controle, entre outros, e levantamento de dados na empresa analisada.

Como este trabalho envolve visitação à empresa, levantamento de dados históricos do processo estudado, revisão bibliográfica sobre a matéria tratada e proposição de método para implantação de ferramenta de controle de processo, a metodologia adotada envolveu pesquisa exploratória, pesquisa bibliográfica e pesquisa experimental.

O estudo buscará demonstrar a importância da utilização das cartas de controle para identificar a variabilidade no processo de fabricação de aços longos, bem como definir parâmetros para sua aplicação e implementação.

## 2 A EMPRESA

### 2.1 Histórico e Apresentação

A Votorantim Siderurgia surgiu em 1937 com sua primeira instalação para a fabricação de aços longos na cidade Barra Mansa. Está localizada nessa cidade por motivos estratégicos, pois se localiza no eixo Rio de Janeiro/São Paulo. A unidade tem capacidade para produzir 800 mil toneladas de aço ao ano, sendo a primeira usina da América Latina a adotar, como parte de seu processo, o lingotamento contínuo.

Com a crescente alta do mercado siderúrgico e o aquecimento do setor da construção, seus acionistas decidiram, então, aumentar a participação nesse mercado de aço, criando a Votorantim Siderurgia Unidade Resende (VSUR).

A VSUR, como é chamada, foi inaugurada em 2009 e tem capacidade de produzir 1.020 milhão de toneladas de aços longos ao ano e 500 mil toneladas de produtos acabados. Seu modelo de usina e equipamentos é comparado ao de grandes empresas de padrões internacionais. A Votorantim também dispõe de usinas na Argentina e na Colômbia, mas a unidade de Resende é vista como a maior produtora de aços do grupo (VOTORANTIM, 2014).

## 2.2 Processo

O fluxograma da figura 1 ilustra como funciona o processo produtivo da siderúrgica como um todo. Ressalta-se que, para este estudo, cabe, apenas, a descrição da parte onde foi realizado o estudo.

Figura 1 - Fluxograma de Processo.



Fonte: Votorantim Siderurgia, 2014

O processo de produção do aço na Votorantim inicia-se no carregamento de sucata no forno elétrico. Esse equipamento é responsável pela fusão de todo esse material, ou seja, recebe sólido e se torna líquido.

Após a fusão, esse material, já líquido, é vazado em uma panela de aço com paredes refratárias (para suportar a elevada temperatura).

A etapa seguinte é o tratamento desse aço em uma estação de refino secundário, onde são realizados ajustes químicos e térmicos do produto. Nessa etapa do processo, há a preocupação de promover a formação da escória, que é a mistura de óxidos, sulfetos e fluoretos. Para que aconteça a

formação dessa escória são utilizados insumos chamados de fundentes. São eles: cal e fluorita, além de carbetos e cal dolomítica. A análise dessa escória se torna muito importante para o processo, pois assim alguns itens podem ser monitorados, como, por exemplo, o consumo de cal. O resultado dessa análise é conhecido como índice de basicidade, que é o resultado da divisão da quantidade de óxido de cálcio pela quantidade de dióxido de silício.

A formação da escória com a qualidade esperada, também influencia na qualidade do produto final, pois como essa etapa é uma fase de ajuste químico, a escória de ótima qualidade ajuda a promover de forma mais eficiente e rápida essas reações, o que torna o processo mais rápido, ganhando assim em qualidade (na limpeza do aço) e na produtividade.

Após o tratamento químico e térmico e a boa formação da escória, a etapa seguinte é a solidificação do aço em uma máquina de lingotamento contínuo capaz de realizar, por meio de refrigeração, a solidificação e, assim, o produto final sai em forma de tarugo.

### **3 MÉTODO**

Para alcançar o objetivo deste trabalho, ou seja, estabelecer um plano da qualidade para implantação de cartas de controle em processo siderúrgico, foram estabelecidas as seguintes etapas:

- a. Visitação à empresa escolhida para implantação das cartas de controle;
- b. Definição do projeto piloto;
- c. Levantamento e análise crítica dos dados históricos disponibilizados pela empresa;
- d. Proposição de um plano de treinamento;
- e. Escolha do tipo de carta de controle a ser adotado;
- f. Estabelecimento do plano de amostragem;
- g. Proposição de formulário de registro e diário de bordo;
- h. Definição do *software* estatístico para apoio;
- i. Coleta de dados do processo e construção das cartas de controle;
- j. Determinação da estabilidade do processo;
- k. Determinação da capacidade do processo; e
- l. Planejamento e implementação de ações corretivas ou preventivas.

## **4 DESENVOLVIMENTO**

### **4.1 Visitação à Empresa**

A visita ocorreu em 24/03/2014 com o objetivo de conhecer a empresa onde foi realizado o estudo e avaliar as etapas do processo de produção de aços longos para identificar o projeto piloto.

### **4.2 Projeto Piloto**

O projeto piloto foi definido pelo Grupo de trabalho e a equipe do Grupo Votorantim, em sua unidade de aços longos em Resende. A característica crítica para a qualidade nesse processo é a composição química das peças metálicas produzidas, analisada a partir de medidas da basicidade das escórias remanescentes da produção do aço.

A basicidade, como descrita na seção 2.2, é o nome que se dá ao resultado da divisão da concentração de óxido de cálcio (CaO) pela sílica (SiO<sub>2</sub>). Quando a variação desse resultado se encontra acima de 2.0, pode-se considerar que houve um consumo excessivo de óxido de cálcio. A variabilidade da basicidade pode ser observada por meio das cartas de controle.

Para melhor entendimento do processo definido para piloto neste trabalho, algumas variáveis podem ser levadas em consideração quanto ao aumento do consumo de óxido de cálcio e, portanto, responsáveis pela variação da basicidade do aço e, conseqüentemente, da escória. Segundo análise feita pela equipe técnica da empresa, as variáveis que mais impactam no consumo de óxido de cálcio são:

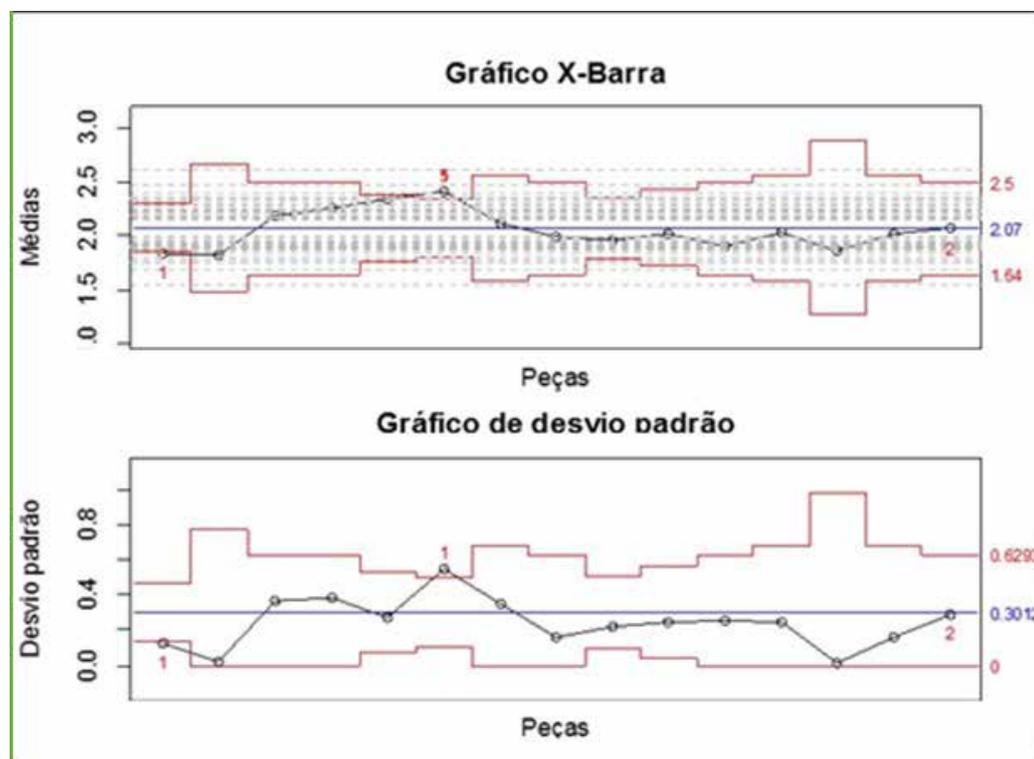
- Temperatura de vazamento: quanto mais alta, maior o nível de oxigênio livre no aço;
- ppm (partes por milhão) de oxigênio: é o resultado da medição de oxigênio livre no banho.

Com uma quantidade muito alta de oxigênio livre no aço, aumenta também a formação de sílica e, conseqüentemente, o consumo de óxido de cálcio será maior.

### 4.3 Levantamento e Análise de Dados Históricos

Para que fosse possível traçar um perfil da eficiência do processo em estudo, a empresa disponibilizou os dados de sua produção. Para conhecer e entender a variabilidade da basicidade no processo, foram construídas cartas de controle com os dados fornecidos, conforme os gráficos 1, 2 e 3. Os dados fornecidos compreendem as análises realizadas no laboratório de basicidade da empresa, ao longo dos meses de janeiro, fevereiro e março, respectivamente.

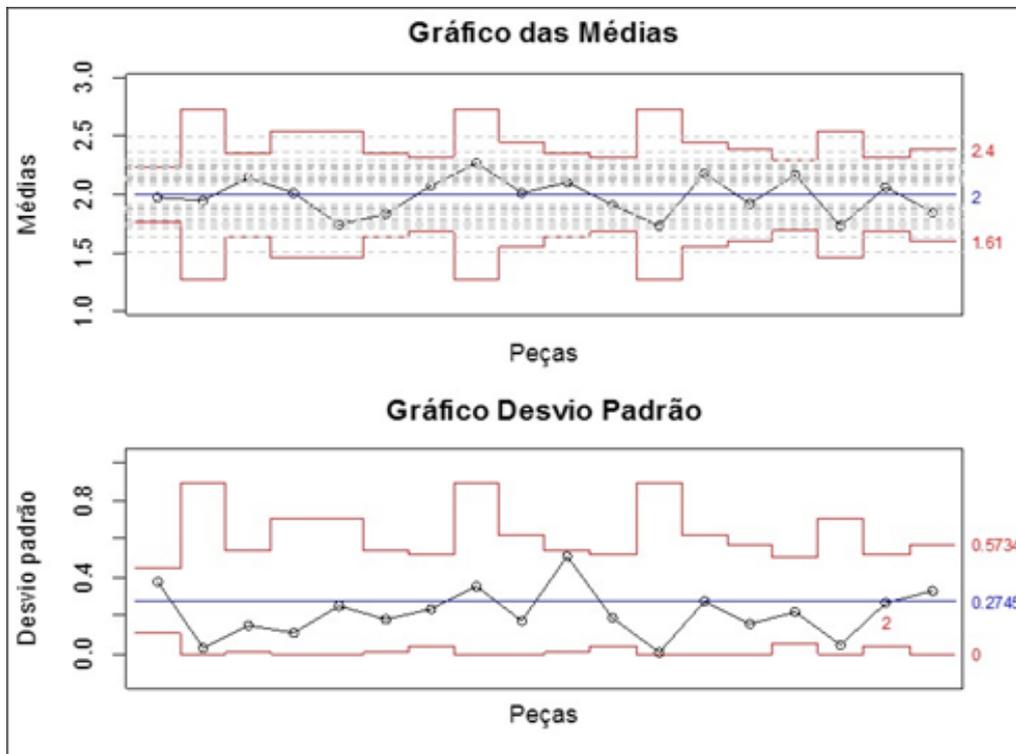
Gráfico 1 - Cartas de Controle – janeiro/2014.



No mês de janeiro, o processo não estava sob controle estatístico. Foi observado nesse período a presença de causas especiais sinalizadas por pontos fora de controle (assinalados no gráfico por

1), sequência de 7 pontos consecutivos de um lado da linha central (assinalada no gráfico por 2), e sequência de pontos com tendência para os limites de controle (assinalada no gráfico por 5).

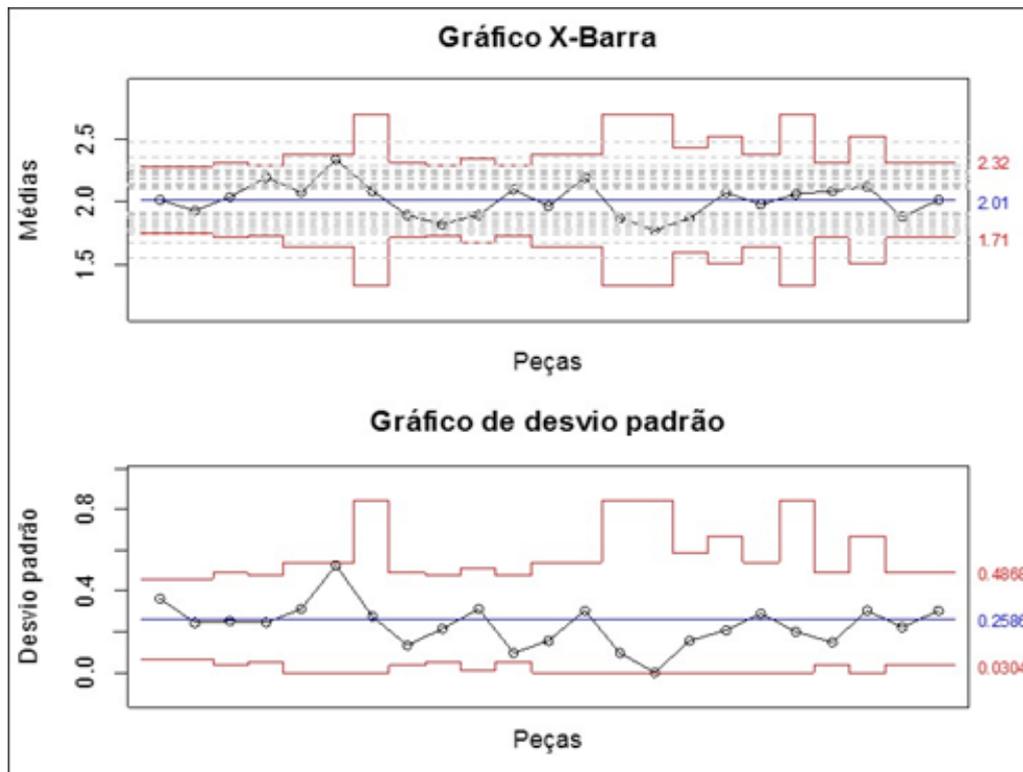
Gráfico 2 - Cartas de Controle – fevereiro/2014.



Fontes: Autores

No mês de fevereiro, o processo não estava sob controle estatístico. Foi observado nesse período a presença de causas especiais sinalizadas por uma sequência de 7 pontos consecutivos abaixo da linha central na carta de controle do desvio padrão. A tendência assinalada por uma sequência de pontos consecutivos abaixo da linha central na carta de controle do desvio padrão poderá ser uma indicação de uma causa especial positiva, ou seja, sinalizar uma oportunidade de melhoria do processo.

Gráfico 3 - Cartas de Controle – março/2014



Fontes: Autores

As cartas de controle  $\bar{X}$  e  $S$  indicaram que o processo está sob controle estatístico.

#### 4.4 Proposição de um Plano de Treinamento

O plano de treinamento deverá abordar os seguintes temas:

- a. Conceitos de detecção e prevenção de defeitos;
- b. Conceitos de causas comuns e especiais;
- c. Fundamentos estatísticos;
  - Técnicas de amostragem;
  - Variáveis aleatórias discretas e contínuas;
  - Medidas de posição e de dispersão;
  - Distribuições de probabilidades;
- d. Ferramentas básicas da qualidade:
  - Histograma;
  - Diagrama de Pareto;
  - Diagrama de causa e efeito;
  - Cartas de controle;
- e. Cartas de controle:
  - Conceitos e cálculos dos limites de controle;
  - Construção, análise e interpretação das cartas de controle;
  - Avaliação da estabilidade e da capacidade do processo;
  - Plano de ações corretivas e preventivas.

#### 4.5 Modelo de Carta de Controle

Como a característica da qualidade a ser controlada é uma variável aleatória contínua, ou seja, os valores do espaço amostral estão definidos em um intervalo dos números reais, um modelo de cartas de controle para variáveis é aplicável a este projeto piloto. As cartas de controle para variáveis mais comumente empregadas são  $\bar{X} - R$  e  $\bar{X} - S$ .

O gráfico de média ( $\bar{X}$ ) avalia as mudanças que ocorrem no processo que está sendo analisado. Essas mudanças no gráfico de médias podem indicar que o processo está se deslocando para fora do que deveria ser a média. (Slack et. al., 2009).

O tipo de gráfico mais utilizado é o da amplitude, porque é mais simples de ser calculada do que o desvio-padrão da amostra. (Slack et. al., 2009).

Porém, segundo Navidi (2012), o desvio padrão indica de forma mais clara a dispersão do processo do que a amplitude, apesar do seu cálculo ser mais complexo.

#### 4.6 Plano de Amostragem

O plano de amostragem inclui a definição do tamanho da amostra, frequência de amostragem e o número de subgrupos.

Segundo Paladini et al. (2012), o plano de amostragem relaciona os níveis de qualidade e os riscos de ocorrerem erros na decisão de um determinado lote, com o tamanho das amostras a serem avaliadas, além dos critérios de rejeição ou aceitação que serão aplicados em todas as peças que façam parte dessa amostra. Um plano de amostragem será classificado como um bom plano quando a qualidade das amostras é, aproximadamente, o nível real da qualidade obtida no lote.

Com base nos dados históricos, pode ser sugerido o tamanho de amostra de 5 análises por turno de trabalho e vinte subgrupos para elaboração das cartas de controle.

#### 4.7 Proposição de Formulário de Registro de Diário de Bordo

Os formulários propostos incluem as cartas de controle  $\bar{X} - S$  e um diário de bordo para rastreamento de causas (reais ou potenciais) para apoio ao processo decisório gerencial. O diário de bordo proposto é apresentado na figura 2.

No campo observações devem ser anotadas todas as anomalias que, por ventura, ocorram no processo. Com isso, é possível investigar a causa raiz daquela situação específica que fez com que a basicidade não tenha atingido o valor determinado.



Segundo Neumann (2013), o índice de capacidade potencial (Cp) é o índice mais simples de capacidade e é encontrado pela razão entre a faixa de especificação e a variação natural do processo, calculado conforme expressão (1). Quanto maior for esse índice, melhor será o processo.

$$Cp = \frac{(LSE - LIE)}{6 * \sigma} \quad (1)$$

Onde:

Cp = Índice de capacidade;

LSE = Limite Superior de Especificação;

LIE = Limite Inferior de Especificação;

$\sigma$  = desvio padrão.

Segundo Navidi (2012), a outra forma de calcular o índice de capacidade é por meio da utilização do índice de capacidade de processo (Cpk). Ele é mais confiável que o Cp, pois em seu cálculo considera a centralização do processo, enquanto o Cp considera apenas a variabilidade. É calculado conforme expressão (2).

$$C_{pk} = \text{é o menor valor entre } \frac{(LSE - \bar{\bar{X}})}{3 * \sigma} \text{ ou } \frac{(\bar{\bar{X}} - LIE)}{3 * \sigma} \quad (2)$$

Onde:

$C_{pk}$  = Índice de capacidade do processo;

LSE = Limite Superior de Especificação;

LIE = Limite Inferior de Especificação;

$\bar{\bar{X}}$  = Média das médias

$\sigma$  = desvio padrão.

#### 4.12 Planejamento e Implementação de Ações Corretivas ou Preventivas

Para os processos que não estão sob controle estatístico, são investigadas as causas especiais para proposição de ações corretivas. Nesse caso, são aplicáveis as ferramentas básicas da qualidade: histograma, diagrama de causa e efeito e diagrama de Pareto, entre outras para a proposição de plano de ação corretiva.

Para os processos sob controle estatístico, mas não capazes de atender à especificação da característica analisada para investigação das causas comuns, são utilizadas técnicas de melhoria para redução da variabilidade do processo. Nesse caso, são utilizadas metodologias Seis Sigmas, que permitem identificar as causas comuns de variação, reduzir as causas comuns de variação, e aplicação de DOE (*Design of experiments*, em português, planejamento de experimentos).

## 5 RESULTADO

Como resultado deste trabalho foi proposta a metodologia para implantação das cartas de controle no processo produtivo de aços longos. A seguir são apresentados resultados específicos alcançados no desenvolvimento da proposta.

O levantamento de dados históricos permitiu as seguintes observações:

- a. a empresa não possui um plano de amostragem definido para o processo analisado; as evidências objetivas dessa afirmação são: não há um tamanho de amostra definida para a coleta de dados e a frequência de amostragem varia entre intervalos iguais de tempo de operação;
- b. na ausência de funcionários, a coleta de dados não é realizada;
- c. causas especiais (meses de janeiro e fevereiro) e oportunidades de melhoria (possivelmente ocorreu no mês de fevereiro) não são observadas.

Portanto, os dados levantados motivam a aplicação das cartas de controle para o projeto piloto definido no processo siderúrgico.

Como neste projeto piloto está previsto a disponibilização de um *software* estatístico para apoio, foram definidas as cartas de controle  $\bar{X} - S$ .

Com base nos dados históricos, pode ser sugerido o tamanho de amostra de 5 análises por turno de trabalho e vinte subgrupos para elaboração das cartas de controle.

Para este projeto foi definido o Excel, com o aplicativo *Action* (licença livre), por ser mais difundido em diferentes níveis e por estar disponível na empresa.

Foi implantado o diário de bordo proposto na figura 2.

## 6 CONCLUSÃO

O estudo demonstra que a aplicação da carta de controle no processo siderúrgico é, não apenas viável, mas fundamental para o gerenciamento da melhoria contínua do sistema da qualidade, pois demonstra de forma satisfatória a condição em que se encontra o processo, permitindo o acompanhamento da evolução dos diversos indicadores de produção.

De acordo com os dados coletados, foram construídas as cartas de controle dos meses de janeiro a março de 2014. Porém, a falta de padronização, em especial, quanto à frequência de coleta das amostras, pode não evidenciar variações naturais ou introduzir causas especiais no processo analisado.

Entretanto, para realizar a proposta do projeto, ou seja, desenvolver um método para implementar a carta de controle, foi necessário padronizar a frequência de coleta das amostras. Para facilitar o aprendizado dos operadores de chão de fábrica quanto à aplicação da carta de controle, foi proposta a utilização

de amostras de tamanho constante. Por outro lado, para permitir a identificação de causas especiais no processo, o grupo de trabalho desenvolveu um modelo de diário de bordo e propôs a sua utilização.

Foi proposta, também, a utilização de outras ferramentas da qualidade, que atuam em sintonia com as cartas de controle, e que permitem a identificação da causa raiz das variações identificadas no processo. A utilização desses instrumentos de gestão, portanto, possibilitam uma atuação precisa sobre a origem dos problemas, intervindo de forma corretiva sobre as variações do processo, melhorando o seu desempenho, a qualidade dos produtos e auxiliando na redução de custos.

Assim sendo, as cartas de controle são importantes, não apenas para o processo siderúrgico, mas para todo e qualquer processo produtivo, melhorando o monitoramento de possíveis variáveis que possam interferir na qualidade do produto final.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ARAÚJO, G. M. **Elementos do sistema de gestão de SMSQRS – sistema de gestão integrada**. 2. ed. Rio de Janeiro: GVC, 2010.

DEMING, W. **Qualidade: a revolução da administração**. 2. ed. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.

NAVIDI, W. **Probabilidade e estatística para ciências exatas**. Porto Alegre: AMGH, 2012.

NEUMANN, C. **Engenharia de produção: questões – cesgranrio**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

PALADINI, E. P. *et al.* **Gestão da qualidade: teoria e casos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SIDERURGIA,V. disponível em <<http://www.vsiderurgia.com.br/pt-BR/Paginas/home.aspx>> Acesso em 27 mai. 2014.

TOLEDO, J. C. *et al.* **Qualidade: gestão e métodos**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.