

Aplicação da Análise de Variância na Implantação do CEP

Cíntia Paese, MSc. Eng.

Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Produção – UFRGS
Praça Argentina 9, sala LOPP – 90040-020 – Porto Alegre – RS; e-mail: cintiap@ppgep.ufrgs.br

Carla ten Caten, Dr.Eng.

Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Produção – UFRGS
Praça Argentina 9, sala LOPP – 90040-020 – Porto Alegre – RS; e-mail: tencaten@ppgep.ufrgs.br

José Luis Duarte Ribeiro, Dr.Eng.

Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Produção – UFRGS
Praça Argentina 9, sala LOPP – 90040-020 – Porto Alegre – RS; e-mail: ribeiro@ppgep.ufrgs.br

Este artigo apresenta uma aplicação da Análise de Variância (ANOVA) na identificação das fontes de variabilidade em um processo de laminação de barras de aço, utilizado em uma empresa metal-mecânica sediada no Rio Grande do Sul. A principal fonte de variabilidade observada no processo de laminação foi o tipo de aço. O estudo das possíveis fontes de variabilidade serviu de base para o estabelecimento do controle estatístico do processo (CEP), o qual é descrito neste trabalho juntamente com os respectivos estudos de estabilidade e capacidade. Conclui-se que o uso conjunto da ANOVA e do CEP pode trazer benefícios às empresas, na medida em que a ANOVA propicia uma estratégia para o agrupamento de variáveis e para a escolha seletiva das cartas de controle a serem utilizadas.

Palavras-chave: Qualidade, Análise de Variância, Controle Estatístico do Processo

This paper presents an application of the Analysis of Variance (ANOVA), used to identify the sources of variability observed in a process of lamination of steel bars in a metal-mechanic plant located at Rio Grande do Sul. The major source of variability identified was the type of steel. The study of the variability sources served as a base for the establishment of the Statistical Process Control (SPC), which is described together with the traditional stability and capacity studies. The joint use of ANOVA and SPC may represent important benefits to the companies. The ANOVA provides a strategy for grouping variables and for the selective choice of the control charts to be used.

Keywords: Quality, Analysis of Variance, Statistical Process Control

1. Introdução

Uma empresa metal-mecânica, localizada no Rio Grande do Sul, tem como objetivo implementar o Controle Estatístico do Processo (CEP) no seu processo de laminação. Essa empresa fabrica barras de aços de diferentes tipos e bitolas (diâmetros) de acordo com a necessidade de seus clientes.

Na fase de planejamento da implantação do Controle Estatístico surgiram questões como: quantas cartas de controle deve-se implementar? com que frequência deve-se coletar as amostras? será necessário uma carta de controle para cada combinação de tipo de aço e bitola? Vale dizer que uma carta de controle para cada combinação de tipo de aço, bitola, ou outras variáveis, resultaria em um grande número de cartas de controle. Isso iria gerar muitas planilhas de coleta e gráficos e faria

com que as análises de estabilidade e capacidade fossem feitas com poucas amostras, uma vez que os lotes produzidos por essa empresa são pequenos.

Em função disso, decidiu-se agrupar as cartas de controle. Mas qual a melhor estratégia? agrupar por tipo de aço? por bitola? ou por equipe executora? Sabe-se que só é possível agrupar processos em uma mesma carta de controle se eles apresentarem média e desvio-padrão semelhantes.

Como as questões a serem resolvidas na implantação do Controle Estatístico do Processo não eram simples, a empresa solicitou o auxílio do Laboratório de Otimização de Produtos e Processos (LOPP) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Dessa forma, estabeleceu-se um projeto de parceria entre a empresa e a universidade.

O projeto contemplou inicialmente um treinamento de 24 horas sobre CEP para os profissionais envolvidos com a implantação do CEP. Posteriormente foram realizadas reuniões na empresa que permitiram o planejamento da implantação do Controle Estatístico do Processo no setor de laminação dessa empresa.

Nos primeiros encontros surgiu a necessidade de se identificar as maiores fontes de variabilidade do processo e na seqüência, os processos semelhantes, para então decidir a melhor estratégia de implantação das cartas de controle.

Em um primeiro momento será utilizada a ferramenta Análise de Variância para identificar as maiores fontes de variabilidade. Para esta análise será utilizado o programa computacional SPSS. Após realizada a análise de variância, será estudada a estabilidade do processo ao longo do tempo e a capacidade do processo em produzir barras de aço conforme as especificações dos clientes. Para realizar essas análises será utilizado o programa computacional ProCep.

2. Descrição das Ferramentas

A Análise de Variância (ANOVA – Analysis of Variance) é uma ferramenta para comparação de vários grupos ou estratos de interesse (Montgomery, 1991). A ANOVA permite investigar a existência de diferenças significativas entre os grupos estudados. Conclusões obtidas a partir da ANOVA apresentam um nível de confiança determinado pelo analista (por exemplo, tipos de aço podem diferir significativamente a um nível de confiança de 95%).

O Controle Estatístico de Processo (CEP) é uma ferramenta de monitoramento em tempo real do desempenho de processos. O CEP utiliza como dados de entrada medições de variáveis de processo que influenciem na qualidade dos produtos manufaturados (Montgomery, 1985). O processo é controlado efetuando-se medições da variável de interesse em pontos espaçados no tempo e registrando-se o resultado dessas medições em cartas de controle. A cada medição, compara-se o resultado obtido com limites de controle que representam o padrão esperado de operação do processo. Resultados de medições das variáveis de interesse (pontos na carta) fora dos limites de controle indicam a presença de causas especiais (atípicas) atuando no processo. Uma vez identificadas

as causas especiais, pode-se atuar sobre elas, melhorando continuamente a qualidade do produto manufaturado.

O principal objetivo do CEP é possibilitar o controle em tempo real, feito pelo próprio operador, e desta forma aumentar o seu comprometimento com a qualidade do que está sendo produzido, liberando a gerência para tarefas de melhoria.

O CEP possibilita monitorar as características de interesse, assegurando sua manutenção dentro de limites preestabelecidos e indicando quando adotar ações de correção e melhoria. O CEP permite a redução sistemática da variabilidade nas características da qualidade do produto, num esforço de melhorar a qualidade intrínseca, a produtividade, a confiabilidade e o custo do que está sendo produzido.

Num ambiente competitivo, o CEP abre caminho para melhorias contínuas, garantindo um processo estável, previsível e com uma identidade e capacidade definidas.

3. Análise de Variância

As fontes de variabilidade investigadas neste processo foram a bitola das barras (bitola), o tipo de aço (tipo) e a equipe executora, representada pelo inspetor (inspetor). O estudo contemplou 1764 medidas em barras de aço resultantes do processo produtivo de laminação, classificadas por inspetores (inspetor 1 e 2), tipos (7 tipos de aço), bitolas (11 diferentes bitolas entre 50mm e 160 mm) e datas (abril de 1999).

A variável medida no processo de laminação foi a bitola em quatro diagonais da barra. No entanto, para o estudo da Análise de Variância foi considerado o módulo da diferença entre a bitola observada e a bitola nominal, ou seja, o quanto a bitola produzida está desviada do valor da bitola nominal (em mm). É necessário considerar o módulo dos desvios, pois caso contrário os desvios calculados tenderiam a se cancelar, dando a falsa impressão de que o processo produz barras com bitolas conforme a bitola nominal. Como as barras produzidas possuem bitolas diferentes, o estudo foi realizado com o módulo do desvio da bitola nominal em termos percentuais, ou seja, dividido pelo valor da bitola nominal, conforme descrito na eq. 1. Essa variável será chamada de módulo do desvio percentual.

eq1:

$$\text{módulo do desvio percentual} = \frac{\text{bitola observada} - \text{bitola nominal}}{\text{bitola nominal}} \times 100$$

3.1 Análises descritivas

A média do módulo do desvio percentual foi de 0,3358 %, o que significa que as barras apresentaram desvios em torno de 0,33 %, para mais ou para menos da bitola nominal. O módulo do desvio percentual variou de acordo com os inspetores, tipos de aços e bitolas das peças.

3.2 Tabela ANOVA

A Tabela 1 apresenta a análise de variância, utilizando o modelo aditivo proposto por Montgomery (1991), para os dados do módulo do desvio percentual em função do tipo de aço, bitola, equipe executora (inspetor) e algumas de suas interações. Devido ao experimento não ter sido planejado algumas combinações de fatores não foram testadas, o que acarretou a perda de alguns graus de liberdade no modelo.

Os testes de significância (Teste F) foram feitos utilizando a média quadrada da interação de ordem mais alta (inspetor x tipo de aço x bitola) como estimativa da variabilidade do processo. Considera-se esta interação como sendo uma boa estimativa da variabilidade do processo, uma vez que a combinação desses fatores, na verdade, representa diferentes ordens de produção e, portanto, revela a variabilidade natural do processo produtivo.

Para verificar se as suposições da Análise de Variância estavam atendidas foi feita a análise dos resíduos, que indicou normalidade, homocedasticidade e independência dos resíduos.

Utilizando um nível de significância = 0,05, conclui-se que o tipo de aço possui efeito significativo ($p < 0,05$) sobre a variável módulo do desvio percentual, ou seja, diferentes tipos de aços apresentam diferentes médias para o módulo do desvio percentual. As demais variáveis não exercem efeito significativo sobre a resposta.

A Figura 1 apresenta um gráfico com o módulo do desvio percentual em função do tipo de aço.

Uma vez identificado o tipo de aço como fonte de variabilidade significativa sobre a variável módulo do desvio percentual, realizou-se uma comparação múltipla de médias (CMM) para os diferentes tipos de aço. Os resultados da CMM indicaram quatro grupos de aços que diferem significativamente entre si (estão representados graficamente por círculos na Figura 1).

Os tipos de aço 2 e 1 apresentaram as menores taxas de desvio, em torno de 0,30% e não diferem significativamente entre si. Isso representa que as barras do tipo de aço 2 e 1 produzidas apresentam bitolas pouco desviadas da bitola nominal. Os tipos de aço 5, 4 e 3 apresentaram taxas de desvios intermediárias, em torno de 0,37% e não diferem significativamente entre si. O tipo de aço 6 apresentou uma taxa de desvio de 0,58% e o tipo de aço 7 apresentou a maior taxa de desvio de 0,75%. Isso indica

Tabela 1. Tabela ANOVA para o módulo do desvio percentual.

Fonte de Variação	Soma de Quadrados Tipo III	Graus de liberdade	Médias Quadradas	Teste F	Nível de Significância associado (p)
Termo constante	34,476	1	34,476	261,18	0,000
Inspetor	0,147	1	0,147	1,117	0,318
Tipo de aço	2,800	6	0,467	3,535	0,044
Bitola	3,404	10	0,340	2,579	0,085
Inspetor* tipo de aço	0,082	4	0,021	0,156	0,955
Inspetor * bitola	1,469	5	0,294	2,226	0,140
Tipo de aço * bitola	4,124	23	0,179	1,358	0,327
Inspetor * qualidade * tipo de aço	1,188	9	0,132	-	-
Erro	129,88	1704			
Total	158,235	1763			

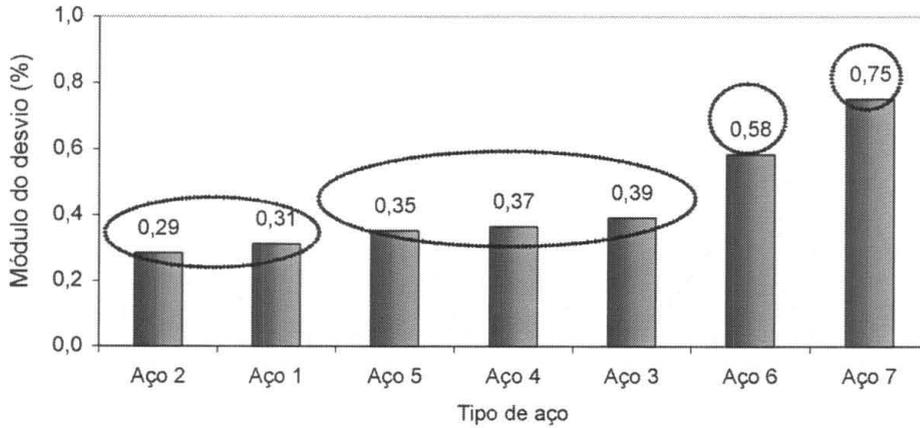


Figura 1. Módulo do desvio percentual em função do tipo de aço

que as barras do tipo de aço 7 produzidas apresentam bitolas bastantes afastadas da bitola nominal.

A Figura 2 apresenta o módulo do desvio percentual em função das diferentes bitolas, enquanto que a Figura 3 apresenta os resultados dessa mesma variável em função

da equipe executora (inspetor). Conforme mencionado anteriormente, o efeito dessas variáveis sobre a resposta não é significativo.

Pela análise de variância foi possível identificar o tipo de aço como sendo a principal fonte de variabilidade do

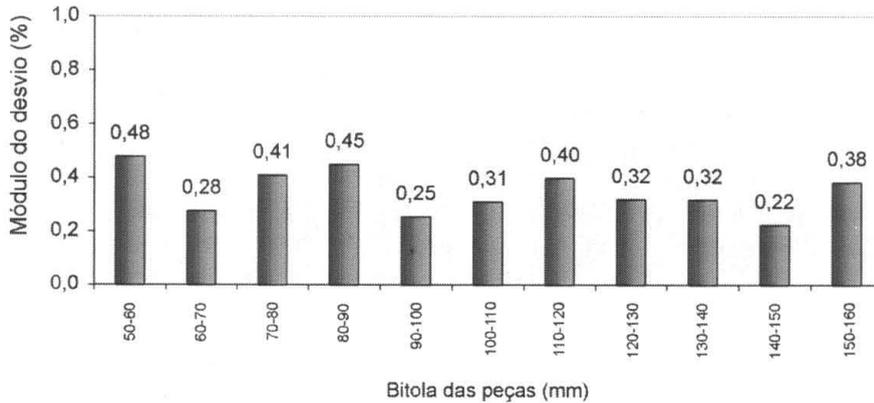


Figura 2. Módulo do desvio percentual em função das bitolas

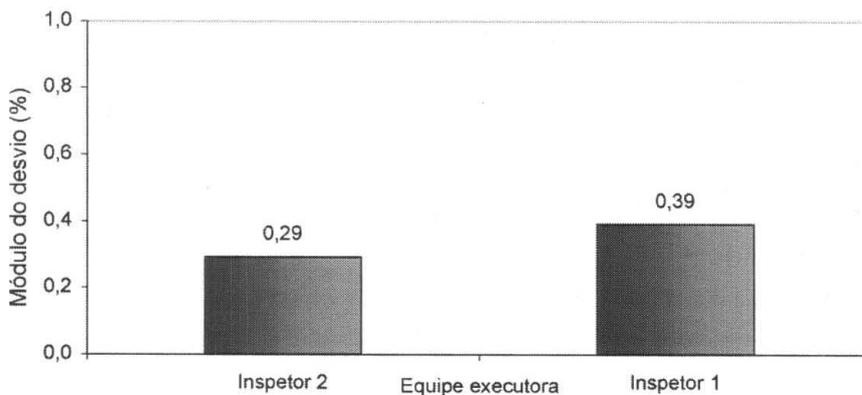


Figura 3. Módulo do desvio percentual em função do inspetor

módulo do desvio percentual. Dessa forma, optou-se por realizar os estudos de estabilidade e capacidade dos processos produtivos agrupando os dados provenientes de diferentes bitolas ou diferentes inspetores. Mais ainda, uma vez que a CMM indicou a existência de tipos de aço que não diferem significativamente entre si, o estudo será realizado agrupando-se esses tipos de aço em uma única carta de controle. Desta forma trabalhou-se com uma carta de controle para cada um dos quatro grupos de tipos de aço que diferem significativamente entre si.

O estudo de estabilidade e capacidade para os quatro grupos de tipo de aço é bastante extenso. Dessa forma optou-se por apresentar neste artigo apenas os resultados do grupo 1, que engloba os aços dos tipos 1 e 2.

3.3 Controle estatístico do processo do aço do grupo 1

Como são produzidas diferentes bitolas para os aços do grupo 1, optou-se por utilizar a variável desvio da bitola nominal, que possibilita o monitoramento de todas as bitolas em uma mesma carta de controle.

No monitoramento através das cartas de controle é necessário identificar se o desvio da bitola nominal é positivo ou negativo para tomar as ações de melhoria quando necessário. Dessa forma, utilizou-se o desvio da bitola nominal em termos percentuais respeitando os sinais (sem módulo), conforme a equação abaixo. Essa variável será chamada de desvio percentual.

$$\text{eq 2: desvio percentual} = \frac{\text{bitola observada} - \text{bitola nominal}}{\text{bitola nominal}} \times 100$$

3.3.1 Estatística dos dados

A Tabela 2 apresenta alguns resultados descritivos dos dados dos aços do grupo 1. Como a média geral observada para o desvio percentual foi 0,1320%, isso indica que as barras do grupo 1 apresentam em média bitolas maiores do que a bitola nominal, sendo que o esperado seria um desvio percentual aproximadamente igual a zero.

Na Figura 4 apresenta-se o histograma para os aços do grupo 1 e na Figura 5 apresenta-se o papel de probabilidade para esse mesmo grupo de aços.

Tabela 2. Estatísticas descritivas

<i>Estatística de Interesse</i>	<i>Resultado</i>
Intervalo de Análise	1 a 728
Média	0,1320
Mediana	0,1230
Valor Mínimo	-1,0361
Valor Máximo	1,5748
Amplitude	2,6109
Variância	0,1462
Desvio-Padrão	0,3824
Coefficiente de Variação	289,68 %

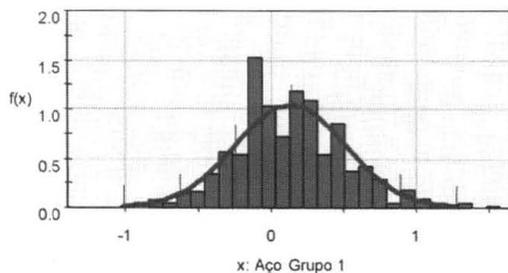


Figura 4. Histograma para os aços do grupo 1

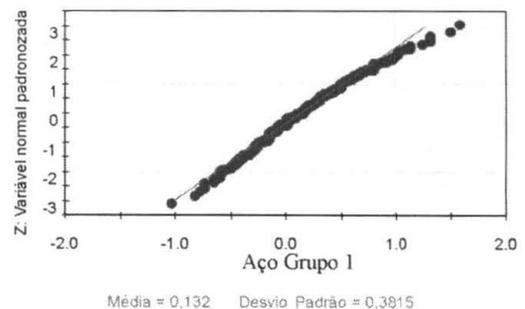


Figura 5. Papel de probabilidade normal para os aços do grupo 1

A análise do histograma e do papel de probabilidade normal indica que os dados apresentam distribuição com formato semelhante à distribuição normal.

3.3.2 Estudo de estabilidade

No processo de laminação de barras de aço, é necessário monitorar a bitola média das barras (carta de médias) e a ovalização das mesmas, ou seja, a amplitude entre a maior e a menor bitola (carta de amplitude).

Os dados que serão analisados foram coletados na seguinte frequência: uma barra a cada seis produzidas. Na barra coletada são realizadas medidas de bitola nas quatro diagonais da barra, resultando em quatro medidas de bitola para uma mesma barra. A avaliação da variabilidade total para cálculo dos limites de

controle da média foi realizada utilizando-se variabilidade entre os subgrupos (amostras), pois a variabilidade dentro do subgrupo, gerada a partir de quatro medidas feitas sobre uma mesma barra, não representa toda a variabilidade do processo.

A avaliação da variabilidade para cálculo dos limites de controle para a carta de amplitude foi realizada utilizando-se a variabilidade dentro do sub-grupo, que na realidade é uma medida de ovalização (variações entre bitolas avaliadas em diferentes diagonais) de uma barra.

A Tabela 3 apresenta os limites de controle para a carta de médias inicialmente calculados para todas as amostras no intervalo e posteriormente retirando-se as causas especiais presentes no período de análise. A Figura 6 e Figura 7 apresentam a carta de médias para o período analisado.

Tabela 3. Limites de controle para a carta de médias

	LCI	LC	LCS
Todas as amostras do intervalo	-0,6086	0,1320	0,8726
Eliminando causas especiais (corridas)	-0,5970	0,1114	0,8198

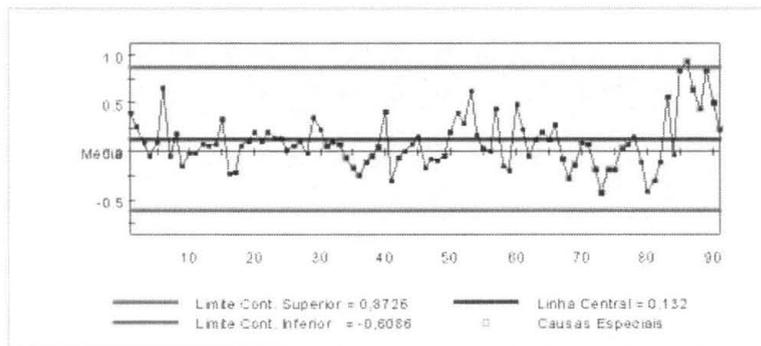


Figura 6. Carta de médias (amostras de 1 a 90)

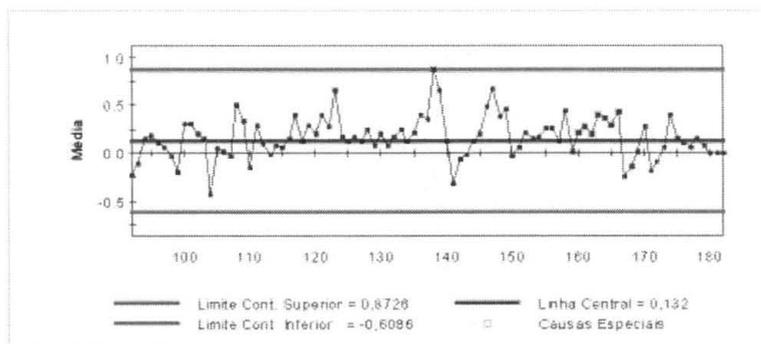


Figura 7. Carta de médias (amostras de 91 a 182)

A análise da Tabela 3 e das Figuras 6 e 7 permite concluir que o processo é instável, apresentando várias causas especiais. As amostras são consideradas causas especiais por excederem os limites de controle (estabelecidos considerando a variabilidade natural do processo) ou por apresentarem tendências não aleatórias (corridas), ou seja, sete pontos consecutivos acima ou abaixo da linha central ou sete pontos consecutivos em tendência crescente ou decrescente.

As cartas também apontam a existência de um número excessivo de medições além dos limites 2s (limites de advertência). Considerando que apenas 5% dos pontos

(amostras) deveriam encontrar-se além dos limites 2s, pode-se reafirmar que o processo apresenta um comportamento instável. A Tabela 4 apresenta os limites de controle para a carta de amplitude inicialmente calculados para todas as amostras no intervalo e posteriormente retirando-se as causas especiais presentes no período de análise.

A Figura 8 e Figura 9 apresentam a carta de amplitude para o período analisado.

Similarmente às cartas de médias, as cartas de amplitude indicam que o processo não está estável quanto à produção de barras esféricas, ou seja, a diferença entre os

Tabela 4. Limites de controle para a Carta de amplitudes

	LCI	LC	LCS
Todas as amostras do intervalo	0	0,6795	1,5508
Eliminando causas especiais:	0	0,6587	1,4835

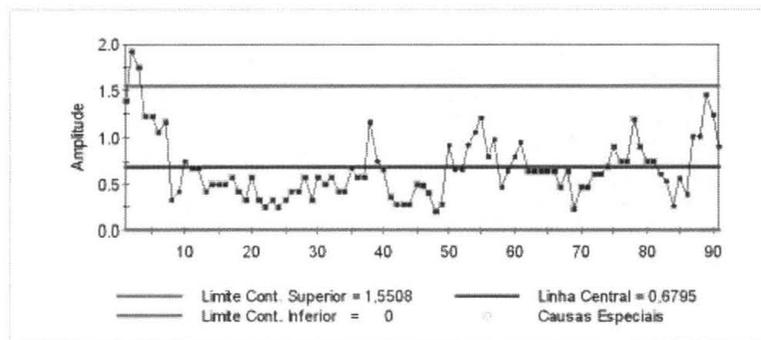


Figura 8. Carta de amplitudes (amostras de 1 a 90)

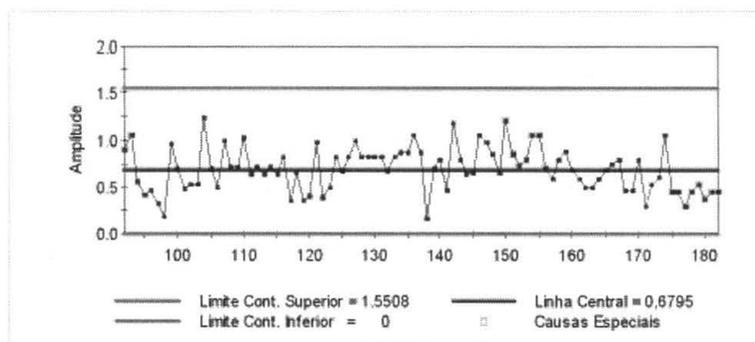


Figura 9. Carta de amplitudes (amostras de 91 a 182)

valores máximo e mínimo da mesma peça não está apresentando um padrão estável ao longo do tempo.

processo em questão não apresentar estabilidade, nesta seção será apresentado um estudo de capacidade do processo, que neste caso pode fornecer uma indicação preliminar referente à habilidade do processo em produzir barras conforme as especificações.

3.3.3 Capacidade do processo

Estritamente, o estudo de capacidade deve ser feito apenas para processos estáveis. No entanto, apesar do

Os limites de especificação definidos para o processo de

Tabela 5. Análise de capacidade do processo com, considerando média 0,132 e desvio-padrão 0,3359

Descrição	Resultado
Cp	0,9623
Cpk superior	0,8610
Cpk inferior	1,0636
% acima das especificações	0,4909
% abaixo das especificações	0,0713
% fora das especificações	0,5621
ppm (não conformes / milhão)	5621,4
% dentro das especificações	99,4379

Tabela 6. Resultados do estudo de simulação onde a média do processo é considerada 0,00 (centrada).

Descrição	Resultado
Cp	0,9924
Cpk superior	0,9924
Cpk inferior	0,9924
% acima das especificações	0,1460
% abaixo das especificações	0,1460
% fora das especificações	0,2921
ppm (não conformes / milhão)	2920,5
% dentro das especificações	99,7079

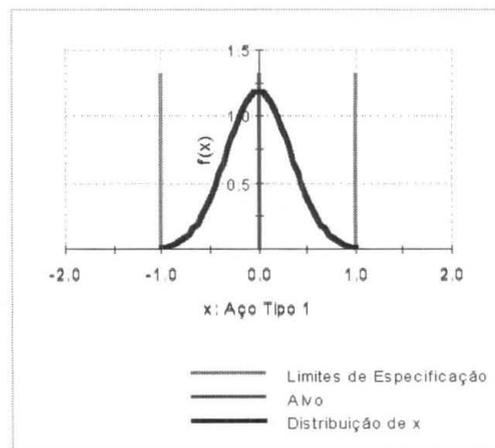
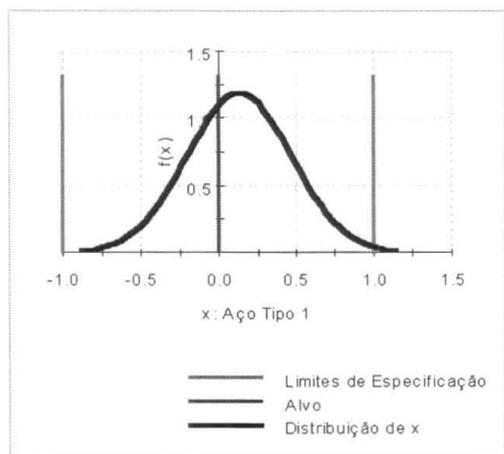


Figura 10. Gráfico da análise de capacidade do processo com média 0,132 e o desvio-padrão 0,3359

Figura 11. Gráfico do estudo de simulação considerando processo centrado.

Tabela 7. Resultados do estudo de simulação onde a média do processo é considerada 0,00 (centrada) e o desvio-padrão é reduzido para 0,3310

Descrição	Resultado
Cp	1,0070
Cpk superior	1,0070
Cpk inferior	1,0070
% acima das especificações	0,1264
% abaixo das especificações	0,1264
% fora das especificações	0,2528
ppm (não conformes / milhão)	2527,79
% dentro das especificações	99,7472

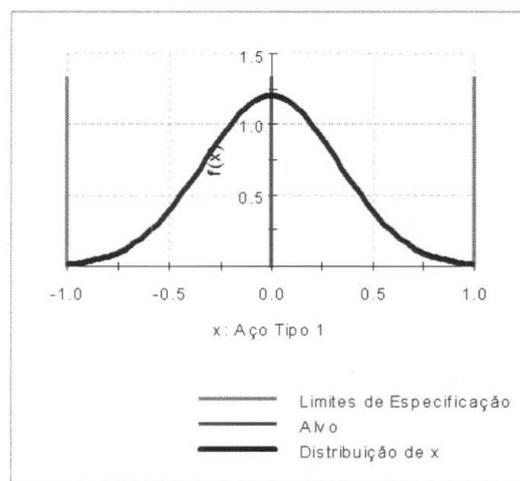


Figura 12. Gráfico do estudo de simulação onde a média do processo é deslocada de 0,132 para 0 e o desvio-padrão é reduzido de 0,3359 para 0,3310.

laminação estabelecem uma tolerância de 1% do tamanho da bitola das barras, para mais ou para menos. A Tabela 5 apresenta os resultados do estudo de capacidade para o desvio percentual para o aço do grupo 1.

A Figura 10 apresenta o gráfico do estudo de capacidade.

Pela análise dos resultados de capacidade percebe-se que o processo produtivo não é capaz de produzir todas as peças dentro dos limites de especificação estabelecidos.

Na seqüência são apresentados dois estudos de simulação. No primeiro estudo, o processo é centrado, fazendo com que a média dos desvios percentuais coincida com o valor-alvo do desvio percentual, que é zero; os resultados deste estudo vêm apresentados na Tabela 6 e Figura 11. No segundo estudo, já trabalhando com o processo centrado, determina-se a

variabilidade máxima permitida para que o processo torne-se capaz; os resultados deste estudo vêm apresentados na Tabela 7 e Figura 12.

Conforme visto a partir dos estudos de simulação apresentados acima, para tornar o processo de laminação dos aços do grupo 1 capaz, seriam necessárias duas ações de melhoria: (i) centrar o processo e (ii) atuar em causas comuns visando reduzir a variabilidade.

Finalmente, é importante ressaltar que a análise de capacidade apresentada acima foi realizada considerando as causas especiais incidentes no processo. Via de regra, estudos de capacidade são conduzidos quando o processo em estudo está sob controle. Desta forma, o estudo acima não se presta para previsões futuras. Assim, a presente análise de capacidade tem como objetivos identificar a situação atual do processo e indicar possíveis direções de melhoria.

4. Conclusões

Este artigo apresentou uma aplicação conjunta das ferramentas de Análise de Variância (ANOVA) e Controle Estatístico do Processo (CEP) no setor de laminação de barras de aço de uma empresa metal-mecânica do Rio Grande do Sul.

A aplicação tradicional do Controle Estatístico do Processo utiliza uma carta de controle para cada processo que possui média e variabilidade diferentes. No entanto, com a grande diversidade de produtos fabricados por essa empresa (diferentes tipos de aço e bitola), seria necessário um número excessivo de cartas de controle, o que inviabilizaria as análises de estabilidade e capacidade do processo. Visando reduzir o número de cartas de controle, foi utilizada a Análise de Variância, que fornece subsídios para agrupar os produtos similares.

Através da Análise de Variância foi possível identificar o tipo de aço como sendo a principal fonte de variabilidade do processo estudado. Dessa forma, optou-se por realizar os estudos de estabilidade e capacidade dos processos produtivos por grupos de tipo de aço. Os grupos foram definidos usando-se uma Comparação Múltipla de Médias (CMM). A partir da CMM, verificou-se a existência de tipos de aço que não diferem significativamente entre si. Estes foram reunidos em um único grupo a ser analisado através de uma única carta de controle.

Os estudos de estabilidade e capacidade foram realizados para os quatro grupos identificados. Como esses estudos são extensos, optou-se por apresentar neste artigo apenas os resultados do controle estatístico do processo do aço do grupo 1.

Como são produzidas diferentes bitolas para o aço do grupo 1, optou-se por utilizar a variável desvio da bitola nominal. O desvio é uma variável adimensional que permite o monitoramento de todas as bitolas em uma mesma carta de controle.

A análise dos dados desse tipo de aço permitiu concluir que as barras tendem a apresentar bitolas superiores às esperadas. O estudo de estabilidade permitiu concluir que a bitola média (analisada na carta de médias) e a ovalização (analisada na carta de amplitudes) não apresenta estabilidade, ou seja, não apresentam um comportamento previsível ao longo do tempo. O estudo de capacidade permitiu concluir que o processo de laminação desse tipo de aço não é capaz de atender

completamente às especificações. O estudo de simulação permitiu concluir que para tornar o processo capaz ($C_p = C_{pk} = 1,0$), seriam necessárias duas ações de melhoria: centrar o processo e atuar em causas comuns para reduzir a variabilidade do processo em cerca de 2%.

O monitoramento do processo através das cartas de controle sinaliza a presença de causas especiais, facilitando o trabalho do operador em identificar problemas no processo. No entanto, quando as empresas produzem muitos produtos diferentes em lotes produtivos pequenos, o uso tradicional de uma carta de controle para cada produto torna-se inviável. Este estudo mostrou que a utilização da ANOVA pode auxiliar na implantação do CEP, pois a ANOVA propicia uma estratégia para o agrupamento de variáveis, podendo reduzir substancialmente o número de cartas de controle a serem utilizadas.

5. Referências bibliográficas

- CATEN, C. S. e RIBEIRO, J. L. *Controle Integrado de Atributos. Anais do XVIII ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção (em CD ROM), Niterói, 1998.*
- DUNCAN, A. J. *Quality Control and Industrial Statistics 5 ed. Chicago: Irwin, 1986.*
- HRADESKY, J. L. *Productivity & Quality Improvement – A Practical Guide to Implementing Statistical Process Control. New York: McGraw-Hill, 1988.*
- MONTGOMERY, D.C. *Introduction to Statistical Quality Control. New York: John Wiley and Sons, 1985.*
- MONTGOMERY, D.C. *Design and Analysis of Experiments. New York: John Wiley and Sons, 1991.*
- OTT, E. R. *Process Quality Control. New York: McGraw-Hill, 1975.*
- PITT, H. *SPC for the rest of us: a personal path to Statistical Process Control. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1994.*
- RIBEIRO, J. L e CATEN, C. S. *Uma Sistemática para Controle Integrado de Processos. Anais do XVIII ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção (em CD ROM), Niterói, 1998.*
- RIBEIRO, J. L e CATEN, C. S. e FRITSCH, C. *Controle Integrado de Processos. Revista Produto e Produção, vol. 2, nº 3, p. 160-175. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia –UFRGS, outubro 1998.*