

## Aplicação das fases definir e medir da metodologia DMAIC: uma avaliação de manutenção corretiva

Josana Barcelar Batista Andrade<sup>1</sup>

Rogério Santana Peruchi<sup>3</sup>

Thiago Rodrigues Andrade<sup>2</sup>

**Resumo:** Frente às dificuldades quanto a horas improdutivas num setor de produção, este artigo propõe uma elaboração das fases Definir e Medir, a partir da metodologia DMAIC. Assim, o objetivo deste trabalho é a avaliação do desempenho fabril em termos de tempo entre falhas, observando as características críticas de paradas. A estrutura coerente e ordenada de raciocínio do DMAIC, proporciona maior entendimento da problemática, sob uma perspectiva estatística de capacidade e estabilidade do processo. Assim, foram estudados os comportamentos das paradas por manutenção corretiva. Observou-se que, em média, a cada 1,46 dias houveram paradas. Essa média demonstra uma criticidade em relação a disponibilidade e estabilidade do processo. A carta de controle T, que monitora eventos raros, se mostrou apropriada para a avaliação de dados do tipo tempo médio entre falha (*Mean Time Between Failures*) no contexto de manutenção. As etapas remanescentes das fases do DMAIC (Analisar, Melhorar, Controlar) serão discutidas no próximo artigo.

**Palavras-chave:** Carta de controle, Capacidade dos processos, Metodologia DMAIC.

---

1 Universidade Federal de Goiás – UFG. Regional Catalão, Unidade Acadêmica Especial de Engenharias. Contato: barcelar.josana@gmail.com.

2 Universidade Federal de Goiás – UFG. Regional Catalão, Unidade Acadêmica Especial de Engenharias. Contato: andrade.r.thiago@gmail.com.

3 Universidade Federal de Goiás – UFG. Regional Catalão, Unidade Acadêmica Especial de Engenharias. Contato: rogerioperuchi@ufg.br.

## Introdução

O controle e melhoria no processo sempre foi algo desejável para profissionais envolvidos com o processo fabril e os *stakeholders*. Desta maneira, torna-se possível produzir atendendo os requisitos de qualidade e alcançar significantes resultados de produção (NETTO et al., 2003). Desenvolvido para atender as demandas por processo melhores a metodologia Seis Sigma traz uma proposta de estudos e análises a fim de minimizar variações que comprometem o processo e encontrar melhores ações a serem tomadas dentro do sistema de produção (HARRY; SCHROEDER, 1998, MONTGOMERY, 2009).

Projetos elaborados pela metodologia Seis Sigma tem grande aceitação pela esfera industrial como uma metodologia que traz resultados significativos (LINDERMAN et al., 2003, ARUMUGAM; ANTONY; LINDERMAN, 2016). Segundo Mandal (2012) o Seis Sigma é apresentado como um programa que objetiva ações de melhoria através da metodologia por etapas ou fases do projeto. Estas são frequentemente elaboradas pelo passo-a-passo DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve e Control*).

O direcionamento para a tomada de decisão de maneira mais assertiva, melhoria das rotinas de processos, a ordenação e harmonização de estratégia e abordagens estatísticas são os principais benefícios do método DMAIC (DE KONING; DE MAST, 2006).

No contexto de ambiente produtivo existem vários eventos considerados críticos, que podem ocorrer diária e simultaneamente em qualquer chão de fábrica (HANSEN, 2006). O método DMAIC mostra-se eficiente como uma estrutura sistemática das fases iniciais, Definir e Medir, de um projeto Seis Sigma (PERUCHI, et al., 2012). Frente os problemas de indisponibilidade do processo produtivo, a metodologia DMAIC torna-se viável para avaliar a fragilidade do sistema quanto a indisponibilidade dos equipamentos.

Uma empresa de fabricação do fosfato bicálcico, matéria prima para suplementos animais, sofre dificuldades em manter a disponibilidade do chão de fábrica. Neste setor há grandes quantidades de intervenções não planejadas, resultando em horas paradas, afetando a produtividade do processo produtivo.

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o desempenho do processo fabril da empresa em estudo, no ano de 2015, em termos de horas improdutivas, através da etapa Definir e Medir do método DMAIC. O que consiste em definir quais são os principais motivos de horas paradas e medir o tempo médio entre falhas, através da carta de controle T *chart* e análise da capacidade do processo.

## 1 Referencial Teórico

### 1.1 Desempenho na perspectiva fabril e a relação com a manutenção

É de grande importância para as organizações a mensuração de suas eficiências do setor de produção (CASTRO; ARAUJO, 2010). Um bom desempenho do processo fabril está relacionado as paradas no processo. Uma parcela das interrupções do tempo total disponível para o trabalho ocorre devido a manutenção dos equipamentos do setor produtivo (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

A ABNT NBR 5462 (1994) define manutenção como sendo a ‘Combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida’.

Um processo produtivo confiável é proporcional ao melhor aproveitamento em tempo com qualidade, ou seja, a utilização eficiente dos equipamentos de produção. Sob essa perspectiva, para aumentar a produtividade é necessário otimizar a confiabilidade e disponibilidade da produção, garantindo o aumento da campanha das unidades produtivas, a minimização de prazos de paradas no sistema, a diminuição do tempo médio de reparos, a redução de perdas de produção e o aumento do tempo médio entre falhas (KARDEC; NASCIF, 2012).

### 1.2 O Seis Sigma e o método DMAIC

O Seis Sigma, é um método estruturado para resolução de problemas com variabilidade do processo ou qualidade, elaborada em bases estatísticas e científicas, que surgiu na década de oitenta (HARRY, SCHROEDER, 1998). A metodologia é frequentemente associada como um procedimento de grande sucesso e aceitação de empresas. O Seis Sigma sugere a formação de uma equipe de especialistas capazes de atingir metas, nomeada de *belts*, que procuram solucionar problemas difíceis e de grande retorno ao investimento, a fim de atingir a redução de variabilidade a determinado nível sigma (LINDERMAN et al., 2003).

O termo Seis Sigma refere-se a uma métrica de desempenho do processo acerca da variabilidade do processo. Esta métrica, em processos que apresentam uma boa performance, mostra um número pequeno de defeitos/falhas (partes por milhão, ppm). Assim, um determinado nível sigma está relacionado ao número de defeitos e a porcentagem de valores que podem ser encontrados dentro das especificações, considerando uma distribuição normal. (MONTGOMERY; WOODALL, 2008). Porém, considerando que o sistema pode estar sujeito a perturbações, até 1,5 desvios-padrão fora do alvo, um processo seis sigma deve produzir cerca de

3,4 ppm defeituosos, com 99,999660% dentro das especificações (MONTGOMERY, 2009).

A padronização em método é característica de projetos Seis Sigma, que proporciona maior entendimento das fases que um projeto deve ter, devido a uma linguagem comum. Assim, ao seguir as etapas, é alcançado metas e objetivos claros e coerentes (ARUMUGAM; ANTONY; LINDERMAN, 2016). Uma das metodologias mais utilizadas em processos já existentes é a metodologia DMAIC (ANDRIETTA; MIGUEL, 2007, RIBEIRO DE JESUS, et al., 2016). Este método tem um objetivo geral em suas etapas e se desdobra em passos coerentes (DE KONING; DE MAST, 2006), Quadro 1.

Uma das razões deste método ser de sucesso é que ele incide sobre o uso eficaz de um conjunto de ferramentas os seus passos, ou onde eles têm grandes chances de ser utilizados contextualizando com a problemática do projeto em questão (MONTGOMERY, 2009).

**Quadro 12.1** Definição geral das fases do DMAIC.

<b>Fases do DMAIC</b>	
Definir	Deve selecionar o problema e benefícios. Estabelecendo os fundamentos para um projeto Seis Sigma; avaliando o impacto no cliente e os benefícios potenciais.
Medir	Faz a tradução do problema em uma forma mensurável. Identificar as Características Críticas para a Qualidade (CTQs) do produto ou serviço; verificar capacidade de medição; Linha de base da taxa e defeito; definir metas de melhoria.
Analisar	Faz a identificação de fatores de influência e causas que determinam o comportamento do CTQs. Compreender as causas de por que ocorrem defeitos/falhas; identificar as variáveis-chave do processo que causam defeitos/falhas; avaliação comparativa dos principais indicadores de desempenho do produto.
Melhorar	Faz o design e implementação de ajustes para que o processo possa se tornar melhor os desempenhos dos CTQs. Determinar a forma de intervir no processo para reduzir significativamente os níveis de defeitos/falhas; gera, seleciona e implementa soluções.
Controlar	Realiza gestão de processos através de sistema de controle, a fim de que melhorias permaneçam sustentáveis.

Fonte: Adaptado de De Koning; De Mast, (2006).

### 1.3 Carta de controle T

Métodos estatísticos ajudam a avaliar a variabilidade natural, detectar e isolar as anomalias, indicando as suas causas especiais de um processo. O Controle Estatístico do Processo (CEP) oferece um acervo de ferramentas úteis para avaliar, controlar, auxiliando na redução da variação do processo (LOUZADA et al., 2013).

A folha de controle ou gráfico de controle é uma das sete ferramentas do CEP, que faz a apresentação dos dados a partir de uma amostra *versus* outra amostra ou tempo distribuídas no gráfico, na qual há limites de controle que auxiliam na avaliação do comportamento da amostra. Há também uma linha central que representa a média dos dados (MONTGOMERY, 2009).

Para monitorar a quantidade de ‘tempo entre eventos adversos’ é preciso utilizar uma carta específica, como a carta T de controle. Esta carta é derivada da carta G, em que monitora o mesmo tipo de dado, porém diferentemente da carta G, no T *chart* o tempo é medido em uma escala contínua (ZHANG; XIE; GOH, 2005).

A carta T observa o comportamento de eventos raros, em que é provável não ter grandes quantidades de dados. Desta maneira, a coleta de dados deve ser suficiente para responder a uma evolução da frequência de eventos, o que pode levar meses ou mesmo anos. Uma carta T traça o tempo entre os eventos sucessivos, para que se possa facilmente detectar quando os eventos ocorrem com maior ou menor frequência do que o habitual. Assim, são contados os números de oportunidades, antes ou até o momento de ocorrência de falhas. (XIE; GOH; RANJAN, 2002).

Os dados são caracterizados como datas e horários de eventos ou o número que representa o período entre os eventos, sob a distribuição Weibull (MONTGOMERY, 2009). Benneyan (2001) orienta que a interpretação de cartas que monitoram tempos entre eventos raros deve ser feita considerando que, os pontos situados na região em direção a linha de limite de controle superior, são pontos que indicam a diminuição dos eventos observados. De maneira análoga, se os pontos estiveram na região em direção a linha de limite de controle inferior, o inverso acontece.

Testes são utilizados estatisticamente para a averiguação do comportamento dos dados, monitorando a variação em cartas de controle. Regiões são traçadas a partir da linha central, que representam o desvio padrão,  $\pm 1$ ,  $\pm 2$ ,  $\pm 3$ , sendo o último coincidente aos limites de controle. Cada um dos testes para causas especiais procura detectar um padrão específico nos dados. A ocorrência de um padrão sugere uma causa especial para a variação, que deve ser investigado conforme a adequação de testes para cartas de controle (NELSON, 1997), Quadro 2.

**Quadro 12.2** Os oito testes para Cartas de Controle.

<b>Testes para Cartas de Controle</b>	
Teste 1	A sua rejeição traz a evidência mais forte de falta de controle do processo, ou seja, é identificado um ponto ou mais fora dos limites (mais do que $3\sigma$ ).
Teste 2	Observa pequenos desvios, encontrando K pontos em uma linha em um lado da linha central.

*Continua*

**Quadro 12.2** Os oito testes para Cartas de Controle. (Continuação)

<b>Testes para Cartas de Controle</b>	
Teste 3	Deteccão de tendência ou movimento com K pontos em uma linha, todos aumentando ou diminuindo.
Teste 4	Deteccão de tendência ou movimento, porém a reprovação neste teste significa a deteccão de variação previsível.
Teste 5	Observa o padrão de variação de pequenos desvios no processo, com K de K + 1 pontos mais do que 2σ da linha central (mesmo lado).
Teste 6	Atua como o teste 5, porém observa K de K + 1 mais do que 1σ da linha central (mesmo lado).
Teste 7	Identifica K pontos que seguem a linha central muito de perto (1σ da linha central, em qualquer lado).
Teste 8	Detectam K pontos que estão perto dos limites de controle, ou seja, tendem a evitar a linha central.

Fonte: Adaptado de Nelson, (1997).

Para deteccão de causas especiais para a carta T de controle são mais indicados os testes 1 e 2. Os demais testes podem ser lentos na deteccão de causas especiais para dados de ‘tempo entre falhas’ (BENNEYAN, 2001).

#### 1.4 Índices de capacidade do processo

Outra ferramenta importante na avaliação do controle estatístico é a análise da capacidade do processo. Através dela é possível verificar a uniformidade do processo, ou seja, quantificar e avaliar a variabilidade dele. Seus métodos de investigação têm em vista dizer o qual capaz é um processo, seguindo uma distribuição normal de probabilidade (MONTGOMERY, 2009).

Para dados que não seguem a distribuição de normalidade é comum realizar transformações para a sua adequação. Em casos de não-normalidade de dados uma opção da estatística é transformação Box-Cox. Esta transformação consiste em encontrar uma constante  $\lambda$ , tal que os dados transformados  $Y'_1, \dots, Y'_n$  se aproximem de uma distribuição normal, conforme as condições (BOX; COX, 1964):

$$Y'_i = \begin{cases} \frac{y^\lambda - 1}{\lambda} & \lambda \neq 0, \\ \ln y & \lambda = 0 \end{cases} \quad \text{Eq. 1}$$

Uma vez que uma análise de variância não é alterada por uma transformação, pode-se assumir a simplificação da Eq.1 (BOX; COX, 1964):

$$Y'_i = \begin{cases} y^\lambda & \lambda \neq 0, \\ \ln y & \lambda = 0 \end{cases} \quad \text{Eq. 2}$$

Assim, em processos que seguem distribuição normal, transformados ou originais, é possível expressar quantitativamente a capacidade do processo observando o Limite Superior de Especificação (LSE) e o Limite Inferior Especificação (LIE). Quando os dados estiverem simetricamente distribuídos entre os limites de especificação, a capacidade  $C_p$  é calculada por (Montgomery, 2009):

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad \text{Eq. 3}$$

Montgomery, (2009) relata casos em que a média do processo está deslocada para esquerda ou para a direita, observado por uma assimetria em relação aos seus limites visto no histograma dos dados, a métrica  $C_{pk}$  traz maior precisão da capacidade do processo. O  $C_{pk}$  é expresso:

$$C_{pk} = \min \left( \frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \right) \quad \text{Eq. 4}$$

Neste caso tem-se uma visão unilateral em que considera a menor distância da média de dispersão com os LSE e LIE (MONTGOMERY, 2009).

## 2 Metodologia

Este trabalho usou uma abordagem quantitativa através do método de pesquisa experimental. As medições foram coletadas com base no banco de dados da empresa e relatos operacionais de paradas no processo. A amostra consistiu em avaliar 100% das paradas na produção classificadas como manutenção corretiva no período de doze meses. Para a análise dos dados na carta de controle T, foi observado o período de um ano, a fim de garantir uma quantidade suficiente de dados.

Os dados foram considerados confiáveis, por serem revisados por três departamentos diretamente relacionados com a manutenção e produção, sendo eles o setor de planejamento e controle da produção, gerência de produção e gerência de manutenção.

A realização de análises de dados qualitativos busca percepções e entendimento sobre o caráter em estudo. Os dados qualitativos foram angariados através de observação e participação de reuniões com os funcionários da empresa, contribuindo para o enriquecimento deste trabalho com seus conhecimentos da área e gestão.

Neste estudo conduziu, numa abordagem Seis Sigma, a proposição das fases do DMAIC feito por De Koning e De Mast, (2006). Interpretando conforme o contexto e observando os requisitos de disponibilidade, foi elaborada uma metodologia para as fases Definir e Medir, conforme Quadro 3, a fim de avaliar o processo quanto aos Dias Entre Falhas na produção de fosfato bicálcico:

**Quadro 12.3** Orientação do projeto seguindo a metodologia DMAIC.

Fases	Descritivo dos passos.
Definir	D1. Identificar o problema a ser resolvido e mapear o processo relevante.
	D2. Fazer um business case para o projeto
Medir	M1. Seleção de uma ou mais características críticas de disponibilidade (Dias Entre Falhas).
	M2. Registrar os resultados no processo em carta de controle (T <i>chart</i> – avaliando o período entre falhas).
	M3. Estimar a capacidade do processo
	M4. Definir objetivos para variáveis dependentes.

Fonte: Próprio Autor.

## 3 Discussão e Resultados

### 3.1 Identificar o problema a ser resolvido e mapear o processo relevante.

Em 2015, a performance da área de produção enfrentou dificuldades em atender o plano de produção prevista para o ano. A indisponibilidade do processo produtivo é apontada como uma das causas principais dentro das possibilidades que resultaram no descumprimento das metas de produção. No ano em questão, a disponibilidade mensal (horas totais real de produção/horas totais previstas disponíveis) não se manteve constante devido a uma grande quantidade de intervenções no setor operacional.

Para o ano de 2016, houve um aumento das metas de produção para a fábrica de fosfato bicálcico. O aumento da produtividade é alcançado identificando os fatores que levam ao desperdício de tempo em produção. Tempo que não foi aproveitado para produzir fosfato bicálcico e foi necessário algum tipo de investimento para sanar algum evento de parada, prevista ou não. Desta maneira, convém ao departamento de produção ter melhor entendimento da situação de horas paradas, a fim de aumentar o tempo entre falhas no chão de fábrica.

### 3.2 Fazer um business case para o projeto

A melhoria da performance do setor produtivo ocorre quando as necessidades de intervenção na área são reduzidas, utilizando de maneira eficiente todos os recursos e equipamentos que agregam valor na produção de fosfato bicálcico. Desta maneira torna-se possível o cumprimento da meta de produção mensal do produto.

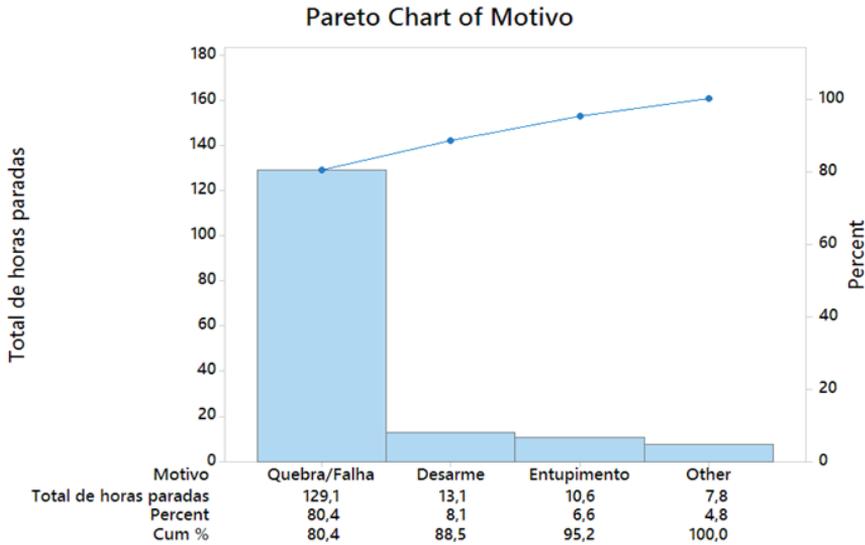
A totalidade de eventos de paradas durante o ano de 2015 foram de 1058,15 horas improdutivas no geral. Deste total de horas, as expectativas de parada classificadas por Manutenção Corretiva, no acumulado, eram de que houvessem 135 horas paradas por este motivo, porém ocorreram 160,5 horas. As classificadas por Manutenção Corretiva, foram as que mais excederam do valor planejado para horas paradas. Logo, é relevante a elaboração de ações para minimizar horas perdidas diante do aumento em 18,9% de horas paradas além do planejado.

Os registros de horas paradas para este estudo foram manutenção em equipamentos que param não somente o equipamento, mas todo o setor de produção de fosfato bicálcico. Essas paradas podem ocorrer seguindo as classificações feita pela empresa:

- Quebra/Falha: ocorrências que impedem o funcionamento de algum equipamento.
- Entupimento: obstruções de linhas e do fluxo das matérias do processo.
- Desarme: sistema de proteção do equipamento que ocasiona a parada quando as condições de operação estão fora do especificado.
- Substituição: é verificado a necessidade de realizar troca de peça/equipamento sem paradas inesperadas, agenda-se a parada assim que possível.
- Vazamento: é verificado vazamento de fluídos ou produto no qual é inevitável a manutenção corretiva, agendando a parada assim que possível.
- Limpeza: há ocorrência de paradas por obstrução do equipamento ou linha.
- Controle de Qualidade: é verificado ocorrência fora da especificação do produto durante o processo.
- Operacional: paradas devido a ocorrência de erros humanos na produção.

Todas as paradas por manutenção corretiva podem ser enquadradas nessas classificações, nesta empresa. As definições para essas paradas foram tomadas para auxiliar os departamentos na busca de informações em histórico de paradas. Analisando o ano de 2015, intervenções feitas na área de produção por Quebra/Falha apresentam uma frequência de 80,4% dos casos, Gráfico 1.

O estudo deve ser direcionado buscando entender, estatisticamente, o desempenho quanto a paradas de Manutenção Corretiva por Quebra/Falha, visto que no total de horas paradas é este motivo que se mostra com maior representatividade e não correspondeu a programação de manutenção.



**Gráfico 12.1** Gráfico de Pareto, motivo das paradas por Manutenção Corretiva.

Fonte: Próprio autor no Minitab 17.

### 3.3 Seleção de uma ou mais características críticas de disponibilidade

Para avaliar o setor de produção, que enfrenta uma grande frequência de paradas por Manutenção Corretiva-Quebra/Falha, é necessário traduzir este problema de forma mensurável. Uma melhor compreensão das horas improdutivas do setor pode ser feita atentando o tempo médio entre as falhas. Através desta análise, se o período entre uma falha e outra foi curto ou não, é percebido o desempenho da fábrica quanto a disponibilidade do setor de produção.

Logo, de maneira análoga ao parâmetro ‘tempo entre falhas’, a característica crítica de disponibilidade identificada para análise nas próximas etapas deste trabalho é ‘Dias Entre Paradas’. Os fatores motivadores para a execução do trabalho foi o entendimento das variáveis críticas do contexto exposto.

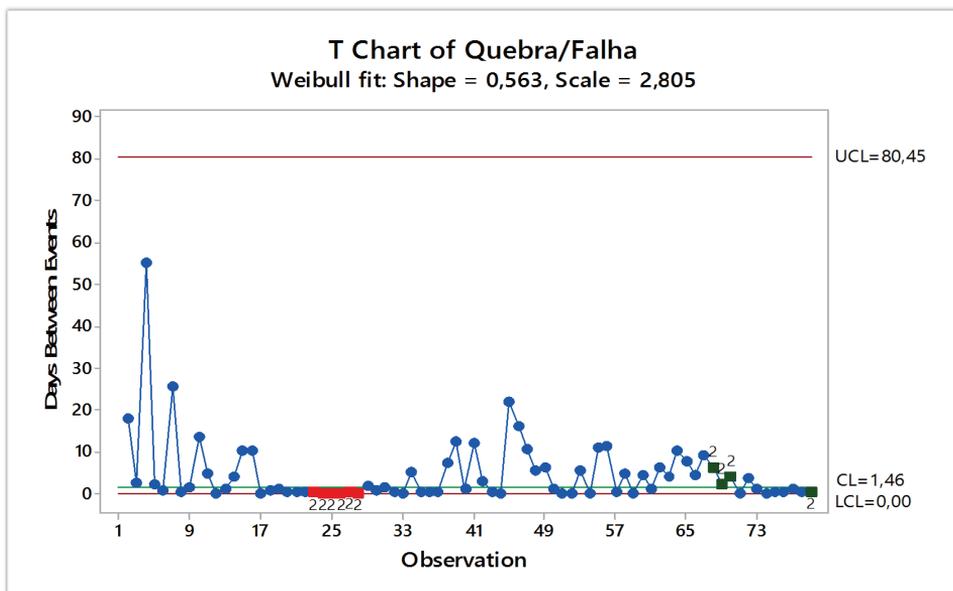
### 3.4 Registrar os resultados no processo em carta de controle

Para confrontar o quão estável é o tempo entre paradas em escala contínua, através da carta de controle T *chart*. Foram conferidos se há a existência de causas especiais. Desta maneira é possível evidenciar se o sistema considerado, ‘Dias Entre Paradas’ no setor produtivo, está atuando de forma controlada sob a perspectiva estatística.

A relação de ‘Dias Entre Paradas’ por ocorrência de paradas por Quebra/Falha foi avaliada sob o teste de carta de controle do tipo 2, avaliação para pequenos desvios no processo. Realizou a investigação se há 7 pontos consecutivos, todos aumentando ou diminuindo, na região ou acima ou abaixo da linha central.

Este teste foi escolhido pela compreensão de que o mínimo de intervenções na área deve ser feito por motivo de Manutenção Corretiva. Sendo a quantidade de 7 para eventos o menor valor permitido para este teste.

O Gráfico 2 exibe que a maioria dos pontos estão marcados numa região bem próxima do Limite de Controle Inferior (LCL - *Lower Center Limit*) na carta de controle, isto relata quão significativa é a quantidade de paradas no setor. Esta condição mostra um cenário indesejado no chão de fábrica. Na perspectiva de ‘Dias Entre Paradas’ por Manutenção Corretiva, a média de ‘Dias Entre Paradas’ é de 1,46.



**Gráfico 12.2** Carta de Controle, T chart, para Quebra/Falha 2015.

Fonte: Próprio Autor no Minitab 17.

Foram identificadas causas especiais, retratando que o processo não está sob controle. Os pontos em que ocorreram a falha do teste foram destacados de vermelho ou verde e assinalados com o número, conforme Gráfico 2.

Os que foram destacados na cor verde e assinalados na região acima da Linha Central (CL) mostram uma tendência de estabilidade com quantidade superior ao tempo médio entre paradas no processo. Já os pontos vermelhos,

destacados abaixo da linha central, relatam a criticidade da frequência do tempo entre paradas, ou seja, considerados os sete eventos indesejados, pré-requisito do teste, houveram outros eventos na sequência.

É relevante analisar também os sete pontos anteriores ao primeiro destacado, além dos pontos de causas especiais do teste 2. A média dos pontos 16 ao 28 foi de 0,07 'Dias Entre Paradas' e dos pontos 68, 69, 70 e 79, foi de 1,68 'Dias Entre Paradas'. Estes valores representam o quanto o tempo entre uma parada e outra foi significativamente pequeno para o primeiro grupo citado, assim, em média a cada 1,68 horas ocorreram paradas. Já para o segundo grupo, que descrevem uma tendência de tempo entre paradas acima do valor médio, foi percebido que, em média, a cada 40,32 horas médias houveram paradas por motivo de Quebra/Falha, mostrando propensão a um cenário mais desejado.

A outra etapa da fase de medição é a verificação da capacidade do processo. Para esta verificação o processo deve estar sob controle, ou seja, as causas especiais não podem estar presentes no sistema observado. Para atender este requisito, as causas especiais foram retiradas. Remover as causas especiais destacadas na carta é uma forma de ação corretiva que permite avaliar a capacidade de dados que possuem um comportamento previsível.

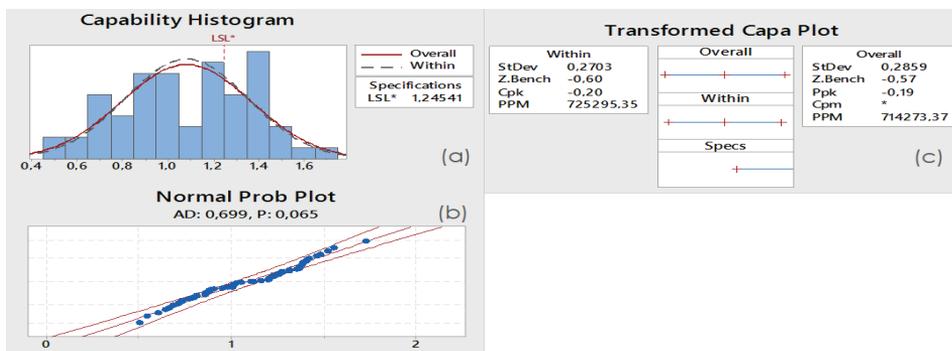
### 3.5 Estimar a capacidade do processo

Os dados dos 'Dias Entre Paradas' não se conformam a distribuição normal. Uma alternativa é a aplicação da transformação de Box-Cox para realizar a análise de capacidade, seguindo a condição da Eq. 2 com  $\lambda = 0,14$ . A Gráfico 3 (b) mostra a aderência dos dados a distribuição normal.

No setor de produção de fosfato bicálcico é desejado que os 'Dias Entre Paradas' por Manutenção Corretiva - Quebra/Falha sejam superiores que cinco dias. Não há um limite máximo visto que quanto maior os números de 'Dias Entre Paradas' por este motivo melhor.

Ao realizar a transformação o LSL - *Lower Spec Limits* (Limite Inferior de Especificação) é transformado para aproximadamente 1,25, Gráfico 3 (a). No histograma as frequências dos valores medidos estão deslocadas a esquerda do valor LSL. Esta condição proporciona um valor negativo para  $C_{pk} = -0,20$ .

O índice PPM faz a análise de taxa de defeitos por milhão, 725.295,3 a um nível sigma de -0,60. Na Gráfico 3 (c) o valor de PPM não está em porcentagem, porém tal informação pode ser traduzida dividindo por um milhão, na qual tem-se que 72,53% dos 'Dias Entre Paradas' estão abaixo do LSL.



**Gráfico 12.3** Capacidade do Processo 2015, transformação Box-Cox com  $\lambda = 0,14$ .

Fonte: Próprio autor no Minitab 17.

### 3.6 Definir objetivos para variáveis dependentes

Os índices de capacidade mostram um processo não capaz e que terá grandes dificuldades de atender a expectativa de cinco ‘Dias Entre Paradas’. Logo, compreendendo esta dificuldade, não se projeta tornar este processo capaz, mas tornar melhor os índices e que o processo seja previsível. É conveniente melhorar os resultados com um aumento do nível sigma e  $C_{pk}$ , redução em 10% do ppm e que o processo esteja sob controle, Tabela 1.

**Tabela 12.1** Objetivo de desempenho sob análise dos resultados de 2015.

	Desempenho 2015		Objetivo
	ppm	Nível sigma	ppm
Dias Entre Paradas	72,52%	-0,60	< 65,27%

Fonte: Próprio autor.

## Considerações finais

Sob as orientações das fases Definir e Medir da metodologia DMAIC, utilizada em projetos Seis Sigma, este trabalho avaliou o processo de uma indústria de fosfato bicálcico. Essa análise foi feita a fim de julgar as manutenções corretivas. Assim, este artigo contribui para casos em que há significativa interrupções no processo. Foi avaliada a estabilidade do processo, traduzindo o problema de

forma mensurável, quanto a ‘Dias Entre Paradas’ na fase Medir. Nesta etapa foi necessário a utilização de uma carta de controle adequada para eventos raros. A utilização da carta de controle T, traz uma contribuição acadêmica pois permitiu melhor análise da estabilidade do processo contextualizado para dias entre falhas. Ao avaliar a capacidade do sistema, os índices mostram grandes dificuldades de estar dentro do limite mínimo de especificação. Este fato justifica a dificuldade de o setor cumprir as metas de produção.

A orientação consistente das fases desenvolvidas neste trabalho, possibilitou coerência a cada passo realizado e um tratamento sistemático das informações e dados pertinentes ao tempo médio entre falhas. Em sequência das demais fases do método DMAIC, Analisar, Melhorar e Controlar, será tratado em trabalhos futuros, relatando a metodologia proposta para casos de indisponibilidade dos equipamentos sob a perspectiva de ‘Dias Entre Paradas’.

## Referências

- ANDRIETTA, J.; MIGUEL, P. Aplicação do programa Seis Sigma no Brasil: resultados de um levantamento tipo survey exploratório-descritivo e perspectivas para pesquisas futuras. *Gestão & Produção*, v. 14, n. 2, p. 203-219, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Confiabilidade e manutenção* - NBR 5456. Rio de Janeiro, 1994.
- ARUMUGAM, V.; ANTONY, J.; LINDERMAN, K. The influence of challenging goals and structured method on Six Sigma project performance: A mediated moderation analysis. *European Journal of Operational Research*, v. 254, n. 1, p. 202-213, 2016.
- BENNEYAN, J. Performance of number-between g-type statistical control charts for monitoring adverse events. *Health Care Management Science*, v. 4, n. 4, p. 319-336, 2001.
- BOX, G.; COX, D. An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society*, v.26, p.211-252, 1964.
- CASTRO, F.; ARAUJO, F. Medição da eficiência operacional através do indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness): uma proposta de implantação no segmento de bebidas. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO. VI CNEG, Niterói, ago. 2010.

DE KONING, H. & DE MAST, J. A rational reconstruction of Six-Sigma's breakthrough cookbook. **International Journal of Quality & Reliability Management**, Vol.23, p.766-87, 2006.

FOGLIATTO, F.; RIBEIRO, J. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. São Paulo: Campus; Elsevier, 2009.

HANSEN, R. **Eficiência Global dos equipamentos: Uma poderosa ferramenta de produção/manutenção para aumento dos lucros**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

HARRY, M.; SCHROEDER, R. Six sigma: a breakthrough strategy for profitability. **Quality Progress**, New York, may, 1998.

KAKDEC, A; NASCIF, J. **Manutenção – Função Estratégica**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2012.

LINDERMAN, K.; SCHROEDER, R.; ZAHEER, S.; CHOO, A. Six sigma: a goal theoretic perspective. **Journal of Operations Management**, Vol.21, p.193-203, 2003.

LOUZADA, F.; DINIZ, C.; FERREIRA, P; FERREIRA, E. **Controle Estatístico de Processos: uma abordagem prática para cursos de Engenharia e Administração**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

MANDAL, P. Improving process improvement: executing the analyze and improve phases of DMAIC better. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 3, n. 3, p. 231-250, 2012.

MONTGOMERY, D.C. **Introduction to statistical quality control**. 6ª ed. New York: John Wiley & Sons. 2009.

MONTGOMERY, D.; WOODALL, W. An overview of six sigma. **International Statistical Review**, v. 76, n. 3, p. 329-346, 2008.

NELSON, L. Supplementary runs tests for np control charts. **Journal of quality technology**, v. 29, n. 2, p. 225, 1997.

NETTO, R.; MEIRELES, M.; SILVA, O.; PAIXAO, M. Productivity: production management system implementation in a brazilian industry – case study. In:

INTERNATIONAL CONGRESSO OF MECHANICAL ENGINEERING, 17., COBEM. São Paulo, SP, p. 10-14, 2003.

PERUCHI, R.; BALESTRASSI, P.; DE SANTANA, M.; MAIA, P. Aplicação das etapas definir e medir do roadmap DMAIC para um exemplo didático do projeto Seis Sigma. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. XXXII ENEGEP, Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, 2012.

RIBEIRO DE JESUS, A. et al. Six Sigma critical success factors in Brazilian industry. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 33, n. 6, p. 702-723, 2016.

XIE, M.; GOH, T.; RANJAN, P. Some effective control chart procedures for reliability monitoring. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 77, n. 2, p. 143-150, 2002.

ZHANG, C.; XIE, M.; GOH, T. Economic design of exponential charts for time between events monitoring. **International Journal of Production Research**, v. 43, n. 23, p. 5019-5032, 2005.