

Controle Estatístico de Processo (CEP) aplicado a máquinas de distribuição automáticas

Guilherme Ranzolin Piazzetta

guilherme.piazzetta@ifsc.edu.br. Instituto Federal de Santa Catarina.

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo avaliar, por meio de ferramentas de Controle Estatístico de Processo (CEP), o procedimento de produção e entrega de suplementos alimentares realizado por uma máquina de distribuição automática. Foi realizado um estudo das sete ferramentas de CEP e definida uma metodologia para medições da massa de pó entregue pelas máquinas analisadas. A partir dos dados coletados na primeira etapa da experimentação, foi identificada grande influência de causas especiais na variabilidade das medições de massa em cada dose. Ao se isolar possíveis causas de desvios e padronizar o processo de medição, foi possível identificar importantes características do processo, como, por exemplo, o número máximo de doses que podem ser retiradas sem que o nível baixo de pó influencie na massa de pó. Na análise e investigação dos desvios do processo, foram empregados o histograma e o diagrama de causa e efeito, aliados à análise gráfica dos valores das medições e a uma análise estatística básica. Os resultados apurados permitiram concluir que, para garantir a qualidade do produto entregue, é necessário fazer um monitoramento do nível de pó no recipiente de armazenamento, o que, atualmente, só é possível a partir da contagem de doses servidas.

Palavras-chave: Controle estatístico de processo. Ferramentas da qualidade. Máquina de distribuição automática de suplementos alimentares.

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the production and delivery of products performed by an automatic distribution machine, or vending machine, using Statistical Process Control (SPC) tools. In order to do so, we carried out a study of the seven SPC tools and defined a methodology for measuring the mass of powder delivered by the machines analyzed. From the data collected in the first stage of experimentation, we identified a great influence of special causes. By isolating possible causes of deviations and standardizing the measurement process, it was possible to identify important characteristics of the process, such as the maximum number of doses that can be produced without compromising the desired minimum mass of powder per dose. In this process of analysis and investigation we used the histogram and the cause and effect diagram combined with basic graphical and statistical analysis. The results obtained helped us conclude that in order to guarantee the quality level of the delivered product, it is necessary to monitor the level of powder in the canister, which, currently, is only possible by counting the number of produced doses.

Keywords: Statistical process control. Quality tools. Vending machine for dietary supplements.

1 Introdução

A qualidade de um produto está relacionada ao atendimento integral dos anseios do cliente. Para tal, a qualidade deve ser gerada a partir do processo produtivo (PALADINI, 1995). Ao se lidar com máquinas de distribuição automáticas, além dos custos de instalação e de mão de obra mais baixos em comparação com os de lojas tradicionais, também existe uma relação diferenciada entre o produto e o cliente (LIN *et al.*, 2011). Na operação de venda, a máquina faz o papel de interface com o cliente e, muitas vezes, também é responsável pela produção instantânea do produto. Por essa relação direta entre produção e cliente, é muito importante que exista garantia da qualidade dos processos de produção e entrega dos produtos comercializados. No contexto deste trabalho, sete ferramentas que compõem o Controle Estatístico de Processo (CEP) são estudadas e empregadas em um estudo de caso de máquinas de distribuição automáticas.

Por ser flexível e adaptável a qualquer processo e pela possibilidade de redução de custos e aumento da qualidade de produtos e serviços, o CEP é amplamente estudado e aplicado na indústria. Giron *et al.* (2013) conduziram uma pesquisa em uma empresa avícola na qual as análises provenientes do CEP foram utilizadas para diagnosticar processos e identificar causas de desvios. Lima *et al.* (2006), por sua vez, aplicaram gráficos de controle em processos da indústria farmacêutica, destacando em seu trabalho as vantagens do emprego da ferramenta. Destacaram ainda que, como o método estatístico oferece muitas informações, ele deve ser usado mais que como um mero indicador, subsidiando tomadas de decisões para melhoria dos processos.

O estudo proposto neste trabalho tem como objetivo geral avaliar, por meio de ferramentas de CEP, o processo de produção e entrega de produtos realizado por uma máquina de distribuição automática. Para atingir o objetivo geral, são elencados os seguintes objetivos específicos: revisar a literatura acerca de CEP; identificar o processo em análise e a variável de interesse para monitoramento; obter dados provenientes de medições que representem o comportamento da variável ao longo do tempo; analisar os dados medidos aplicando ferramentas de CEP.

Na pesquisa é utilizado um estudo descritivo e exploratório, com análise dos dados através de uma abordagem qualitativa-quantitativa. É realizada uma

revisão da literatura abordando os fundamentos do CEP e suas sete ferramentas, a qual é apresentada na seção 2. O estudo de caso usado na coleta dos dados é apresentado na seção 3, na qual é abordado o processo de produção de uma dose de suplemento alimentar pela máquina e também é apresentado o procedimento empregado nas medições. Na seção 4, são feitas análises qualitativas e quantitativas dos dados obtidos a partir do emprego de ferramentas de CEP. Por fim, na seção 5, são feitas considerações finais, que englobam as conclusões do trabalho e as sugestões para ações e trabalhos futuros.

2 Referencial teórico

Quando se trata de qualidade, várias definições podem ser encontradas na literatura. Juran e Godfrey (1999) relacionam o conceito de qualidade com a adequação ao uso. Deming (2000) diz que qualidade significa atender e, se possível, exceder as expectativas do consumidor. Para Crosby (1995), qualidade significa atender as especificações. Montgomery (2004, p. 6) prefere uma definição moderna de qualidade: “qualidade é inversamente proporcional à variabilidade”.

Ainda que a produção de um produto seja bem planejada e todo o cuidado seja tomado para que cada entrega seja igual às demais, sempre existirá uma variabilidade inerente ao próprio processo. Essa variabilidade natural é causada por diversos fatores que são essencialmente inevitáveis. Por considerar-se que as variáveis aleatórias, ou ruído de fundo, fazem parte do processo, diz-se que um processo que opera apenas com essas perturbações está sob controle estatístico (MONTGOMERY, 2004).

Processos também são ocasionalmente sujeitos a outros tipos de perturbações, que tipicamente são muito maiores que os ruídos de fundo. Essa variabilidade é normalmente causada por máquinas ajustadas de maneira inadequada, erros do operador ou matéria-prima defeituosa. Tais fatores não fazem parte do padrão de causas aleatórias, então são chamadas de causas especiais. Quando ocorrem, elas podem colocar o processo em um nível inaceitável quanto a seu desempenho esperado; por essa razão, diz-se que um processo que opera nessas condições está fora de controle (MONTGOMERY, 2004; COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005).

Para evitar que um processo saia de controle, é necessário que ele seja permanentemente monitorado para que possa ocorrer a detecção dessas causas

especiais ou atribuíveis (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005). Tendo em vista essa necessidade, indústrias japonesas e, mais tarde, americanas começaram a adotar métodos estatísticos para controle e melhoria da qualidade. Nesse escopo, destaca-se o Controle Estatístico de Processo (CEP) como uma poderosa coleção de ferramentas de resolução de problemas, focadas na obtenção da estabilidade de um processo e da melhoria de sua capacidade através da redução da variabilidade (MONTGOMERY, 2004).

Segundo Hradesky (1999), um CEP eficaz vai além da estatística pura, sendo majoritariamente composto por ações administrativas que envolvem técnicas estatísticas, técnicas de solução de problemas, liderança para aperfeiçoamento da qualidade e da produtividade, planejamento e método sistemático (que atua como catalisador). Montgomery (2004) apresenta sete principais ferramentas para o CEP, as quais podem ser aplicadas em qualquer processo, como forma de auxílio à prática das ações administrativas abordadas por Hradesky (1999). São elas: histograma; folha de controle; gráfico de Pareto; diagrama de causa e efeito; diagrama de concentração de defeito; diagrama de dispersão, e; gráfico de controle. Essas sete ferramentas são abordadas com mais detalhes na seção 2.1, e algumas delas são aplicadas no estudo de caso apresentado na seção 3.

2.1 Ferramentas para CEP

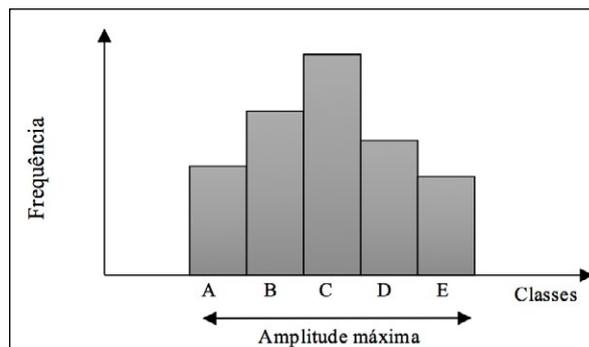
Também conhecidas como ferramentas da qualidade, elas são frequentemente aplicadas como apoio ao desenvolvimento da qualidade nas organizações. Podem ser usadas de forma isolada ou em conjunto, como parte de um processo de implantação de programas de qualidade. Ainda que as ferramentas sejam parte importante do CEP, elas englobam apenas seus aspectos técnicos, sendo necessário que haja engajamento de todos os níveis organizacionais para que ocorra a melhoria da qualidade e da produtividade do processo (MONTGOMERY, 2004; MIGUEL, 2001).

Histograma

O histograma é uma ferramenta estatística que apresenta a frequência de determinado valor ou classe de valores em um grupo de dados. A Figura 1 mostra um exemplo de histograma, o qual consiste em um gráfico de barras distribuídas no eixo horizontal, cujas larguras representam os intervalos de classe da

variável e as alturas, no eixo vertical, representam a frequência com que ocorrem (MIGUEL, 2001).

Figura 1 – Exemplo de histograma



Fonte: Miguel (2001)

A partir de parâmetros gráficos, o histograma fornece uma ideia da forma, dispersão e tendência central dos dados amostrais. Essa ferramenta é utilizada para determinação rápida e intuitiva de aspectos de dados que não são óbvios quando olhados diretamente em tabelas (MONTGOMERY, 2004).

Folha de controle

A folha de controle (ou verificação) é um instrumento para coleta de dados históricos ou atuais do processo sob investigação. Um exemplo de folha de controle simples é mostrado na Figura 2; tal folha permite a verificação do comportamento de uma variável a ser controlada – por exemplo, o registro de itens defeituosos (MIGUEL, 2001).

Figura 2 – Exemplo de folha de controle

Tipo de defeito	Frequência	Soma
Tipo A	***	3
Tipo B	*****	6
Tipo C	*	1
Total:		10

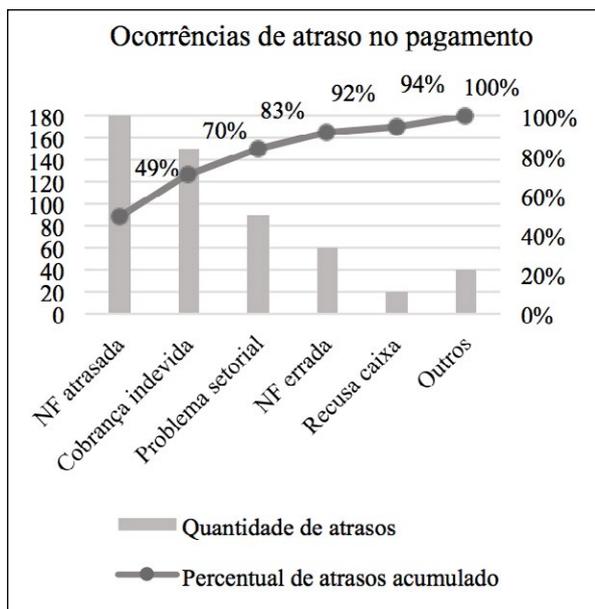
Fonte: Miguel (2001)

Como o controle estatístico é baseado nos dados do processo, é importante e necessário que se faça um resumo orientado no tempo. A folha de controle é uma importante ferramenta de registro na busca de tendências e de outros padrões significativos (MONTGOMERY, 2004).

Gráfico de Pareto

O gráfico de Pareto é uma ferramenta utilizada para organizar dados por ordem de importância, para que se possa determinar prioridades para resolução de problemas. Essa ferramenta é de grande utilidade devido ao seu uso na melhoria da qualidade em aplicações industriais ou não industriais (MONTGOMERY, 2004; SELEME; STADLER, 2010). A Figura 3 apresenta um exemplo de gráfico de Pareto usado para identificar as principais causas de atraso no pagamento em uma organização fictícia. O gráfico é composto por colunas, nas quais são divididas as causas, distribuídas no eixo horizontal. O exemplo também traz uma linha contínua que representa a curva cumulativa da influência de cada elemento (MIGUEL, 2001).

Figura 3 – Exemplo de gráfico de Pareto



Fonte: Adaptada de Miguel (2001)

Ainda que o gráfico não identifique automaticamente os defeitos mais importantes (e sim aqueles que ocorrem com mais frequência), métodos de ponderação e gráficos auxiliares de custo podem ser usados para uma melhor eficiência (MIGUEL, 2001).

Diagrama de concentração de defeito

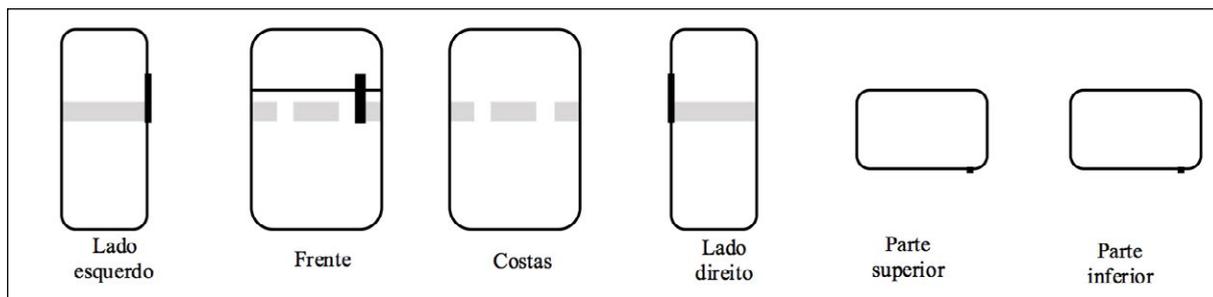
O diagrama é uma figura da unidade ou peça em investigação que mostra todas as vistas relevantes, como pode ser visto no exemplo da Figura 4. Nesse caso, usado para o estágio final do processo de montagem de um refrigerador, os defeitos são identificados pelas áreas cinzas em cada uma das vistas.

O uso do diagrama de concentração de defeitos como ferramenta da qualidade é feito indicando-se na figura a localização dos defeitos encontrados. Ao se analisar uma série de diagramas, é possível identificar padrões que, em geral, contêm informações sobre as possíveis causas dos defeitos (MONTGOMERY, 2004).

Diagrama de causa e efeito

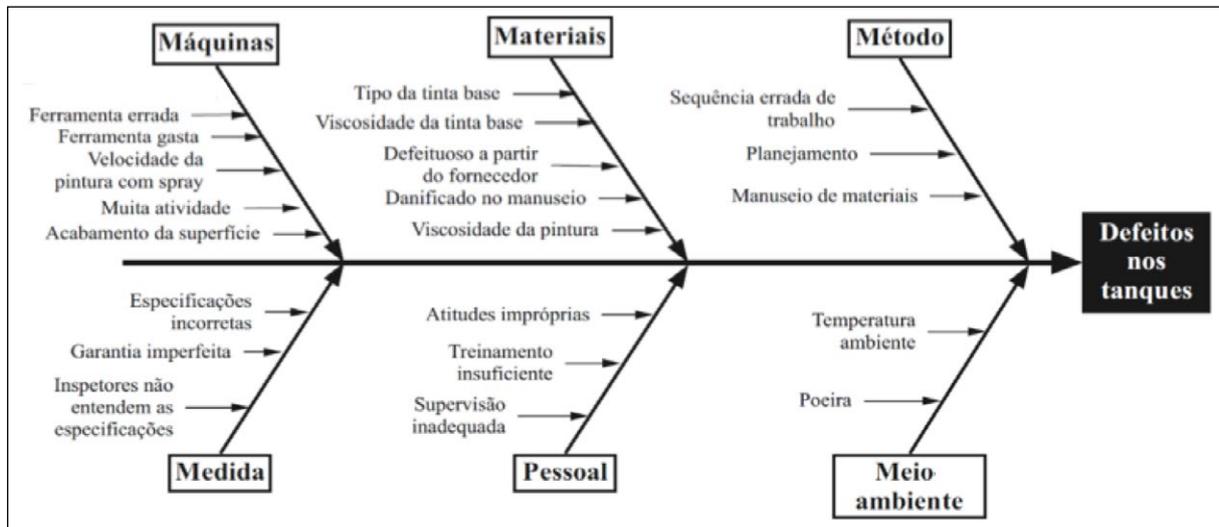
Em 1953, Ishikawa consolidou estudos realizados em uma fábrica na forma de diagrama de causa e efeito. O diagrama é construído para que causas potenciais de um efeito indesejado sejam levantadas e ações corretivas sejam tomadas (MONTGOMERY, 2004). A Figura 5 (na página seguinte) apresenta um exemplo de diagrama de causa e efeito no qual é possível identificar os aspectos que caracterizam as causas ou ações que produzem os efeitos em análise, que, nesse exemplo, são representados por defeitos em tanques.

Figura 4 – Exemplo de diagrama de concentração de defeito do acabamento da superfície de um refrigerador



Fonte: Montgomery (2004)

Figura 5 – Diagrama de causa e efeito para o problema dos defeitos dos tanques



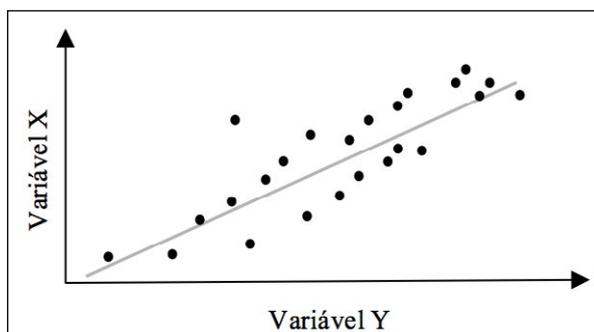
Fonte: Montgomery (2004)

A determinação das causas é feita de maneira criteriosa, normalmente em equipe, a partir de sessões de *brainstorming*, nas quais são especificadas as principais categorias de causas potenciais. Dentro dessas categorias são, então, classificadas as possíveis causas do defeito. Usualmente, as categorias são caracterizadas pelos 6 Ms: materiais; máquina; método; meio ambiente; mão de obra (pessoal); medida (SELEME; STADLER, 2010).

Diagrama de dispersão

O diagrama de dispersão apresenta graficamente dados coletados aos pares sobre duas variáveis (x, y), e a forma da dispersão indica a relação que existe entre elas. A Figura 6 apresenta um exemplo de diagrama de dispersão no qual é identificada uma forte correlação positiva, assim chamada, pois ambas as variáveis se movem na mesma direção (MIGUEL, 2001; MONTGOMERY, 2004).

Figura 6 – Exemplo de gráfico de correlação entre variável X e variável Y



Fonte: Adaptada de Miguel (2001)

Embora o diagrama seja útil para identificar relações potenciais, é importante salientar que isso não implica necessariamente causalidade. Caso a relação seja confirmada, o diagrama é útil para identificar possíveis desvios em processos, uma vez que problemas em uma variável podem também levar a problemas em outras (MIGUEL, 2001; MONTGOMERY, 2004).

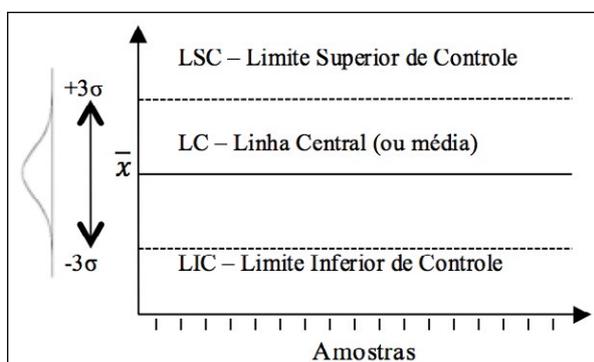
Gráfico de controle

Consiste em uma ferramenta gráfica para representar e registrar tendências de desempenho sequencial ou temporal de um processo. A análise do gráfico indica se o processo está sob controle (dentro dos limites esperados) ao longo do tempo. A partir do monitoramento com essa ferramenta, é possível identificar causas de variação do processo. Shewhart foi quem idealizou os gráficos de controle, os quais podem ser de diferentes tipos em função do controle que se pretende executar (MIGUEL, 2001; SELEME; STADLER, 2010).

No caso do controle por variável de valor contínuo, em que as características de interesse podem ser quantificadas numericamente, a elaboração do gráfico ou carta de controle baseia-se na aplicação de conceitos estatísticos, como a distribuição normal (gaussiana). A elaboração e a análise são feitas com dois gráficos, um representante de medidas estatísticas de posição e outro, de medidas estatísticas de dispersão (MIGUEL, 2001).

O gráfico de controle por variáveis origina-se da distribuição normal; nele, os limites de controle (ou faixas de aceitação) são calculados por meio do intervalo $\mu \pm 3\sigma$, sendo μ a média e σ o desvio padrão da população. A Figura 7 mostra o modelo geral dos gráficos de controle. Nele, são representados eixos dentro dos quais se determinam faixas de aceitação. O eixo horizontal representa as amostras, e o eixo vertical representa os valores da média amostral (\bar{x}) e dos limites de controle superior e inferior (MIGUEL, 2001; SELEME; STADLER, 2010).

Figura 7 – Modelo de representação para gráficos de controle



Fonte: Adaptada de Seleme e Stadler (2010)

De forma geral, se os valores de amostras estiverem localizados dentro dos limites de controle ($\pm 3\sigma$) no gráfico, serão aceitos; caso contrário, o processo está fora de controle e medidas devem ser tomadas (SELEME; STADLER, 2010).

3 Método da pesquisa

Este trabalho apresenta aplicações de ferramentas de CEP a um estudo de caso visando identificar o comportamento do processo de preparação de doses de suplementos alimentares pelas máquinas de distribuição automática e as causas de possíveis desvios.

Segundo a Associação Brasileira de Vendas Automáticas (ABVA, 2015 *apud* SUREK *et al.*, 2016, p. 35), uma máquina de distribuição automática, ou *vending machine*, é uma “máquina automática que prepara e disponibiliza produtos diretamente para o consumidor”. Esse tipo de tecnologia de comercialização de produtos apresenta um nível de maturação avançado em países desenvolvidos; entretanto, no Brasil, ainda está se popularizando, com muito potencial de crescimento (SUREK *et al.*,

2016). Por dispensarem a presença do vendedor, têm menos custos de instalação e de mão de obra, no entanto, necessitam oferecer um produto padronizado e de qualidade, uma vez que não há interface entre a produção e o cliente (LIN *et al.*, 2011).

O estudo de caso proposto neste artigo foi realizado em parceria com uma empresa que produz máquinas de distribuição automáticas e teve como objetivo avaliar, por meio de ferramentas de CEP, o processo de preparação e entrega de produtos realizado por uma máquina de distribuição automática. A seção 3.1 apresenta o processo analisado e a variável a ser monitorada para que haja garantia da qualidade do produto entregue. A seção 4.1 apresenta os resultados preliminares obtidos a partir das medições e a análise dos dados, baseando-se nas ferramentas de CEP abordadas na seção 2. Por fim, a seção 4.2 trata da investigação das causas de alguns desvios encontrados, do planejamento de novas medições e da apresentação de seus resultados.

3.1 Apresentação do caso em estudo

O estudo do presente trabalho é relativo ao processo de preparação de um produto por uma máquina de distribuição automática de suplementos alimentares. Tal máquina pode oferecer diversos tipos de produtos, os quais são mantidos na forma de pó em vasilhas internas e misturados com água apenas no momento da venda. A Figura 8 apresenta a máquina de distribuição de suplementos utilizada nesse estudo. Na imagem é possível identificar três compartimentos de pó, dedicados ao armazenamento de três diferentes tipos de produtos.

Figura 8 – Máquina de distribuição de suplementos aberta, com reservatórios de diferentes tipos de produtos (em pó)

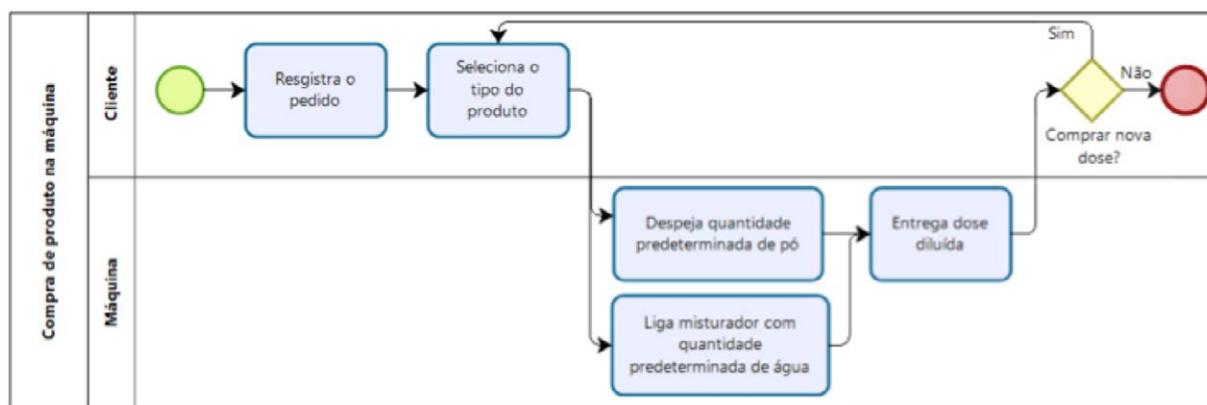


Fonte: Acervo do autor

O procedimento operacional da máquina acontece como ilustrado em forma de fluxograma na Figura 9, que descreve o processo de compra de um produto da máquina. Após o início do processo de compra, o usuário registra seu pedido (informando *login* de usuário, forma de pagamento etc.) e, em seguida, é feita a seleção do produto a ser produzido e entregue. Após selecionado o produto, a máquina liga um motor

responsável por depositar pó em um recipiente para diluição em água. A quantidade de pó de cada tipo de produto é definida pelo tempo em que o motor permanece ligado. Em paralelo, uma bomba d'água é ligada para diluição do pó. Ao fim do período predeterminado para a produção de cada produto, este é entregue ao usuário, que pode então selecionar um novo produto ou finalizar o processo.

Figura 9 – Fluxograma do processo de compra de um produto da máquina em estudo



Fonte: Elaborada pelo autor

Como o produto entregue pelo processo é uma dose de suplemento alimentar, é importante que a massa de pó dissolvida esteja de acordo com o que é anunciado pela empresa. Cada tipo de produto preparado pode ter uma massa de pó diferente, e as duas medidas mais utilizadas são 15 g e 30 g. A análise apresentada no trabalho foi feita com um tipo de produto que é feito dissolvendo-se 30 g de pó na água, o qual é aqui referenciado como produto tipo A.

Cada tipo de pó é armazenado na máquina em vasilhas individuais (como visto na Figura 8), as quais possuem motores acoplados a fusos, usados para transportar o pó da vasilha até o recipiente de mistura. As vasilhas possuem níveis máximos e mínimos, definidos pela empresa que as constrói e comercializa. Quando o pó atinge o nível mínimo, deve acontecer o reabastecimento até o nível máximo.

As máquinas produzidas pela empresa não possuem um sistema de medição da massa total de pó entregue, sendo esta quantificada pelo tempo em que o motor de cada recipiente de pó permanece ligado. Para a análise realizada neste trabalho, as medições de massa foram feitas em fábrica, com uma máquina "padrão" que estava aguardando realocação. As medições foram feitas coletando-se o pó depositado sem que ele fosse misturado com água, possibilitando a medição unicamente da massa de pó, com uma

balança. Na análise inicial, foram retiradas 175 doses durante o período de 35 dias (5 doses por dia). As doses diárias foram retiradas em horários fixos, distribuídos ao longo do período comercial em que a empresa trabalha: 9 h, 11 h, 14 h, 17 h e 19 h.

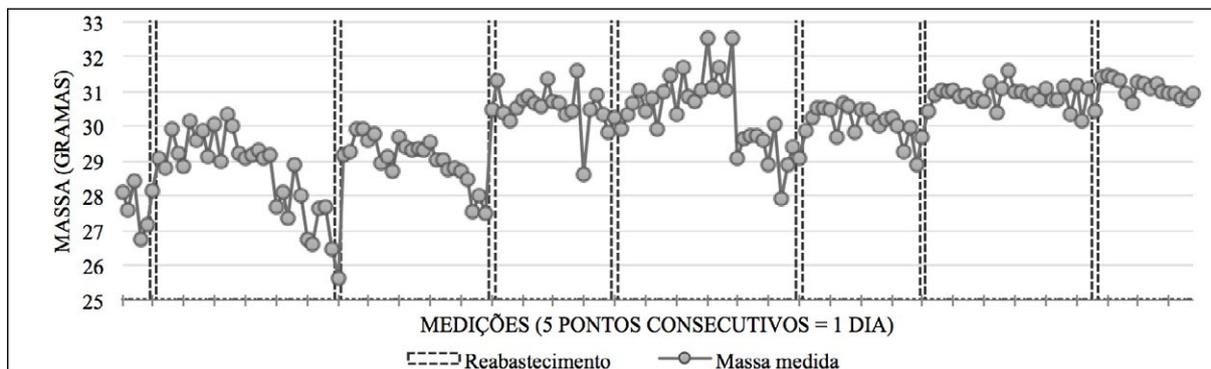
4 Resultados

4.1 Resultados das medições e conclusões preliminares

O objetivo das 175 medições feitas durante os primeiros 35 dias de experimento foi conhecer o processo e sua variabilidade, para comprovar que a máquina entregava a massa de pó na quantidade desejada, que, para o produto do tipo A, era de 30 g. De acordo com a empresa que produz as máquinas, não existe, na legislação vigente, uma recomendação legal para a quantidade mínima a ser entregue. Entretanto, é desejável que a dose entregue não tenha menos que 30 g, para que a qualidade do produto seja garantida.

A Figura 10 (próx. página) apresenta graficamente os resultados obtidos a partir das medições, sendo cada ponto do gráfico uma medição da massa de pó. Também são encontradas nesse gráfico sete barras verticais, as quais indicam o momento em que foi feito um reabastecimento de pó na máquina.

Figura 10 – Medições de massa do produto tipo A



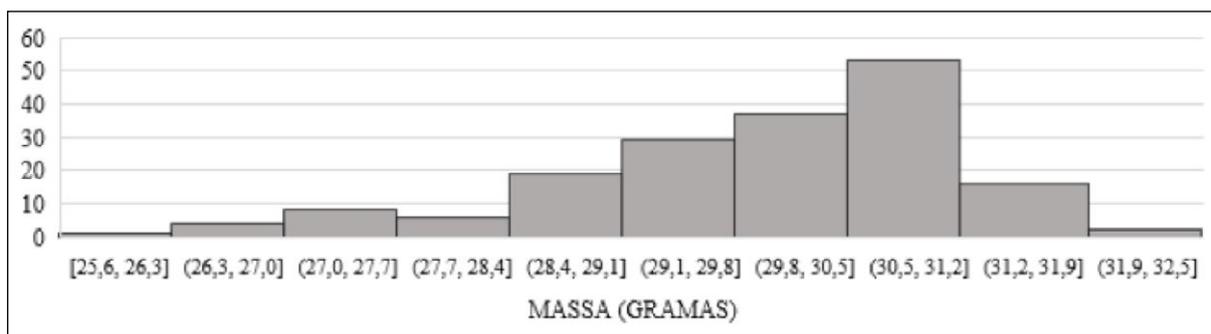
Fonte: Elaborada pelo autor

A média calculada para as 175 observações é 29,93 g e o desvio padrão é igual a 1,22 g, sendo o valor máximo medido 32,55 g e o mínimo, 25,62 g. Pelo gráfico, é possível observar que existem medições muito distantes do valor desejado de 30 g e que existe uma tendência descendente nas medições sequenciais que antecedem um reabastecimento. Pode-se ainda observar que o gráfico da Figura 10 foi construído de forma semelhante ao gráfico de controle de processo (apresentado na Figura 7). Nesse caso, não foram traçadas as linhas de LSC e LIC pois, nessa primeira análise, não havia medições prévias de um processo reconhecido como estável estatisticamente. Uma vez que o processo de preparação da dose seja validado

com uma variância aceitável conhecida, pode-se utilizar esse tipo de ferramenta para o monitoramento da qualidade do produto entregue.

A Figura 11 apresenta o histograma dos dados de massa de pó obtidos. Pela análise dos dados do histograma, pode-se observar que grande parte das medições se apresentaram abaixo da média e do valor de referência (30 g), indicando um problema em relação à qualidade do produto entregue. Pela análise de sua forma, pode-se concluir que não se trata de uma distribuição normal, a qual é considerada como modelo probabilístico apropriado para uma variável aleatória (MONTGOMERY, 2004).

Figura 11 – Histograma das medições de massa de pó do tipo A



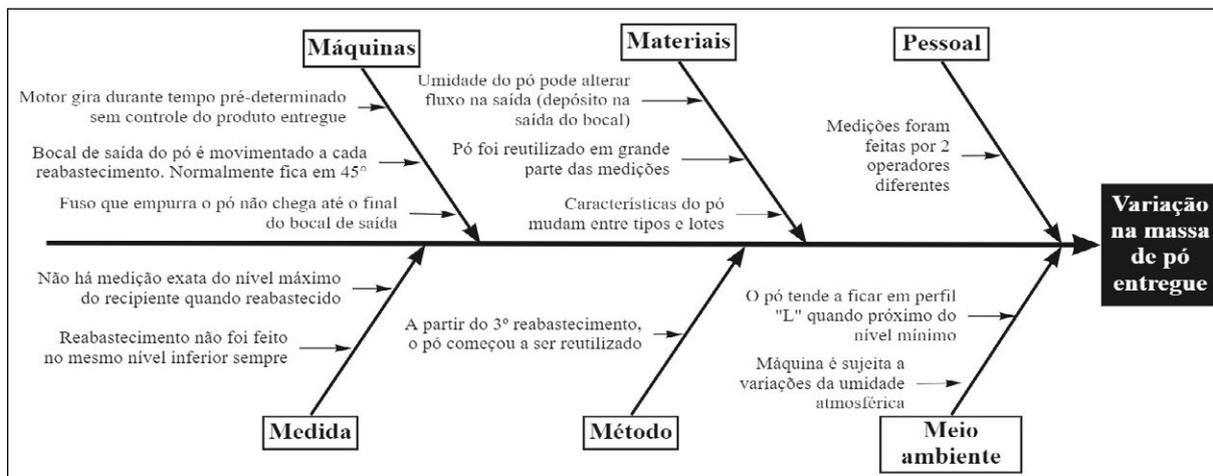
Fonte: Elaborada pelo autor

Uma vez que as medições mostraram grande variabilidade dentro do período analisado, possivelmente resultante de causas especiais, decidiu-se por investigar o processo em busca dessas variáveis não aleatórias que influenciam o processo de deposição do pó selecionado.

4.2 Investigação de desvios e novas medições

A fim de isolar as causas potenciais da variabilidade nas massas de pó coletadas, foi feita uma análise de causa e efeito juntamente com a equipe da empresa. A Figura 12 mostra o diagrama de causa e efeito produzido durante uma sessão de *brainstorming* sobre o processo de retirada de doses da máquina.

Figura 12 – Diagrama de causa e efeito para a variação da massa de pó entregue pela máquina



Fonte: Elaborada pelo autor

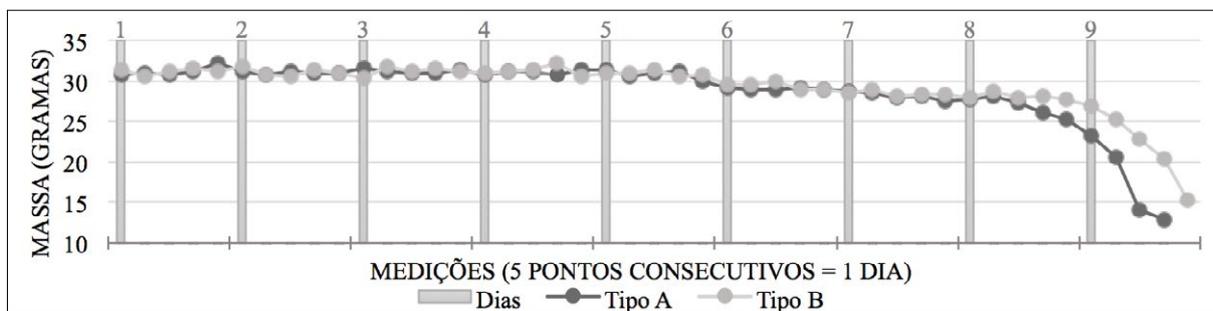
Foram identificadas doze principais causas dentro de seis categorias. Na categoria “materiais”, foram detectadas três causas relacionadas ao pó utilizado. Foi identificado que a umidade no pó pode fazê-lo compactar de forma que altere o fluxo de saída. Também foi observado que, nas séries de medições feitas em fábrica, o pó foi reutilizado. A equipe também informou que características como granularidade do pó podem mudar de um lote para outro, mesmo se tratando do mesmo tipo de produto e fornecedor.

Para a categoria “máquina”, observou-se que o motor que deposita o pó é ligado durante um tempo pré-determinado definido em *software*, podendo haver variação no tempo efetivo devido a condições do motor. Também foi identificado que o bocal de saída do pó é móvel e é movimentado a cada reabastecimento, podendo, após isso, ficar com angulação diferente da anterior, dificultando ou facilitando o fluxo de saída de pó. Além disso, foi observado que o fuso que empurra o pó não chega até o final do bocal, fazendo acumular pó em sua saída.

Para a categoria “método”, foi identificado que, a partir do terceiro reabastecimento, o pó começou a ser reutilizado, o que pode acarretar variações em suas características devido à umidade ambiente. Na categoria “meio ambiente”, foi observado que a máquina ficou o período todo posicionada em local coberto, porém sem portas ou janelas. Ainda nessa categoria, também foi constatado que, quando o nível de pó se aproxima do nível mínimo da vasilha, o pó tende a apresentar um perfil em “L” não uniforme.

Para a categoria “pessoal”, foi observado que as medições foram feitas por duas pessoas diferentes, que podem ter usado procedimentos não idênticos. Por fim, na categoria “medida”, foi visto que não existe grande precisão nas medições de nível alto ou baixo, o que faz com que os reabastecimentos não sejam feitos sempre no mesmo momento e até o mesmo nível máximo.

Figura 13 – Medições de massa dos produtos tipos A e B



Fonte: Elaborada pelo autor

Uma vez que as principais causas especiais foram identificadas, decidiu-se por realizar mais medições, controlando-se o maior número possível de variáveis do processo. Nessa segunda etapa foram feitas medições de dois tipos de produtos: tipos A e B. O novo processo de medição foi feito de maneira padronizada e pelo mesmo operador. As duas vasilhas foram completadas até o nível máximo com matérias-primas (pó do tipo A e do tipo B) novas, hermeticamente mantidas.

Os bocais de saída de pó das duas vasilhas foram mantidos na posição horizontal para que o pó caísse da forma mais direta possível. Foi mantida a mesma taxa de retirada de cinco doses diárias. Não foram feitas alterações de *hardware* ou *software* na máquina, sendo esta a mesma máquina utilizada na primeira etapa de medições.

Os dados medidos são apresentados graficamente na Figura 13. Nesse gráfico, o eixo vertical indica a massa medida e o eixo horizontal, o tempo em que as medições foram feitas, sendo um período total de 10 dias de observações. Cada ponto do gráfico representa uma medição, e as barras verticais indicam o início de cada dia do experimento.

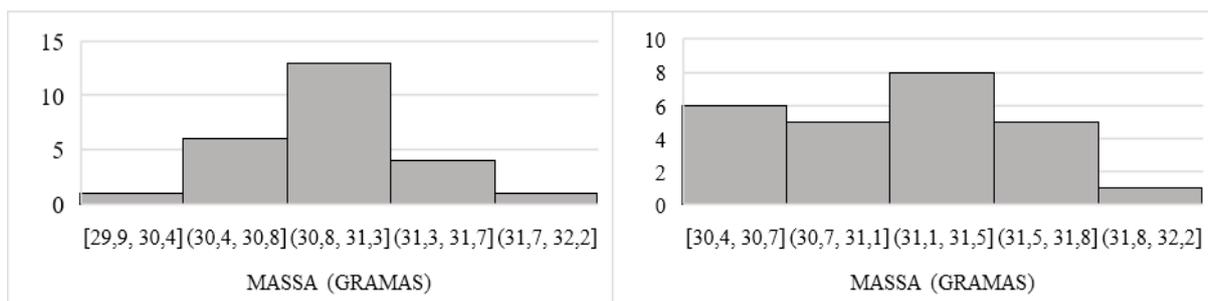
Da mesma forma que nas primeiras medições, é possível identificar uma forte correlação entre o nível de pó na vasilha e a massa de pó entregue na dose. Isso acontece devido ao fato de que, conforme o nível

de pó diminui, formam-se espaços vazios próximos ao fuso que empurra o pó para o bocal, tornando o fluxo descontínuo.

Pela análise gráfica, também é possível identificar que os dois tipos de produtos analisados apresentaram comportamento bastante semelhante. As primeiras 25 doses (retiradas nos 5 primeiros dias) apresentaram uma variabilidade pequena e permaneceram com massa superior a 30 g, com média igual a 31,02 g e desvio padrão de 0,41 g para o pó do tipo A, e média igual a 31,15 g e desvio padrão de 0,44 g para o pó do tipo B, conforme desejado. A partir do sexto dia, identificou-se queda das massas de pó entregues, chegando a 12,93 g na 44ª dose do pó tipo A e 15,32 g na 45ª dose do pó tipo B.

A Figura 14 apresenta dois histogramas resultantes da análise dos dados medidos nos 5 primeiros dias do experimento com os produtos dos tipos A e B. Diferentemente do que foi observado na Figura 11, a qual apresenta o histograma de todas as medições da primeira etapa, os histogramas da Figura 14 apresentam formatos próximos ao da curva de distribuição normal, caracterizando a aleatoriedade das variáveis. A análise dos dados desses histogramas também mostra uma quantidade majoritária de amostras com valores de massa superiores ao da referência de 30 g.

Figura 14 – Histograma das medições de massa de pó do tipo A (esquerda) e do tipo B (direita)



Fonte: Elaborada pelo autor

5 Conclusões

As primeiras medições realizadas foram significativas para o entendimento do processo, uma vez que a empresa que produz as máquinas ainda não havia feito tal experimento anteriormente. Através da investigação utilizando o diagrama de causa e efeito, foi possível identificar prováveis causas especiais, algumas das quais foram isoladas em uma segunda etapa do experimento.

Ao se isolar variáveis e padronizar métodos, foi possível compreender melhor a forte relação entre o nível de pó na vasilha e a massa de pó entregue nas doses. Com essa informação, é possível prever, a partir do número de doses produzidas, o momento aproximado em que a massa de pó entregue será inferior às 30 g desejáveis. Nos experimentos com os pós dos tipos A e B, esse momento foi identificado como após a produção de 25 doses.

O presente trabalho focou em utilizar duas das sete ferramentas de CEP apresentadas na revisão da literatura: o histograma e o diagrama de causa e efeito, aliados a uma análise gráfica e estatística básica. Entretanto, as demais ferramentas de CEP também podem ser aplicadas em tal processo, a fim de melhorar a qualidade do produto entregue.

A folha de controle, o diagrama de concentração de defeitos e o gráfico de Pareto podem ser muito úteis para identificação e correção de defeitos. Os dois primeiros podem ser empregados como uma forma de registro dos defeitos que geram custos ou colocam a máquina fora de serviço, enquanto o gráfico de Pareto pode ser usado como modo de apresentar essas informações de forma visual e ordenada, para priorização dos esforços nas ações corretivas. O diagrama de dispersão também pode ser empregado na investigação de possíveis desvios, como no caso da correlação entre o nível de pó na vasilha e a massa de pó entregue.

Os gráficos de controle de média e amplitude podem ser adotados como ferramentas de monitoramento *on-line*. Uma vantagem do emprego dessas ferramentas é a possibilidade de otimizar a taxa de reabastecimento por monitorar cada dose entregue e indicar tendências do processo, bem como identificar situações de instabilidade por causas especiais. A dificuldade para implementar tal solução se justifica pelo fato de que o projeto atual não dispõe de sistema de medição automática da massa de pó no produto entregue.

A partir dos resultados avaliados e das sugestões para demais aplicações, ressalta-se a contribuição que a análise estatística pode dar às dimensões da qualidade do processo. O CEP, quando corretamente trabalhado, trata os dados de forma objetiva e aplicada, buscando tendências e diagnósticos para o comportamento das variáveis em análise. Dessa forma, pode figurar como aliado nas tomadas de decisões em todos os níveis organizacionais.

REFERÊNCIAS

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle estatístico de qualidade**. São Paulo: Atlas, 2005.

CROSBY, P. **Quality without tears: the art of hassle-free management**. New York: McGraw-Hill, 1995.

DEMING, W. E. **Out of crisis**. Cambridge: MIT Press, 2000.

GIRON, E. *et al.* Aplicação do controle estatístico de processo em uma empresa do setor avícola. **RAI – Revista de Administração e Inovação**, v. 10, n. 4, p. 38-62, 2013. DOI: 10.5773/rai.v10i4.891. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1809203916302807>. Acesso em: 11 maio 2020.

HRADESKY, J. L. **Aperfeiçoamento da qualidade e da produtividade: guia prático para a implementação do controle estatístico de processos – CEP**. São Paulo: McGraw-Hill, 1999.

JURAN, J. M.; GODFREY, A. B. **Juran's quality handbook**. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 1999.

LIMA, A. A. N. *et al.* Aplicação do controle estatístico de processo na indústria farmacêutica. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, v. 27, n. 3, p. 177-187, 2006. Disponível em: <http://rcfba.fcfar.unesp.br/index.php/ojs/article/download/545/543/>. Acesso em: 11 maio 2020.

LIN, F.-C. *et al.* Recommendation system for localized products in vending machines. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 8, p. 9129-9138, 2011. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.01.051. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417411000716>. Acesso em: 11 maio 2020.

MIGUEL, P. A. C. **Qualidade: enfoques e ferramentas**. São Paulo: Artliber Editora, 2001.

MONTGOMERY, D. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade no processo: a qualidade na produção de bens e serviços**. São Paulo: Atlas, 1995.

SELEME, R.; STADLER, H. **Controle da qualidade: as ferramentas essenciais**. 2. ed. Curitiba: Ibpex, 2010.

SUREK, A. C. *et al.* Vending machines, uma análise do mercado brasileiro. **Revista da Fae**, v. 1, n. 1, p. 27-45, 2016. Disponível em: <https://revistafae.fae.edu/revistafae/article/view/403/287>. Acesso em: 11 maio 2020.