

**UNIVERSIDADE FEDERAL UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**



**CONTROLE DE QUALIDADE NA INDÚSTRIA DE PROCESSOS:
UM ESTUDO DE CASO APLICADO À INDÚSTRIA DO TABACO**

Isabela Cristina Miranda Vilela

UBERLÂNDIA-MG

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**CONTROLE DE QUALIDADE NA INDÚSTRIA DE PROCESSOS:
UM ESTUDO DE CASO APLICADO À INDÚSTRIA DO TABACO**

Isabela Cristina Miranda Vilela

Monografia de graduação apresentada a Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de curso, do curso de Engenharia Química.

Orientadora: Prof. Dra. Sarah Arvelos Altino

UBERLÂNDIA-MG

2021

**CONTROLE DE QUALIDADE NA INDÚSTRIA DE PROCESSOS:
UM ESTUDO DE CASO APLICADO À INDÚSTRIA DO TABACO**

Uberlândia, 25 de Junho de 2021

Monografia aprovada para a disciplina
Trabalho de Conclusão de Curso, do
curso de Engenharia Química, da
Universidade Federal de Uberlândia
(MG) pela banca examinadora formada
por:

Profa. Dra. Sarah Arvelos, FEQUI/UFU

Prof. Dr. Rubens Gedraite, FEQUI/UFU

Profa. Me. Suellen Cristine Meira, EQ/UNIPAM

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha família e a todos que trabalham no setor de controle de Qualidade das indústrias. São pessoas que fazem o que amam para entregar a melhor experiência para o consumidor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Marcelo e Leila, que não mediram esforços para que eu realizasse o tão sonhado curso de Engenharia Química. Obrigada por terem me criado para o mundo, vocês são minha inspiração de vida, de valores, de liderança, de buscar sempre fazer o que é certo. Obrigada por não me fazerem desistir dos meus sonhos.

Aos meus irmãos, Juninho e Henrique, por todo o apoio, companheirismo, momentos compartilhados.

Ao meu namorado Arthur, também colega de graduação, por todo o incentivo, companheirismo, pelas diversas vezes que me ajudou ao longo desses anos.

Às minhas amigas de Pará de Minas, que sempre foram um suporte à distância durante todos esses anos de graduação.

Aos meus colegas da universidade, que conheci desde a sala de aula até as diversas atividades extracurriculares em que tive a oportunidade de participar, obrigada por me inspirarem e pelos momentos incríveis compartilhados.

Aos colegas de trabalho da Souza Cruz, em especial das duas áreas em que pude trabalhar: Departamento de Filtros e Qualidade, obrigada por todos os ensinamentos. O que apresento neste trabalho é fruto de conhecimentos compartilhados e experiências vividas com pessoas destas áreas.

À minha professora orientadora Sarah, obrigada pela paciência, pelos diversos ensinamentos, pelo suporte e empenho dedicados para que este trabalho fosse concluído. Fico feliz e extremamente grata por ter te escolhido como minha orientadora.

“Educação não transforma o mundo.

Educação muda as pessoas.

Pessoas mudam o mundo.”

(Paulo Freire)

RESUMO

De acordo com a norma internacional ISO 9001:2015, que especifica as exigências para um sistema de gestão da qualidade, os produtos industriais e seus processos de fabricação devem ser projetados para atender às expectativas do cliente por meio das especificações e das características críticas do produto. As indústrias sempre almejam um desempenho excepcional, seja ele em termos de confiabilidade, sustentabilidade, flexibilidade e produtividade. Com isso, o levantamento do nível de produtividade é um parâmetro indispensável para a análise e gestão da qualidade de uma organização. A literatura oferece várias abordagens para o uso de ferramentas matemáticas para a análise de processos industriais. Dentre estes, destacam-se os métodos do chamado Controle Estatístico de Processo (CEP). Alguns autores destacam que sem o uso de ferramentas de qualidade adequadas não há sucesso implementação de quaisquer sistemas de garantia de qualidade. Um cientista japonês, Kaoru Ishikawa, determinou sete ferramentas básicas de qualidade que deveriam ser implementadas em todas as empresas: Diagrama de Pareto, Histograma, Diagrama de Causa e Efeito, Folha de Verificação, Cartas e Gráficos de Controle e Fluxogramas. A indústria de cigarros possui um grande foco no controle de qualidade. Por se tratar de um produto controverso, nos últimos 20 anos os produtos derivados de tabaco foram proibidos de serem vinculados em propaganda e a indústria foi altamente taxada com imposto, visando desencorajar a venda do produto. Assim, o conceito de qualidade na fabricação de cigarros ganhou uma nova dimensão devido à sofisticação cada vez maior entre o gosto do fumante, à crescente automação na indústria e à necessidade de se ter lucros em um ambiente desfavorável. Este trabalho aborda o controle estatístico de qualidade em uma das marcas de cigarros produzida em uma indústria localizada no estado de Minas Gerais, que possui problemas relacionados à desvio padrão em um dos parâmetros físicos controlados pelo setor de qualidade da empresa.

Palavras-chave: controle de qualidade, qualidade na indústria, cartas de controle, análise de capacidade, ferramentas de qualidade, Indústria de cigarros

ABSTRACT

According to the international standard ISO 9001:2015, which specifies the requirements for a quality management system, industrial products and their manufacturing processes must be designed to meet customer expectations through the specifications and critical characteristics of the product. Industries always aim for exceptional performance, be it in terms of reliability, sustainability, flexibility and productivity. Thus, the analysis of the level of productivity is an indispensable parameter for the analysis and management of the quality of an organization. Literature offers several approaches to the use of mathematical tools for the analysis of industrial processes. Among these, the so-called Statistical Process Control (SPC) methods stand out. Some authors emphasize that without the use of adequate quality tools, there is no successful implementation of any quality assurance systems. A Japanese scientist, Kaoru Ishikawa, determined seven basic quality tools that should be implemented in all companies: Pareto Diagram, Histogram, Cause and Effect Diagram, Check Sheet, Charts and Control Charts, and Flowcharts. The cigarette industry has a strong focus on quality control. As it is a controversial product, in the last 20 years, tobacco products have been banned from being linked to advertising and the industry has been heavily taxed with the aim of discouraging the sale of the product. Thus, the concept of quality in cigarette manufacturing has gained a new dimension due to the increasing sophistication between the smoker's taste, the growing automation in the industry and the need to make a profit in an unfavorable environment. This work addresses the statistical quality control in one of the cigarette brands produced in an industry located in the state of Minas Gerais, which has problems related to standard deviation in one of the physical parameters controlled by the company's quality sector.

Keywords: quality control, industry quality, control charts, capacity analysis, quality tools, tobacco industry

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Resumo dos oito princípios da TQM.	5
Figura 2. Representação esquemática do DMAIC.	7
Figura 3. Um exemplo do diagrama de pareto para o processamento de carcaças de frango.	9
Figura 4. Histograma da medida da quantidade de um iogurte.	10
Figura 5. Diagrama de Ishikawa.	11
Figura 6. Exemplo de folha de verificação criada em estudo relativo à fabricação de embutidos: (a) Perdas encontradas na máquina ensacadeira e (b) controle de defeitos no processo produtivo.	12
Figura 7. Exemplo esquemático de um gráfico de controle.	13
Figura 8. Cigarro produzido com filtro combinado.	17
Figura 9. Filtro combinado partes e filtro no cigarro.	18
Figura 10. Matérias-primas do filtro.	19
Figura 11. Filtros base: mono e tube.	20
Figura 12. Equipamento de medição de queda de pressão.	20
Figura 13. Histograma dos dados de queda de pressão para o BMideal.	24
Figura 14. Gráfico de Pareto dos dados de queda de pressão para o BMideal.	25
Figura 15. Resultados da análise do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov para o BMideal.	27
Figura 16. Resultados da análise do teste de normalidade de Ryan-Joiner para o BMideal.	27
Figura 17. Cartas de controle de variáveis para BMideal.	29
Figura 18. Histograma e dados de análise de capacidade para o BM _{ideal}	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Legenda para descrição dos experimentos, sua descrição breve e queda de pressão esperada.	21
Tabela 2. Resultados de média e desvio padrão dos itens amostrados.	26
Tabela 3. Resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov e Ryan-Joiner.	28
Tabela 4. Resultados do teste F para as classes de experimentos BM, COMB e CIG.	30
Tabela 5. Índices de capacidade considerando os limites de especificação e valor alvo (“target”).	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS.....	3
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1.	O que é Qualidade.....	4
3.2.	Sistemas de Gestão da Qualidade	4
3.3.	Ferramentas da Qualidade.....	8
3.4.	Um olhar sobre o consumo de cigarros.....	14
4.	METODOLOGIA.....	17
4.1.	Diagrama de Pareto e testes de normalidade	21
4.2.	Cartas de controle de variáveis	21
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1.	Diagrama de Pareto e histograma	24
5.2.	Testes de normalidade	26
5.3.	Cartas de controle de variáveis	28
6.	CONCLUSÃO.....	33
7.	REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios das civilizações houve uma preocupação com a qualidade de serviços e produtos acabado. Historicamente, a mesma era associada à realização de inspeções e testes. No entanto, foi durante a Revolução Industrial que o controle de qualidade ganhou mais importância e, conseqüentemente, seu conceito sofreu mudanças significativas. Mudanças essas, representadas pela aplicação de teorias estatísticas aos planos de inspeção e testes. O surgimento da complexidade tecnológica, do aumento do volume de investimentos e da necessidade de segurança em meados da segunda metade do século XX, fizeram com que houvesse uma ampliação do controle da qualidade (FERNANDES, 2011). Desse modo, a garantia da qualidade dos produtos, serviços e equipamentos tornou-se indispensável.

A demanda crescente por produtos e serviços de alta qualidade por preços competitivos, está implicitamente relacionada ao aumento da competitividade dos mercados globais que se destacam por serem ágeis, flexíveis e inovadores (XU *et al.*, 2020).

Empresas que costumavam competir apenas em nível local, regional ou nacional agora competem com empresas de todo o mundo. É um grande diferencial as empresas de um país serem capazes de competir globalmente (GOETSCH, 2012).

As indústrias sempre almejam um desempenho excepcional, seja ele em termos de confiabilidade, sustentabilidade, flexibilidade e produtividade. O levantamento do nível de produtividade é um parâmetro indispensável para a análise e gestão da qualidade de uma organização. Gestão esta, direcionada para a alta conformidade às especificações, aparência atrativa do produto, respostas rápidas às mudanças especificações, baixos níveis de defeitos, tempo ágil de manufatura e aspectos tecnológicos ligados à produção. A combinação destes fatores possibilita o aumento da produtividade e, conseqüentemente, influencia a sua competitividade perante o mercado (MARINO, 2006).

De acordo com a norma internacional ISO 9001:2015, que especifica as exigências para um sistema de gestão da qualidade, os produtos industriais e seus processos de fabricação devem ser projetados para atender às expectativas do cliente por meio das especificações e das características críticas do produto. Eles são normalmente especificados em termos de um valor nominal (ideal) e um intervalo de tolerância (limite

de especificação superior - limite de especificação inferior). Controlar e gerenciar essas características críticas é uma tarefa fundamental do sistema de controle da qualidade. Além disso, o atendimento no que se diz respeito à especificação de um determinado produto contribui para que o mesmo atenda às expectativas do consumidor (SANCHEZ-MARQUEZ *et al.*, 2020).

A indústria de cigarros é uma indústria muito controversa, pois a mesma contribui com grandes montantes de impostos governamentais e municípios em que o tabaco tem uma presença relevante apresentam indicadores melhores de condição de vida e de bem-estar da população local. Por outro lado, seu produto pode ser nocivo para a saúde se usado indiscriminadamente (SINDITABACO, 2019; YASAMITH; EKANAYAKE, 2011). Nos últimos 20 anos, os produtos fumígenos foram proibidos de serem vinculados em propaganda e a indústria foi altamente taxada com imposto, visando desencorajar a venda do produto (ALBANESI FILHO, 2004). Assim, o conceito de qualidade na fabricação de cigarros ganhou uma nova dimensão devido à sofisticação cada vez maior entre o gosto do fumante, à crescente automação na indústria e à necessidade de se ter lucros em um ambiente desfavorável.

Assim como nos demais setores industriais, as ferramentas de qualidade como, por exemplo Diagrama de Pareto, Histograma, Diagrama de Causa e Efeito, Folha de Verificação, Cartas e Gráficos de Controle e Fluxogramas, auxiliam na redução de itens não conformes. Não conformidades são, segundo a norma ISO 9001:2015, o não atendimento de um requisito pré-estabelecido. Essas ferramentas são refletidas nos índices de performance (KPIs – *Key Performance Indicator*) internos e externos do setor de qualidade de uma empresa. Assim sendo, se o sistema de gestão da qualidade funcionar bem, os KPIs internos (relacionados ao atendimento da especificação do produto) e externos (relacionados às reclamações do consumidor) devem refletir a satisfação do cliente e, portanto, ambos os conjuntos de indicadores devem ser altamente correlacionados (SANCHEZ-MARQUEZ *et al.*, 2020).

2 OBJETIVOS

Em virtude do que foi apresentado, o objetivo geral do presente trabalho de conclusão de curso foi apresentar um estudo de caso relacionado à análise de capacidade de processo para a detecção do número de itens não conforme no processo produtivo de filtros de cigarro.

Além disso, os objetivos específicos foram:

- Mostrar como uma carta de controle de variáveis Schwartz pode ser aplicada ao processo produtivo real de filtros de cigarro em escala industrial;
- Apresentar a importância do teste de normalidade sobre as amostras;
- Avaliar se um processo sob controle estatístico é sempre capaz.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. O que é Qualidade

A palavra “qualidade” é geralmente empregada para designar excelência de um produto ou serviço. Em algumas indústrias, a qualidade pode ser usada para indicar que um produto está em conformidade com certas características físicas estabelecidas com uma especificação particularmente "restrita". Mas, se quisermos gerenciar a qualidade, ela deve ser definida de uma forma que reconheça os verdadeiros requisitos do consumidor (OAKLAND, 2019).

Para descrever sobre a qualidade de qualquer coisa, precisamos de uma medida de suas características e de uma base de comparação. Combinando a definição dos termos qualidade e requisitos na ISO 9000: 2000, qualidade pode ser expressa como o grau em que um conjunto de características inerentes atende a uma necessidade ou expectativa declarada, geralmente implícita ou obrigatória (HOYLE, 2001). Além disso, a qualidade é, de certo modo, designada como perfeição. Enxergar a qualidade como algo móvel, como uma perfeição que nunca é alcançada, resulta em um processo chamado de melhoria contínua. A melhoria contínua é uma filosofia operacional impulsionada pela alta administração que diz: "Melhoraremos continuamente todos os nossos serviços, todos os processos de nossa organização. Em suma, melhoraremos continuamente tudo o que fazemos." (AMSDEN; BUTLER; AMSDEN, 1991).

Todos os dias, pessoas em organizações em todo o mundo examinam juntas os resultados de performance da produção ou operações do dia anterior e começam a análise para saber se a produção é adequada para o cliente. Frequentemente, eles argumentam e debatem as evidências diante deles, os erros e acertos da especificação (OAKLAND, 2019). Desde o início do século XX, diversos sistemas de gestão da qualidade foram propostos visando aprimorar a forma como as empresas analisando e tomam decisões a partir de seus erros e acertos, como por exemplo, o Controle de Qualidade Total, o *Lean Manufacturing* (Produção Enxuta), *Six Sigma* dentre outros.

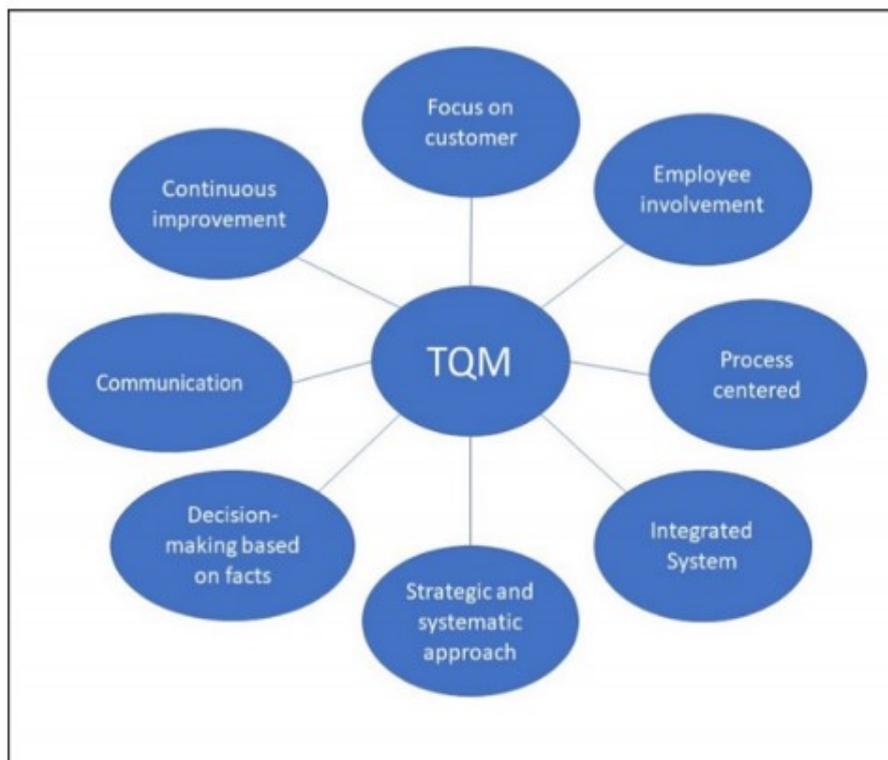
3.2. Sistemas de Gestão da Qualidade

Durante os últimos 70 anos, qualidade e sua gestão evoluiu para o que é agora conhecido como Controle de Qualidade Total (TQM – *Total Quality Management*). Não

há definição padrão para o termo. Mas as definições disponíveis tendem a convergir para o fato de que o TQM é um programa de qualidade feito em toda uma organização para melhorar continuamente produtos e serviços entregues aos clientes através do desenvolvimento de suporte, cultura organizacional e implementação de ferramentas estatísticas e de gestão. O TQM tem “total” no nome pois o objetivo é envolver todos os parceiros de negócio. Além disso, tem grande parte de suas origens baseadas no sistema Toyota de Produção e nas ideias de W. E. Deming o qual foi um estatístico amplamente reconhecido pela melhoria dos processos produtivos dos EUA durante a segunda Guerra Mundial (MASON; ANTONY, 2000).

Assim, entende-se a TQM como uma filosofia de manufatura que visa melhoria contínua e sustenta produtos e processos de qualidade, capitalizando o envolvimento da gestão, força de trabalho, fornecedores e clientes, a fim de atender ou superar expectativas do consumidor (SAHOO; YADAV, 2018). A TQM é o resultado da evolução da qualidade, sendo a última de suas quatro fases evolutivas: inspeção, controle de qualidade, garantia de qualidade e, então, a TQM. Na Figura 1 são apresentadas as principais características da TQM (OTHMAN; NORFARAHANIM MOHD GHANI; WOON CHOON, 2020).

Figura 1. Resumo dos oito princípios da TQM.



Fonte: OTHMAN, NORFARAHHANIM MOHD GHANI, *et al.* (2020).

A literatura oferece várias abordagens para o uso de ferramentas matemáticas para a análise de processos industriais. Dentre estes, destacam-se os métodos do chamado Controle Estatístico de Processo (CEP). O CEP e suas ferramentas são importantes porque embora o objetivo final de uma indústria seja garantir a qualidade dos aspectos do produto acabado com base na percepção do consumidor, não é possível atingir esse objetivo sem controlar as principais características que os geram (SANCHEZ-MARQUEZ *et al.*, 2020). Os métodos do CEP, apoiados no compromisso da gestão e na boa organização, proporcionam meios objetivos de controle da qualidade em qualquer processo de transformação. O CEP não é apenas um *kit* de ferramentas. É uma estratégia para reduzir a variabilidade, a causa da maioria dos problemas de qualidade. O controle por si só não é suficiente, o CEP exige que o processo seja aprimorado continuamente, reduzindo sua variabilidade (OAKLAND, 2019).

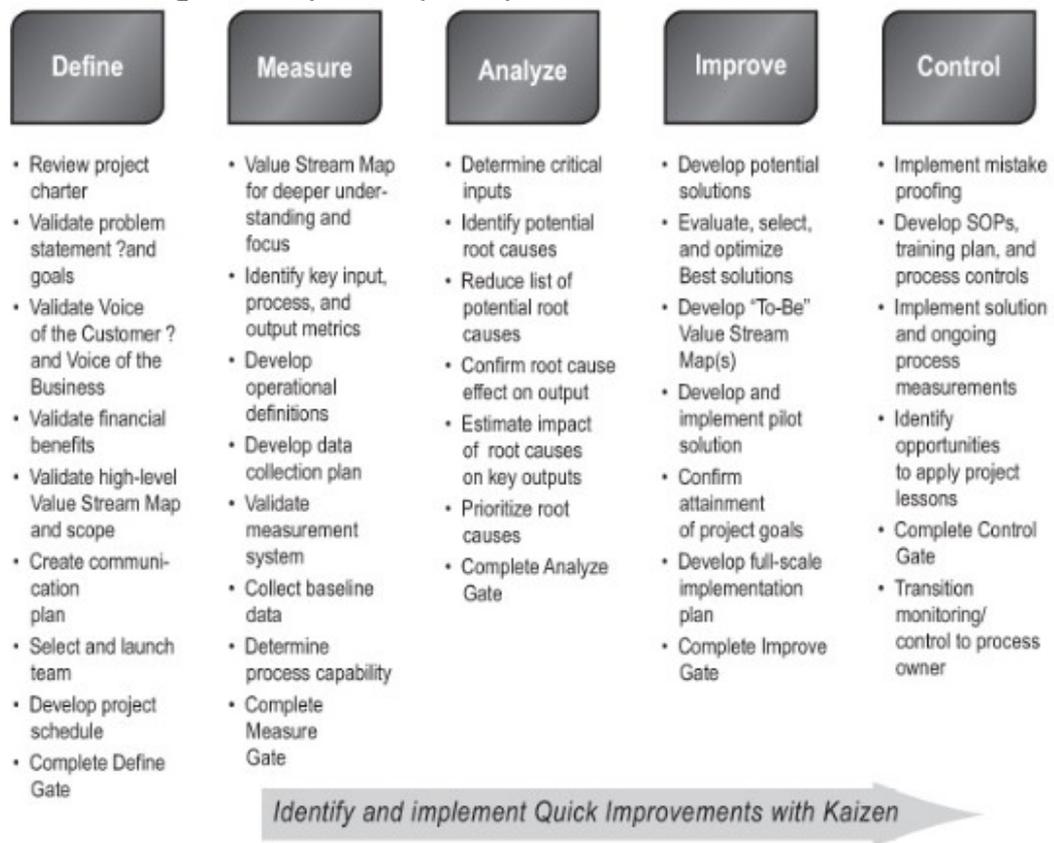
Iniciado da década de 1980, portanto mais recente que o TQM (~1950), o *Seis Sigma* (SS) também se alinha à filosofia TQM da melhoria contínua, firmado por sua vez na diretriz de que reduzir sensivelmente a variabilidade dos processos implica em melhorar a qualidade dos produtos e serviços. Resumidamente, podemos dizer que a origem do SS se deu pela empresa americana de eletrônicos chamada Motorola, onde objetivos de incrementos na qualidade de todos os produtos e serviços da empresa foram estabelecidos para serem cumpridos num prazo de cinco anos. O programa foi lançado em 1987. A razão do nome é que “Seis Sigma” indica a medida estatística relacionada à capacidade de um processo de não produzir unidades defeituosas (REBELATO; RODRIGUES, 2010).

A metodologia SS pode ser vista de uma perspectiva estatística e econômica. Dentro do significado do SS, o termo sigma retrata a variabilidade intrínseca dos processos de produção, produtos e serviços em relação a um valor nominal, cujo valor é inversamente proporcional à sua qualidade. Desse modo, a metodologia foca na redução da variabilidade dos processos para que os produtos (saídas) sejam tão próximos quanto possível ao seu valor alvo e processos eficientes são obtidos sem desperdício, gerando valor agregado para os consumidores. Preliminarmente, a metodologia SS foi aplicada apenas no setor produtivo, mas uma vez que o benefício de sua aplicação em termos de melhoria de desempenho e redução de custos foi encontrada, rapidamente se expandiu

para diferentes áreas funcionais, como administrativa, *marketing*, engenharia e compras (COSTA; LOPES; BRITO, 2019).

O DMAIC é o processo de melhoria prescrito para metodologia SS que se concentra na compreensão as raízes de um problema antes de aplicar as soluções. O método DMAIC progride de maneira ordenada por meio de cinco etapas: Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar, conforme é mostrado na Figura 2. A aplicação de cada uma dessas etapas enfoca a melhoria do processo por meio de análise estruturada e uso prudente de dados sem aplicar prematuramente soluções para problemas complexos (LEAPHART *et al.*, 2012).

Figura 2. Representação esquemática do DMAIC.



Fonte: Adaptado de George *et al.* (2004).

3.3.Ferramentas da Qualidade

Alguns autores destacam que sem o uso de ferramentas de qualidade adequadas não há sucesso implementação de quaisquer sistemas de garantia de qualidade. Um cientista japonês, Kaoru Ishikawa, determinou sete ferramentas básicas de qualidade que deveriam ser implementadas em todas as empresas: Diagrama de Pareto, Histograma, Diagrama de Causa e Efeito, Folha de Verificação, Cartas e Gráficos de Controle e Fluxogramas, as quais são apresentadas no Quadro 1 (DJEKIC; TOMASEVIC, 2018).

Quadro 1. Resumo breve das sete ferramentas e as respostas que elas retornam quando utilizadas da forma apropriada.

Flowcharts		How is a product produced?
Check sheets		How often do some events/defects occur?
Histograms		What is the distribution of data?
Pareto diagrams		What are the main problems?
Cause and effect diagrams		What causes main problems?
Scatter diagrams		What correlation exists between data?
Control charts		What are the limits in which data occur?

Fonte: Adaptado de Djekic (2018)

O Diagrama de Pareto é usado para priorizar problemas de forma que os principais problemas possam ser identificados. Os diagramas são empregues, dentre outros fatores, para analisar um problema de uma nova perspectiva, concentrar a atenção nos problemas em ordem de prioridade, comparar as alterações de dados durante diferentes períodos (JONES, 2014). É baseado no princípio de Pareto, que afirma que 80% de todos os efeitos podem ser atribuídos a 20% das causas. Essas causas são referidas como as poucas significativas entre as muitas insignificantes. Assim, as melhorias podem ser feitas e monitoradas abordando as 20% das causas que criam 80% dos problemas (LARSON,

2003). Este tipo de gráfico resume e exibe a importância relativa entre grupos de dados. As barras são plotadas em ordem de frequência do mais frequente para o menos frequente com uma linha cumulativa mostrando as porcentagens.

Na Figura 3 é apresentada uma representação esquemática do diagrama o qual foi aplicado a um frigorífico de processamento de aves. A análise do diagrama nos permite inferir que a maioria dos problemas foi causada por um baixo número de defeitos (80% da incidência total de defeitos é causada por 42% das categorias de defeitos) (CRAVENER; ROUSH; JORDAN, 1993).

Figura 3. Um exemplo do diagrama de pareto para o processamento de carcaças de frango.

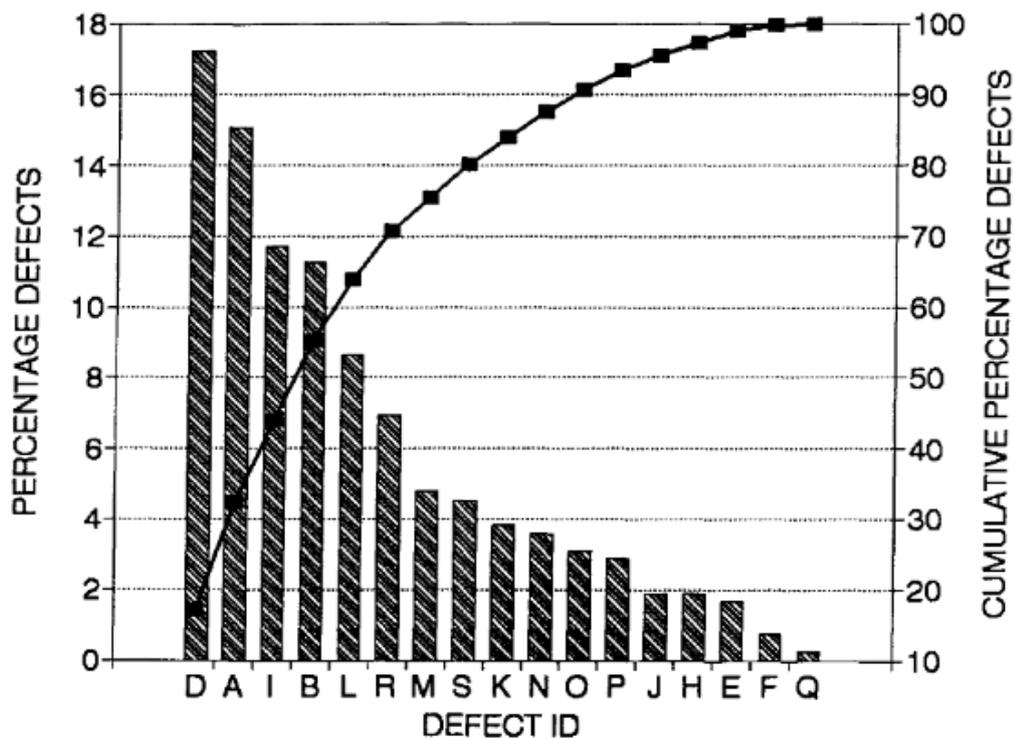
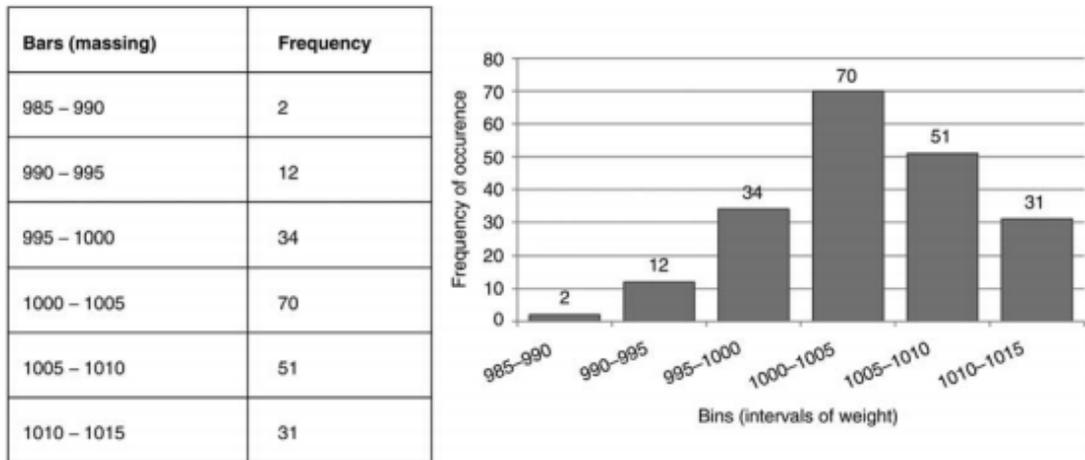


FIGURE 1. An example of a Pareto diagram of broiler carcass defects. See Table 2 for defect ID.

O histograma é uma ferramenta muito eficaz para compreender a distribuição da variabilidade de uma população a partir dos dados da amostra (JONES, 2014). Os histogramas exibem barras que representam a contagem em diferentes intervalos de dados em vez de traçar pontos de dados individuais. Os grupos representam segmentos não sobrepostos no intervalo de dados George *et al.* (2004). Na Figura 4 é exibida uma

representação esquemática do histograma para a medida de peso de 200 unidades de iogurte medidas em uma empresa sérvia.

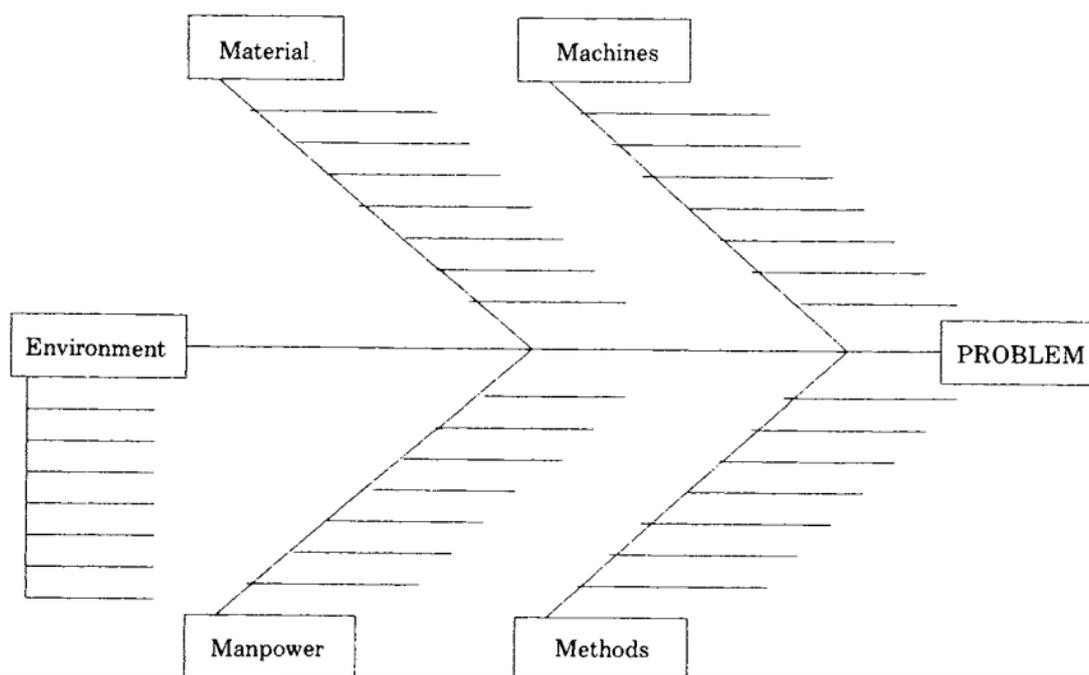
Figura 4. Histograma da medida da quantidade de um iogurte.



Fonte: Adaptado de Djekic (2018).

O Diagrama de Causa e Efeito é uma técnica simples para destrinchar um problema ou um processo e é exposto na Figura 5. É também conhecido como Espinha de peixe ou diagrama de Ishikawa, desenvolvido por Kaoru Ishikawa em 1942 enquanto estava na Universidade de Tóquio (GOULD, 1992). Existem várias razões para se usar o diagrama de causa e efeito. Ele organiza as ideias de uma discussão acerca de um tema e ajuda a classificá-las em categorias básicas, além de mostrar relações entre ideias (AMSDEN; BUTLER; AMSDEN, 1991).

Figura 5. Diagrama de Ishikawa.



Fonte: Adaptado de Gould (1992).

Os principais fatores ou causas são listados primeiro e, em seguida, reduzidos às suas sub causas, se necessário. Este processo continua até que todas as causas concebíveis foram incluídas. Os fatores são então analisados criticamente em razão de sua provável contribuição para o efeito. Os fatores selecionados como causas mais prováveis do efeito são em seguida, submetidos a experimentação para determinar a validade de sua seleção. Este processo analítico é repetido até que as verdadeiras causas sejam identificadas (OAKLAND, 2019).

As folhas de verificação consistem em planilhas que registram eventos que ocorrem de acordo com um determinado período. Elas são comumente usadas para analisar dados que não estão disponíveis, que poderiam ser empregues para obter uma decisão-chave (JONES, 2014). Ter formulários padrão torna mais fácil coletar dados confiáveis e úteis, pois permite a captura e compilação mais rápida de dados, garante dados consistentes de pessoas diferentes (GEORGE *et al.*, 2004). Nas Figuras 6(a) e (b) são mostradas duas folhas de verificação mostradas por Maiczuk e Júnior (2013), as quais apresentam local e data de coleta de dados, informações imprescindíveis para a elaboração das mesmas. Estes autores estudaram o processo produtivo de uma empresa produtora de embutidos, processo fabril composto por quatro etapas principais: moagem, mistura, ensacamento e defumação.

Figura 6. Exemplo de folha de verificação criada em estudo relativo à fabricação de embutidos: (a) Perdas encontradas na máquina ensacadeira e (b) controle de defeitos no processo produtivo.

MARÇO/ABRIL	HORARIO MANHÃ		HORARIO TARDE		QUANTIDADE DE PRODUTOS		
DATA	INICIO	FIM	INICIO	FIM	PRODUÇÃO TOTAL	PERDAS	PRODUTO
14/mar	08:32	11:29	13:45	17:42	603	7	EMBUTIDO MISTO
16/mar	08:35	11:30	13:32	17:25	684	11	EMBUTIDO MISTO
18/mar	08:33	11:28	13:37	17:12	663	12	EMBUTIDO MISTO
21/mar	08:40	11:15	13:41	17:33	653	8	EMBUTIDO MISTO
23/mar	08:43	11:10	13:39	17:28	592	3	EMBUTIDO MISTO
25/mar	08:33	11:09	13:33	17:39	608	7	EMBUTIDO MISTO
28/mar	08:37	11:17	13:35	17:40	713	10	EMBUTIDO MISTO
30/mar	08:31	11:18	13:35	17:29	688	9	EMBUTIDO MISTO
01/abr	08:30	11:13	13:40	17:42	616	5	EMBUTIDO MISTO
04/abr	08:35	11:28	13:33	17:18	661	7	EMBUTIDO MISTO
06/abr	08:36	11:30	13:49	17:55	673	8	EMBUTIDO MISTO
08/abr	08:31	11:25	13:52	17:51	645	11	EMBUTIDO MISTO
11/abr	08:35	11:27	13:32	17:54	672	5	EMBUTIDO MISTO

(a)

Fonte: Maiczuk e Júnior (2013)

TIPO DE DEFEITO	CONTAGEM													TOTAL DO MÊS
PRODUTO COM AR	0	2	2	1	0	1	0	2	1	1	0	4	0	14
PRODUTO COM MA DEFUMAÇÃO	0	0	4	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	10
PRODUTO DEFEITUOSO	2	3	1	2	1	2	3	4	2	1	1	0	1	23
PRODUTO PERDIDO POR ROMPIMENTO	4	5	2	2	2	2	4	3	2	2	4	2	4	38
MASSA POUCO HOMOGENEIZADA	0	0	2	0	0	1	3	0	0	3	0	3	0	12
OUTROS	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	6
TOTAL DE PERDAS NO DIA	7	11	12	8	3	7	10	9	5	7	8	11	5	103
MÊS: MARÇO - ABRIL/2011	14/mar	16/mar	18/mar	21/mar	23/mar	25/mar	28/mar	30/mar	01/abr	03/abr	06/abr	08/abr	11/abr	

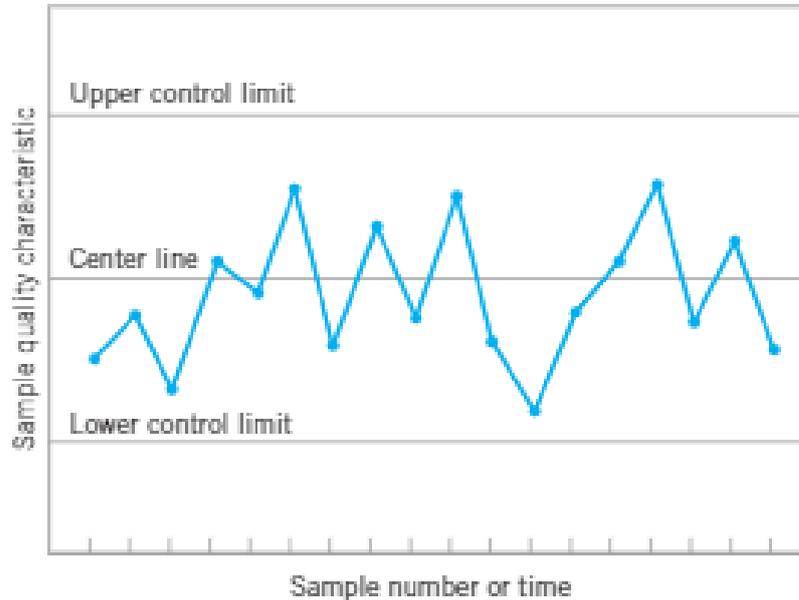
(b)

Fonte: Maiczuk e Júnior (2013)

O gráfico de controle é uma exibição gráfica de uma característica de qualidade que foi medida ou calculada a partir de uma amostra em relação ao número ou tempo de amostra. O gráfico contém uma linha central que representa o valor médio da característica de qualidade correspondente ao estado de controle. Duas outras linhas horizontais, chamadas de limite de controle superior (LCS) e limite de controle inferior (LCI), são escolhidos de forma que, se o processo estiver sob controle, quase todos os pontos de amostra ficarão entre eles. Desde que os pontos sejam plotados dentro dos limites de controle, o processo é considerado estável e nenhuma ação é necessária. No entanto, um ponto fora dos limites de controle é interpretado como evidência de que o processo está fora de controle (MONTGOMERY, 2004). Dessa forma, torna-se

necessário tomar ações corretivas para que a variável analisada seja mantida dentro dos limites estabelecidos. Na Figura 7 é exemplificado um gráfico de controle típico.

Figura 7. Exemplo esquemático de um gráfico de controle.



Fonte: Adaptado de Montgomery (2012).

Em um sistema de melhoria de qualidade, os gráficos de controle são amplamente empregues para fornecer avaliação do desempenho de um processo. Morita *et al.* (2009) propuseram um gráfico de controle por meio de um índice de monitoramento da capacidade do processo (C_{pm}) de produção pelo esquema de amostragem única. O C_{pm} é abundantemente utilizado para fornecer a avaliação medida de um processo. Tal índice também é conhecido como índice de Taguchi, proposto por Taguchi (1985), com o objetivo de avaliar quantitativamente a perda causados pela qualidade do produto. Ele sugere que qualquer desvio do valor alvo da característica resulta em uma perda. Se uma medição característica for igual ao valor alvo, a perda é zero (TOMOHIRO; ARIZONO; TAKEMOTO, 2020; YU; CHEN, 2009).

O fluxograma nada mais é que uma ferramenta visual de listar cada etapa separada de um processo em ordem sequencial para ajudar a esclarecer as etapas em um complexo processo. Eles podem permitir, por exemplo, que os membros de uma equipe obtenham uma compreensão compartilhada do processo de coleta dados, identificando problemas e focalizando discussões de melhoria. Também podem ser usados para identificar as etapas que agregam, ou não, valor ao cliente (LAU, 2015). Existem várias maneiras de

representar os estilos de fluxograma. Alguns dos estilos são conceituais, pessoa a pessoa e ação a ação (JONES, 2014).

3.4. Um olhar sobre o consumo de cigarros

Segundo o dicionário Michaelis (DICIONÁRIO BRASILEIRO DA LÍNGUA PORTUGUESA, 2021), cigarro é definido como uma porção pequena de tabaco picado utilizada para fumar, seja em papel fino ou palha de milho. O processo produtivo do cigarro é pautado em uma longa história e, para isso, pode-se destacar alguns marcos importantes.

De acordo com Hacker (2015), no descobrimento das Américas em Outubro de 1492, exatamente após 17 dias da chegada dos europeus em terras americanas, mais precisamente em Cuba, marinheiros de Colombo descobriram homens e mulheres que fumavam. É muito provável que essa tenha sido a primeira versão do charuto do Novo Mundo.

Quaisquer que fossem as razões, os espanhóis decidiram manter a descoberta do tabaco para si mesmos, e os cigarros raramente foram vistos além de suas fronteiras nos trezentos anos seguintes. No século XVIII, a fabricação de charutos havia se tornado um grande negócio na Espanha e, em 1731, os "Fabricantes Reais de Sevilha" foram estabelecidos para organizar esta crescente indústria (HACKER, 2015)

Antes de 1910, fumantes costumavam ser associados à alguns grupos sociais, como boêmios, poetas, mulheres devassas e imigrantes do sul da Europa. Mas esse cenário mudou durante a Grande Guerra, em que cigarros começaram a fazer parte do kit de guerra de soldados, ampliando o consumo de cigarros por outros grupos sociais. Pelo final da década de 1920, os cigarros haviam perdido sua imagem negativa, pelo menos quando fumado por homens. Cada vez mais, os cigarros carregavam associações favoráveis de sociabilidade masculina, modernidade acelerada e respeitabilidade da classe média (ROBINSON, 2021)

Enquanto a Grande Guerra primeiro "legitimou o cigarro", foi durante a década de 1930 que elevou e solidificou a indústria doméstica do tabaco ao estabelecer o tabagismo como uma norma cultural. As vendas de cigarros aumentaram todos os anos de 1932 até o final dos anos 1940, com vendas entre 1932 e 1938 saltando espantosos 78 por cento. Outro desenvolvimento importante durante a década de 30 diz respeito à chegada de mentol e marcas de cigarros com filtro. Anúncios para estes apelaram para questões de

saúde de fumantes regulares: mentol e cigarros de filtro prometidos para prevenir ou aliviar a tosse, irritação da garganta e "mordida na língua" (ROBINSON, 2021).

De acordo com Molaeipour *et al.* (2015), a fumaça do cigarro é um aerossol composto por mais de 3800 substâncias individuais, agentes voláteis na fase de vapor e semivoláteis e não voláteis na fase particulada. Nas últimas seis décadas, o uso do filtro tem sido a abordagem mais comum para reduzir os compostos prejudiciais. Muitos aditivos e absorventes foram introduzidos na ponta do filtro para aumentar a eficiência de remoção de compostos prejudiciais da fumaça do cigarro. Alguns fabricantes têm feito pontas de filtro contendo carvão ativado; no entanto, a estopa de filtro de acetato de celulose (CA) tem sido a ponta de filtro altamente prevalente, capaz de reduzir os rendimentos de nicotina e alcatrão em 40–50%.

Desde que foram introduzidos no mercado em 1952, os filtros de cigarros feitos de acetato de celulose compostos por infinitos filamentos são largamente empregues na indústria de cigarros. Uma das principais razões, deve-se ao crescimento do consumo de cigarros com filtros, à substituição de filtros feitos de papel, algodão e polipropileno e ao crescimento do consumo de cigarros em todo o mundo, associado ao crescimento populacional (RUSTEMEYER, 2004). A queda de pressão e a eficiência da filtração são dois fatores principais que afetam o sabor e a atitude do consumidor em relação à qualidade do cigarro (YANG, 2019). Logo, é de suma importância existir na indústria um excelente controle de qualidade da queda de pressão do filtro e, conseqüentemente, do cigarro.

As restrições relacionadas ao consumo de cigarro estão longe de serem recentes: elas existem há mais de 400 anos. Um fato curioso relacionado à desaprovação de parte das pessoas ao cigarro surgiu ao mesmo tempo em que fumar se tornou um hábito, embora nessa época ainda existia total falta de conhecimento por parte da sociedade sobre os riscos associados à saúde. Foi entre os séculos XVIII e XIX que os governos descobriram que a coleta de impostos taxados em produtos de tabaco poderia gerar muito dinheiro (HARRALD; WATKINS, 2009). Pode parecer que a publicidade negativa sobre o fumo e o declínio do hábito de fumar nos Estados Unidos teriam enfraquecido a indústria do tabaco. Na verdade, a indústria do tabaco está prosperando. Em todo o mundo, ela obtém US \$ 300 bilhões em vendas anuais. Quatro empresas internacionais dominam as vendas de tabaco: os grupos British American Tobacco, Japan Tobacco e Imperial Tobacco.(PAMPEL, 2009). Para se ter uma ideia, durante 2017, de acordo com o governo

Norte Americano, cerca de 249 bilhões de cigarros foram vendidos nos Estados Unidos. Em média, os impostos de consumo federais e estaduais respondem por 44,3% do preço de varejo dos cigarros.

Já no Brasil, de acordo com dados retirados do site do governo federal (INCA, 2021), os aumentos sucessivos dos impostos sobre cigarros a partir de 2007, associados à reforma no sistema de cobrança do IPI de cigarros e à política de preços mínimos para esses produtos estabelecidas em dezembro de 2011, geraram uma redução na proporção de fumantes de 18,2% em 2008 (Pesquisa Especial sobre Tabagismo – PETab), para 14,7% em 2013 (Pesquisa Nacional de Saúde – PNS). Um grande problema hoje no Brasil relacionado ao consumo de cigarros é o mercado ilegal, que não paga os devidos impostos ao governo. A participação dos cigarros ilegais no consumo total de cigarros vem, desde 2013, oscilando: 32,3% (2013), 37,2% (2015), 45,1 % (2016) e, mais recentemente, 43,6% (2017), 37,7% (2018) e 34,4% (2019), com tendência de queda a partir de 2017. Em contrapartida, as estimativas superdimensionadas apresentadas pela indústria do tabaco para o percentual de cigarros ilícitos consumidos no Brasil apontam para um aumento do consumo (48% em 2017 vs 54% em 2018 vs 57% em 2019).

4. METODOLOGIA

O estudo de caso foi realizado em uma fábrica de cigarros localizada no estado de Minas Gerais, no ano de 2021. O objetivo foi determinar se era possível produzir uma categoria de cigarros que já estava à venda no mercado, utilizando filtro de mono acetato de celulose com adição de triacetina combinado com filtro no formato de tubos de circunferência de 24.3 mm conforme Figura 8, mas com a queda de pressão de cigarro fixada no valor desejado de 100 mmWg e com desvio padrão dentro dos limites de especificação de 90 mmWg e 110 mmWg.

Figura 8. Cigarro produzido com filtro combinado.



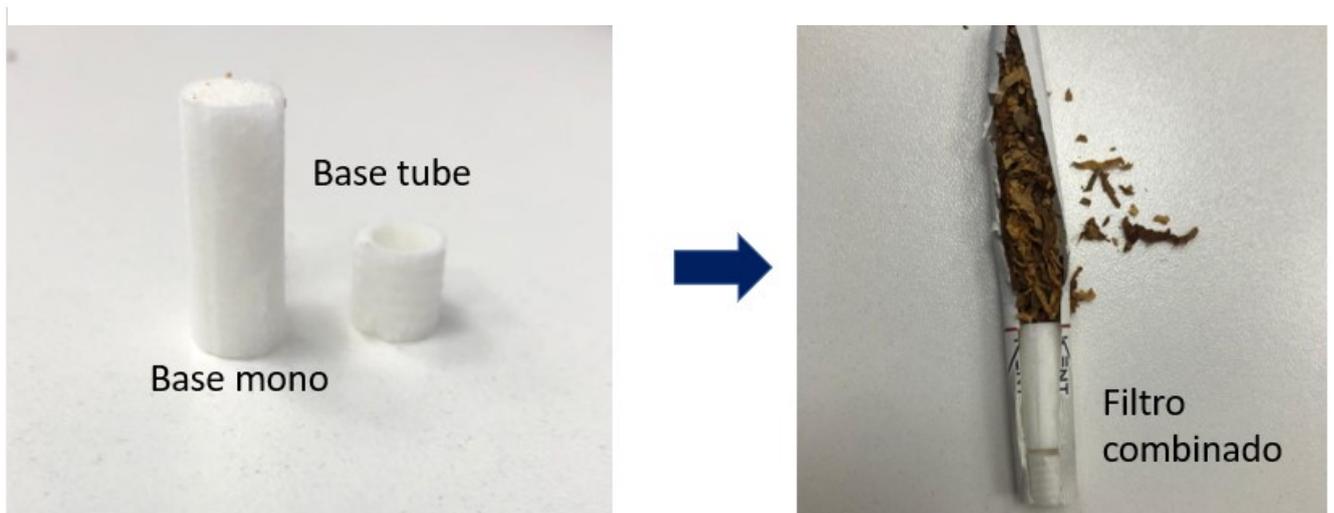
Fonte: Arquivo pessoal (2021).

Estes valores foram especificados com base no projeto do cigarro em questão, que passou por diversos testes e aprovação de qualidade por meio dos setores de Desenvolvimento de Produto e Inovações para ser comercializado. Já os limites de especificação foram estabelecidos de acordo com o manual de qualidade global da fábrica que, para queda de pressão de cigarro, eles devem estar em, mais ou menos, 10% o valor alvo da especificação (neste caso, os 100 mmWg).

O parâmetro queda de pressão de cigarro, por se tratar de uma resultante, depende de vários outros parâmetros físicos, como peso total do cigarro, circunferência, ventilação

do cigarro e queda de pressão de filtros. Neste cigarro tratado aqui como objeto de estudo, existia uma dificuldade de entregar o desvio de queda de pressão do cigarro dentro dos limites de especificação estabelecida. Previamente, foi identificado que a causa raiz para este problema advinha ao alto desvio de queda de pressão do filtro base mono que, posteriormente, era combinado com o filtro base tube e formava o filtro utilizado no cigarro conforme é mostrado na Figura 9.

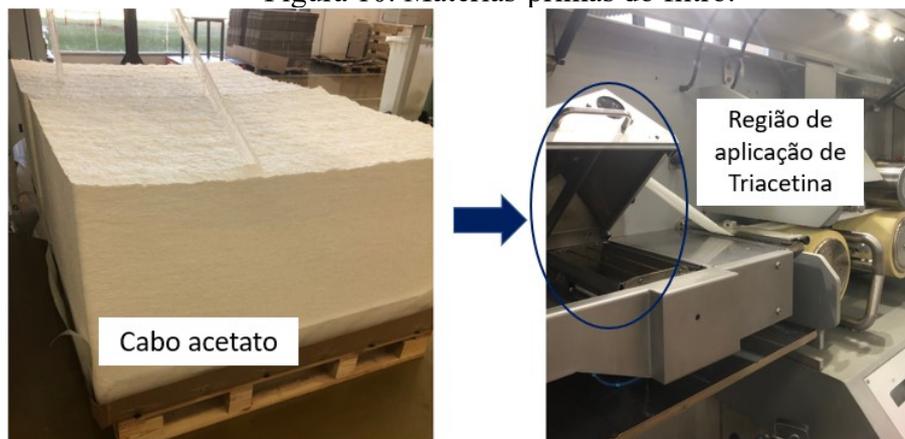
Figura 9. Filtro combinado partes e filtro no cigarro.



Fonte: Arquivo pessoal (2021).

Para isto, diferentes testes foram realizados em uma máquina de fabricação específica para produção de filtros base mono localizada no setor de fabricação de filtros, com o intuito de se obter filtros com baixo desvio de queda de pressão. Os filtros produzidos são compostos basicamente de duas matérias primas: acetato de celulose mais uma aplicação de triacetina conforme é exibida na Figura 10. A especificação do filtro em questão indica que seu valor alvo de queda de pressão é de 504 mmWg, bem como comprimento de 120 mm, peso total da barra de filtro de 712 mg e circunferência de 23.6 mm.

Figura 10. Matérias-primas do filtro.



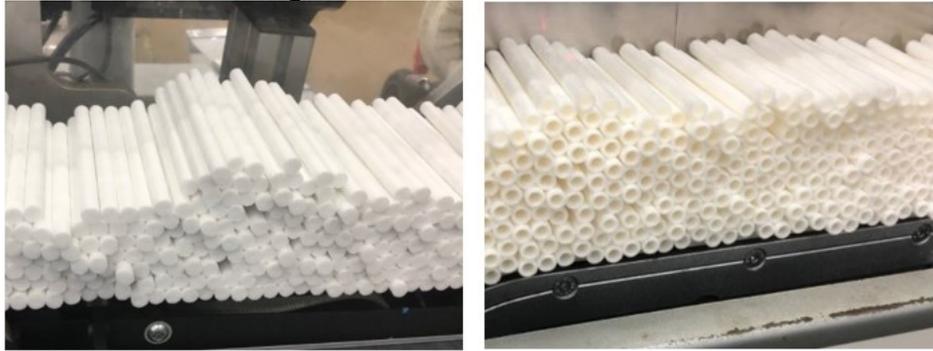
Fonte: Arquivo pessoal (2021).

O filtro produzido em regime de teste e, posteriormente, combinado com o filtro base tube, bem como o cigarro produzido a partir da combinação deste filtro, será denotado com a descrição “Ideal”. Já os filtros e cigarros produzidos no processo usual de fabricação, será indicado como “Real”. Na Figura 11 são ilustrados os filtros base, depois combinados e, finalmente, cortados no cigarro já pronto para consumo. Foram realizadas medições de queda de pressão em um equipamento específico ilustrado na Figura 12.

Nesse equipamento, os grupos de 10 amostras cada de filtros ou cigarros são inseridas em compartimento específico e aperta-se um botão para iniciar a leitura dos parâmetros físicos, sendo um deles a queda de pressão. Os resultados são enviados para um sistema que os insere em uma base de dados específica para posterior análise de qualidade.

As medições realizadas são declaradas no presente trabalho como “base mono - ideal: BM_{Ideal} ”, “combinado - ideal: $COMB_{Ideal}$ ”, “base mono – real: BM_{Real} ”, “combinado – real: $COMB_{Real}$ ”, “cigarro - ideal: CIG_{Ideal} ” e “cigarro – real: CIG_{Real} ”. As descrições dos mesmos podem ser acessadas na Tabela 1, bem como o valor alvo de cada filtro e cigarro. É importante destacar que não foram realizadas medições no filtro base tube, pois o mesmo, por possuir um orifício, possui queda de pressão especificada de 0 mmWg.

Figura 11. Filtros base: mono e tube.



Filtros base mono

Filtros base tube

Fonte: Arquivo pessoal (2021).

Figura 12. Equipamento de medição de queda de pressão.



Fonte: Arquivo pessoal (2021).

Tabela 1. Legenda para descrição dos experimentos, sua descrição breve e queda de pressão esperada.

Legenda	Número de amostras	Número de itens por amostra	Queda de pressão alvo [mmWG]
BM _{Ideal}	17	10	504
COMB _{Ideal}	20	10	340
CIG _{Ideal}	25	10	100
BM _{Real}	35	10	504
COMB _{Real}	29	10	340
CIG _{Real}	23	10	100

Para avaliação do problema, foram utilizadas algumas ferramentas da qualidade e do CEP descritas nos itens 4.1 a 4.3.

4.1. Diagrama de Pareto e testes de normalidade

Os testes de normalidade, os diagramas de Pareto foram obtidos construídos com o auxílio do software Minitab. Os testes de normalidade avaliados foram o de Kolmogorov-Smirnov e Ryan-Joiner considerando o nível de significância de 5%.

4.2. Cartas de controle de variáveis

As cartas de controle foram construídas utilizando o Excel com base na média μ e desvio-padrão σ das amostras (X_n) de tamanho n , sendo a média dessa amostra denotada por:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (1)$$

Para a construção dos limites de controle superior e inferior, identificados por LSC e LIC, respectivamente e considerando que já possuímos valores de referência para média μ e desvio σ , os parâmetros do gráfico \bar{X} são destacados pelas seguintes equações:

$$LSC = \mu + 3\sigma \quad (2)$$

$$\text{Linha central} = \mu \quad (3)$$

$$LIC = \mu - 3\sigma \quad (4)$$

Para um processo ser considerado fora de controle, de acordo com o *Statistical Quality Control Handbook* (COMPANY, 1956) da Western Electric, existe um conjunto de regras que determina essa consideração. Dentre elas, pode-se citar:

1. Se um ponto se localiza fora dos limites de controle três sigmas;
2. Se dois, em três pontos consecutivos, se localizam além dos limites de alerta de dois sigmas;
3. Se quatro, em cinco pontos consecutivos, se localizam a uma distância de um sigma ou mais em relação à linha central;
4. Se oito pontos consecutivos se localizam de um mesmo lado da linha central.

Além destas, existem outras regras, citadas por Montgomery (2004), que estabelecem como um processo fora de controle:

5. Seis pontos em uma sequência sempre crescente ou decrescente;
6. Quinze pontos em sequência na zona C (tanto acima quanto abaixo da linha central);
7. Quatorze pontos em sequência alternadamente para cima e para baixo;
8. Oito pontos em sequência de ambos os lados da linha central com nenhum na zona C;
9. Um padrão não usual ou não aleatório nos dados;
10. Um ou mais pontos perto de um limite de alerta ou de controle.

4.3. Análise de capacidade

Segundo Montgomery (2004) e Levinson (2010), o índice P_p é definido como sendo a razão entre a tolerância de engenharia e a dispersão total do processo. Numericamente:

$$P_p = \frac{TOL}{6\sigma} = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (5)$$

LSE e LIE são os limites superior e inferior de especificação de engenharia, respectivamente.

O índice P_p compara a variação (dispersão) total permitida pela especificação com a variação consumida pelo processo. Evidentemente, se $P_p > 1$ o processo é capaz de atender a especificação. Alguns autores preferem utilizar 8 no denominador ao invés de 6, para aumentar a margem de segurança. Neste trabalho, foi adotado 6 no denominador.

Para análise de capacidade, tem-se também a avaliação de P_{pk} . Este índice é definido como sendo o menor valor entre P_{pi} e P_{ps} , ou seja,

$$P_{pk} = \min [P_{pi}, P_{ps}] \quad (6)$$

Sendo

$$P_{pi} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad (7)$$

$$P_{ps} = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad (8)$$

Enquanto o índice P_p somente compara a variação total permitida pela especificação com a variação utilizada pelo processo, sem fazer nenhuma consideração quanto à média, o índice P_{pk} avalia a distância média do processo aos limites de especificação, tomando aquela que é menor e, portanto, mais crítica. Se $P_{pk} > 1$, o processo é capaz. Alguns autores preferem utilizar 4 no denominador de P_{pi} e P_{ps} , em vez de 3. Neste trabalho, foi adotado 3 no denominador. Foram comparados os resultados de P_p e P_{pi} . Se eles forem aproximadamente iguais, o processo está centralizado entre os limites de especificação.

Um outro índice também de grande valia para os engenheiros é o C_{pk} . A equação de cálculo é similar à Eq. (6), contudo σ não é o global de todos os dados das amostras e sim o valor de desvio padrão de um subgrupo. De forma similar, tem-se, também, C_{pi} e C_{ps} . Tais índices são, às vezes, referidos como “capacidade potencial” porque

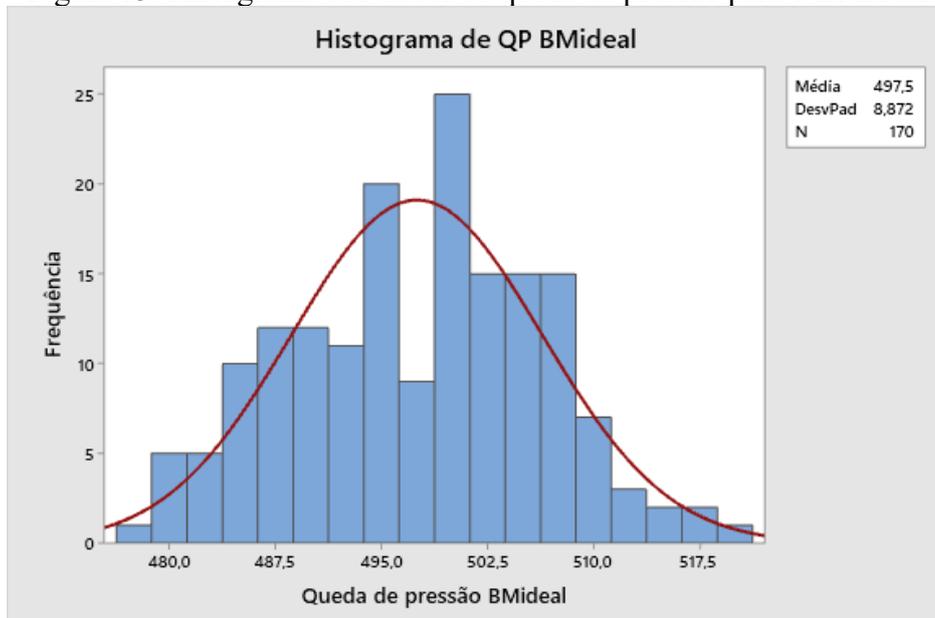
representam o potencial do processo na produção de itens dentro das especificações, presumindo que não haja variação entre os subgrupos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Diagrama de Pareto e histograma

O histograma dos resultados amostrados é apresentado na Figura 13 para o BM_{ideal} . Demais itens de teste tiveram suas Figuras listadas no Apêndice A (Figuras A-1 a A5) pois os resultados do ajuste foram similares. Em todos os histogramas avaliados, notou-se que os picos coincidem, aproximadamente, com a média amostral, o que é um indicativo de distribuição normal. Além disso, as curvas se mostraram simétricas (sem cauda aparente à esquerda ou à direita), o que é mais um indicativo de distribuição normal. Nas Figuras A-3 e A-5 foram apresentadas curvas de sino mais achatadas, indicando desvio padrão maior das amostras se comparado com as curvas de $COMB_{ideal}$ e CIG_{ideal} , respectivamente.

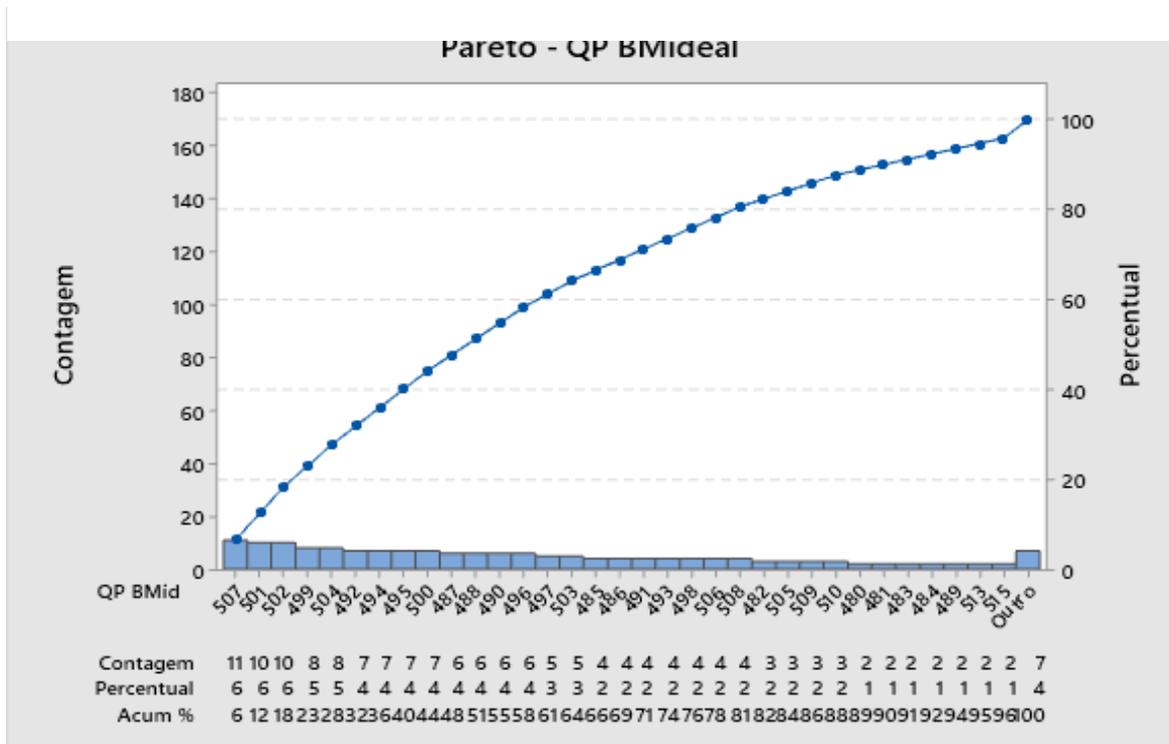
Figura 13. Histograma dos dados de queda de pressão para o BM_{ideal} .



Na Figura 14 é exposto o gráfico de Pareto para os dados de queda de pressão para o BM_{ideal} . Nota-se que 87 dos 170 dados (51% dos dados) estão abaixo de 490, valor

próximo à média amostral que é de 497,5. Tal tendência se repete para demais séries de dados e indicam que os dados estão bem distribuídos em torno da média.

Figura 14. Gráfico de Pareto dos dados de queda de pressão para o BMideal.



Os valores do desvio-padrão e das médias amostrais estão apresentados na Tabela 2, para os sistemas estudados. Um desvio padrão pode ser considerado grande ou pequeno dependendo da ordem de grandeza da variável. Uma maneira de se expressar a variabilidade dos dados tirando a influência da ordem de grandeza da variável é através de um número adimensional conhecido como coeficiente de variação (CV), definido por:

$$CV = \frac{\text{desvio padrão}}{\text{média}} \quad (9)$$

Um CV é considerado baixo (indicando um conjunto de dados razoavelmente homogêneo) quando for menor ou igual a 25%. Entretanto, esse padrão varia de acordo com a aplicação. Nos casos estudados, os valores de CV sempre se mantiveram inferiores à 6%.

Tabela 2. Resultados de média e desvio padrão dos itens amostrados.

Classe	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação [%]
BM _{ideal}	497,5	8,872	1,78%
BM _{real}	502,17	12,608	2,51%
COMB _{ideal}	334,2	6,948	2,08%
COMB _{real}	333,98	9,938	2,98%
CIG _{ideal}	97,91	4,859	4,96%
CIG _{real}	100,90	5,126	5,08%

5.2. Testes de normalidade

Os resultados do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov estão apresentados na Figura 15 para o BM_{ideal}. Demais itens de teste tiveram suas Figuras exibidas no Apêndice A (Figuras A-6 a A10) pois os resultados do ajuste foram similares. Os parâmetros do teste estão sumarizados na Tabela 3. O teste de Kolmogorov-Smirnov compara o ECDF (função de distribuição acumulada empírica) dos dados de amostra com a distribuição esperada se os dados foram normais. O Minitab utiliza o teste de Kolmogorov-Smirnov para calcular o valor de p . O valor de p é a probabilidade de se obter uma estatística de teste (como a estatística de Kolmogorov-Smirnov) que seja pelo menos tão extrema quanto o valor que é calculado a partir da amostra, quando os dados são normais (MINITAB, 2021). Pela Tabela 3 nota-se que p é maior que 0,05 para as combinações “ideais”. Assim, com um nível de significância de 0,05, ou seja, temos mais de 95% de certeza que os resultados seguem a distribuição normal. Já as combinações ditas “reais” tiveram $p < 0,05$.

Como o teste de Kolmogorov-Smirnov não é um teste tão potente para a verificação de aderência à curva de distribuição normal, podendo haver falhas (MIOT, 2017), foi realizado o teste de Ryan-Joiner. Este mede o quão bem os dados seguem uma distribuição normal, calculando a correlação entre os dados e as contagens normais de seus dados. Se o coeficiente de correlação estiver próximo de 1, a população tende a ser normal. Este teste é semelhante ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, dito superior ao teste KS. Os valores de p para o teste RJ também são apresentados na Tabela 3, (MINITAB, 2021). A Figura 16 exhibe os resultados do teste de normalidade de Ryan-

Joiner para o BM_{ideal} . No caso desse teste, todos os resultados foram de $p > 0,05$, ou seja, os dados indicaram comportamento de distribuição normal, estando assim, aptos para serem amostrados nas próximas análises estatísticas que serão apresentadas nos itens seguintes. Os resultados dos itens restantes estão no Apêndice A (Figuras A-11 a A15) devido ao comportamento de distribuição normal semelhante.

Figura 15. Resultados da análise do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov para o BM_{ideal} .

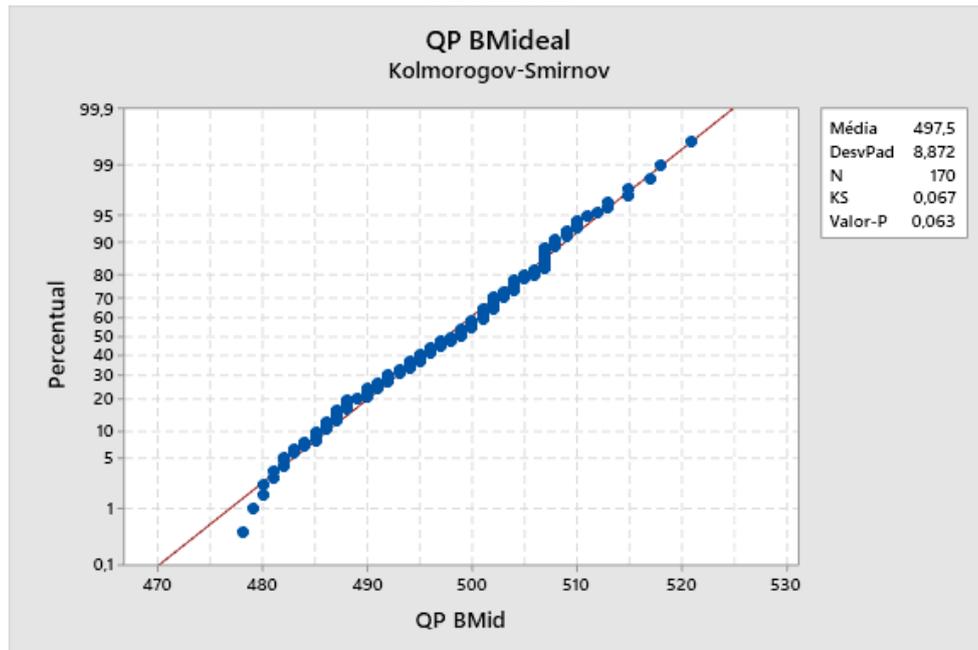


Figura 16. Resultados da análise do teste de normalidade de Ryan-Joiner para o BM_{ideal} .

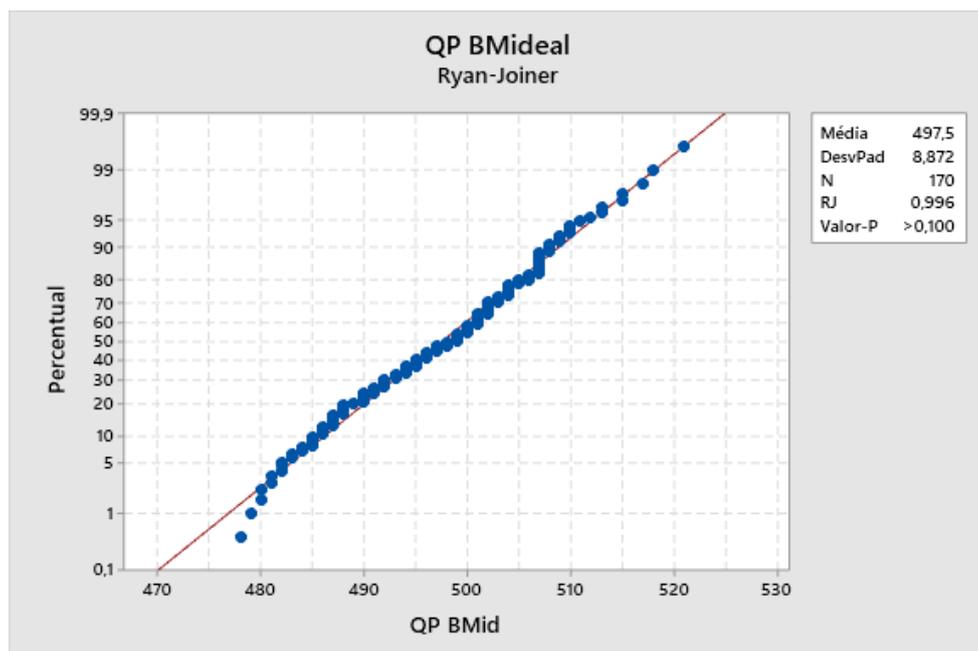


Tabela 3. Resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov e Ryan-Joiner.

Classe	N ¹	KS ²	RJ ²	P-valor com base em KS	P-valor com base em RJ
BM _{ideal}	170	0,067	0,996	0,063	>0,100
BM _{real}	390	0,042	0,998	0,138	>0,100
COMB _{ideal}	200	0,062	0,994	0,062	0,082
COMB _{real}	330	0,055	0,998	0,037	>0,100
CIG _{ideal}	250	0,055	0,995	0,063	0,059
CIG _{real}	310	0,081	0,995	<0,01	>0,100

¹ – Número de itens; ² - KS e RJ: estatísticas dos métodos Kolmogorov-Smirnov e Ryan-Joiner, respectivamente.

5.3. Cartas de controle de variáveis

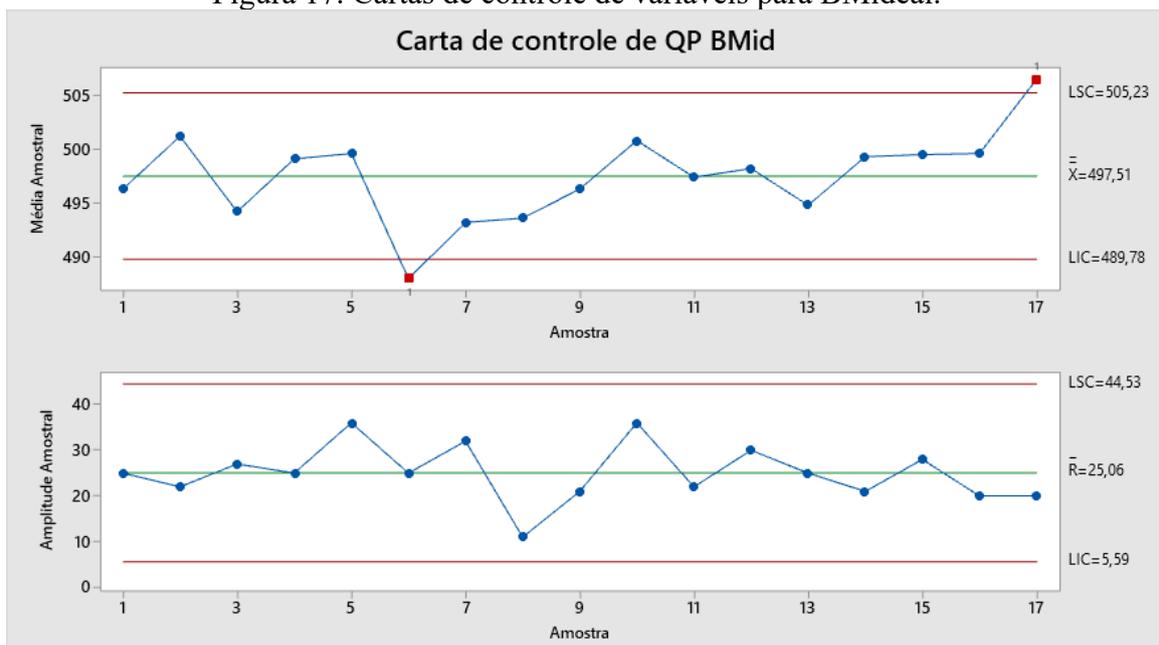
Os resultados da carta de controle, bem como da amplitude amostral para o BM_{ideal}, BM_{real}, COMB_{ideal}, COMB_{real}, CIG_{ideal} e CIG_{real} estão expostos na Figura 17, bem como nas Figuras A-16 a A-20 que constam no Apêndice A, respectivamente. Os pontos representados graficamente nas cartas Xbarra representam as médias das medições dentro de cada subgrupo. A linha central da carta Xbarra representa a média dos pontos representados graficamente (também chamada de a média do processo). Se o processo estiver sob controle, os pontos variam aleatoriamente em torno da linha central, e o processo exibe apenas as variações de causa comum, como explícito nas cartas de COMB_{ideal} e CIG_{ideal}.

Antes de analisar a carta Xbarra, deve-se interpretar a carta R (amplitude amostral) para avaliar se o processo está sob controle. Se a carta R não estiver sob controle, os limites de controle da carta Xbarra não serão precisos (MINITAB, 2019), como no caso de CIG_{ideal}, que apresentou uma carta Xbarra com amostras dentro dos limites de controle, mas carta R com o ponto 19 fora dos limites, evidenciando a não precisão sobre o processo estar, ou não, controlado naquele ponto. Os dados das amostras intituladas CIG_{ideal} foram obtidas por cigarros fabricados em regime de teste, ao contrário da amostra CIG_{real} que contém cigarros amostrados diretamente do processo produtivo. Assim, nota-se que a equipe do controle de qualidade precisa ser notificada para que se obtenha um método de testes que apresente métricas estatísticas similares às do processo real.

Os limites de controle da carta R, que são fixados a uma distância de 3 desvios padrão acima e abaixo da linha central, mostram a quantidade de variação que é esperada nos intervalos do subgrupo. Os demais resultados apresentaram todas as cartas R sob controle, indicando-se, dessa forma, com precisão, se o processo está, ou não, controlado nas cartas Xbarra.

Os limites de controle são as linhas horizontais que estão acima e abaixo da linha central. Eles indicam se um processo está fora de controle e são baseados na variação observada dentro dos subgrupos e na variação esperada nos pontos traçados. Para os casos de BM_{ideal} , BM_{real} , $COMB_{real}$ e CIG_{real} , as cartas de controle apresentaram cerca de 1 a 2 pontos fora dos limites de controle. Com relação a estes pontos, torna-se necessária a realização de uma análise de causa raiz para identificar e corrigir os desvios de processo encontrados.

Figura 17. Cartas de controle de variáveis para BMideal.



5.4. Comparando-se classes “Ideiais” e “Reais”

A análise de variância é um teste estatístico amplamente difundido entre os analistas, e visa fundamentalmente verificar se existe uma diferença significativa entre as médias (HARPER, 1985). Como algumas amostras do processo (Reais) mostraram-se fora dos limites de controle, ao contrário das amostras de teste (Ideais), antes de passarmos para a análise da capacidade do processo, realizou-se uma comparação entre as médias das amostras.

Isto porque os valores de LSE, LIE e valor-alvo são iguais dentro das classes (BM, COMB e CIG). Tal fato ocorre uma vez que é desejado que os itens obtidos nos experimentos de teste reproduzam a variabilidade dos itens amostrados na linha de produção. Neste viés, realizou-se um teste F para comparar-se as variabilidades dentro das classes “Ideias” e “Reais”. Os resultados do teste são apresentados na Tabela 4. Através da análise da Tabela, notou-se que o valor da estatística F tabelado é sempre menor que o valor de F-crítico, não é possível rejeitar-se a hipótese nula em prol da hipótese alternativa ao risco de 5%. Ou seja, as médias não diferem entre si. Logo, pelo menos do ponto de vista estatístico, o conjunto de teste (Ideal) se mostra adequado para representar a variabilidade do conjunto obtido na linha de fábrica (Real).

Tabela 4. Resultados do teste F para as classes de experimentos BM, COMB e CIG.

Grupos Analisados	F	F-crítico
BM	0,4223	0,8012
COMB	0,4247	0,8086
CIG	0,7441	0,8190

5.5. Análise de capacidade

No caso da análise de capacidade em si, todos os dados devem seguir uma distribuição normal para que ela retorne um resultado confiável. Como no item 5.2, por meio do teste de normalidade de Ryan-Joiner, todas as amostras apresentaram resultados

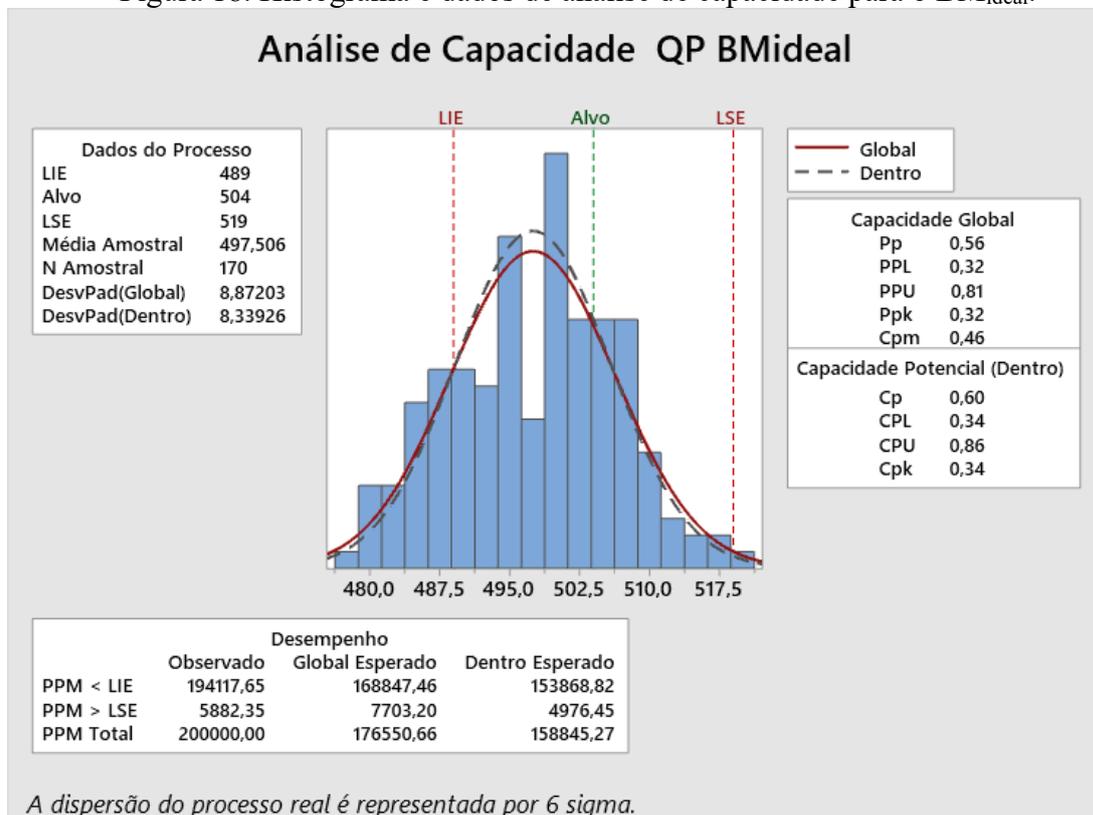
satisfatórios de distribuição normal, os resultados que serão aqui apresentados são confiáveis para serem analisados.

A Tabela 5, bem como a Figura 18 e as demais figuras exibidas no Apêndice A (Figuras A-21 a A-25), apresentam os resultados da análise de capacidade considerando os limites de especificação. Nesta Tabela também é apresentada a média global dos dados para que se evidencie que a mesma está próxima ao valor do *target*.

Tabela 5. Índices de capacidade considerando os limites de especificação e valor alvo (“target”).

Legenda	LSE	LIE	Target	Média	P_{pi}	P_{ps}	P_{pk}	C_{pk}
BM _{Ideal}	489	519	504	497,5	0,32	0,81	0,32	0,34
COMB _{Ideal}	330	350	340	334,2	0,20	0,76	0,20	0,20
CIG _{Ideal}	90	100	100	97,91	0,54	0,83	0,54	0,54
BM _{Real}	489	519	504	502,17	0,35	0,44	0,35	0,40
COMB _{Real}	330	350	340	333,98	0,13	0,54	0,13	0,14
CIG _{Real}	90	100	100	100,90	0,71	0,59	0,59	0,62

Figura 18. Histograma e dados de análise de capacidade para o BM_{ideal}.



Com relação aos resultados tanto de C_{pk} quanto de P_{pk} , nenhum dos itens obteve C_{pk} e $P_{pk} > 1$, ou seja, o processo não pode ser considerado capaz para nenhum dos casos. Os resultados de P_p e P_{pk} para BM_{real} , CIG_{ideal} e CIG_{real} foram aproximadamente iguais, indicando que o processo está centralizado nos limites de especificação.

Comparando-se os resultados de C_{pk} e P_{pk} , nenhum dos resultados apresentou discrepância de valores muito alta de forma a indicar que possa existir outras fontes de variação no processo. Dentre as amostras analisadas, apenas BM_{real} e CIG_{real} apresentaram valores com diferença de, no máximo, 0,5.

De acordo com o desvio padrão dentro do subgrupo com o desvio padrão global, apenas BM_{real} e CIG_{real} apresentaram diferença significativa nos valores retornados, isso é mais uma evidência de que o processo não é estável e possui outras fontes de variação externas.

O índice C_p tem uma aplicação prática, a saber:

$$PFE = \left(\frac{1}{C_p} \right) 100 \quad (10)$$

na qual PFE indica a percentagem da faixa de especificação utilizada pelo processo. No caso do CIG_{real} , então, PFE estimada é de 60%. Pelo uso da distribuição normal padrão, sabemos que a fração de cigarros fora de especificação pode ser determinado pela área à esquerda de Z , sendo Z a estatística do método. Assim,

$$Z = \frac{LIE - média}{desvio padrão} = \frac{100 - 100,90}{5,126} \cong 0,17 \quad (11)$$

Assim, pela tabela de distribuição normal, a ocorrência estimada de itens defeituosos é de cerca de $1 - 0,5675 = 0,4325$, ou 43,25%. Assim, nota-se que Z e PFE estimados estão consonantes e espera-se que haja 43.250 cigarros fora de especificação a cada 1 milhão fabricados.

6. CONCLUSÃO

Em todos os histogramas analisados, os picos coincidem, aproximadamente, com a média amostral e as curvas se mostraram simétricas, o que é um indicativo de distribuição normal.

Com relação aos testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov que foram aplicados, todas as amostras apresentaram distribuição normal, com exceção das amostras obtidas diretamente no processo produtivo. No entanto, como podem existir falhas para Kolmogorov-Smirnov, foram realizados teste de normalidade de Ryan-Joiner e todos os itens, sem exceção, apresentaram distribuição normal.

Em todas as cartas de controle avaliadas, inicialmente, observou-se a carta R. De todas as amostras, apenas CIG_{ideal} apresentou um item fora dos limites de controle, indicando que, naquele ponto, a carta X_{barra} não fornecerá dados confiáveis de controle. Já de acordo com os resultados apresentados nas cartas X_{barra} , BM_{ideal} , BM_{real} , $COMB_{real}$ e CIG_{real} , tiveram pontos fora dos limites de controle, indicando que o processo não está controlado.

Os testes das amostras que contém a descrição “ideal”, foram realizados em ambiente de extremo controle e cuidado, em condições significativamente diferentes das que observadas nos processos produtivos ditos como “reais”. Contudo, os experimentos de teste apresentaram a mesma média dos conjuntos referentes ao processo produtivo, com uma confiança de 95%. Assim, nota-se que a metodologia aplicada é válida e que estes experimentos são úteis para investigação da queda de pressão dos cigarros e se seus filtros.

As análises de capacidade apresentadas mostram que apesar de algumas amostras se apresentarem sobre controle estatístico, nenhuma delas obteve resultado de $C_{pk} > 1$, indicando que o processo não é capaz. Assim, sugere-se à equipa de qualidade que:

- um novo tipo de filtro seja utilizado no processo, visando diminuir a variabilidade dos dados de queda de pressão e, por conseguinte, a amplitude amostral;
- os limites de especificação, se possível, sejam revisados (para que abranjam os limites de controle).

7. REFERÊNCIAS

AMSDEN, Davida M.; BUTLER, Howard E.; AMSDEN, Robert T. **SPG SIMPLIFIED FOR SERVICES Practical Tools for Continuous Quality Improvement**. [S. l.]: SPRINGER-SCIENCE+BUSINESS MEDIA, 1991.

COMPANY, Western Electric. **Statistical quality control handbook**. Indianapolis: Western Electric Co., 1956.

COSTA, J.P.; LOPES, I.S.; BRITO, J.P. Six Sigma application for quality improvement of the pin insertion process. **Procedia Manufacturing**, [s. l.], v. 38, p. 1592–1599, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.126>

CRAVENER, T.L.; ROUSH, W.B.; JORDAN, H. Pareto Assessment of Quality Control in Poultry Processing Plants. **Journal of Applied Poultry Research**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 297–302, 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/japr/2.3.297>

DICIONÁRIO BRASILEIRO DA LÍNGUA PORTUGUESA. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/busca?id=OWQE>. Acesso em: 6 nov. 2021.

DJEKIC, Ilija; TOMASEVIC, Igor. Tools in Improving Quality Assurance and Food Control. *In*: FOOD CONTROL AND BIOSECURITY. [S. l.]: Elsevier, 2018. p. 63–104. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811445-2.00003-9>

FERNANDES, Waldir Algarte. **O movimento da qualidade no Brasil**. 1th. ed. São Paulo: Essential Idea Publishing, 2011.

GEORGE, Michael L. *et al.* **The Lean Six Sigma Pocket Toolbook**. New York: McGraw-Hill, 2004.

GOETSCH, David L. **Quality Management for Organizational Excellence**. 7th. ed. London: Pearson, 2012.

GOULD, Wilbur A. Front Matter. *In*: TOTAL QUALITY MANAGEMENT FOR THE FOOD INDUSTRIES. [S. l.]: Elsevier, 1992. p. i. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-1-84569-601-6.50001-3>

HACKER, Richard Carleton. **The Ultimate Cigar Book**. 4. ed. [S. l.]: Skyhorse, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1007/0-05912-5_4

HARPER, Jeffrey F. Precise calculation of the cumulative distribution function and its inverse function for Fisher's F and Student's t tests. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, [s. l.], v. 21, n. 2, p. 127–129, 1985. Disponível em:

[https://doi.org/10.1016/0169-2607\(85\)90073-2](https://doi.org/10.1016/0169-2607(85)90073-2)

HARRALD, Chris; WATKINS, Fletcher. **Cigarette Book: A Celebration & Companion**. [S. l.]: Quartet Books, 2009.

HOYLE, David. **ISO 9000 - Quality System Handbook**. 4. ed. [S. l.]: Butterworth-Heinemann, 2001.

INCA. **Mercado ilegal de produtos de tabaco**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/observatorio-da-politica-nacional-de-controle-do-tabaco/mercado-ilegal>. Acesso em: 6 nov. 2021.

JONES, Erick. **Quality Management for Organizations Using Lean Six Sigma Techniques**. 1th. ed. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2014.

LARSON, Alan. **Demystifying Six Sigma**. New York: AMACOM, 2003. Disponível em: <https://doi.org/0814471846>

LAU, Catherine Y. Quality Improvement Tools and Processes. **Neurosurgery Clinics of North America**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 177–187, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.nec.2014.11.016>

LEAPHART, Cynthia L. *et al.* Formal quality improvement curriculum and DMAIC method results in interdisciplinary collaboration and process improvement in renal transplant patients. **Journal of Surgical Research**, [s. l.], v. 177, n. 1, p. 7–13, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2012.03.017>

LEVINSON, William A. **Statistical Process Control for Real-World Applications**. [S. l.: s. n.], 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/b10467>

MAICZUK, Jonas; JÚNIOR, Pedro Paulo Andrade. APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE MELHORIA DE QUALIDADE E PRODUTIVIDADE NOS PROCESSOS PRODUTIVOS: UM ESTUDO DE CASO. **Qualitas Revista Eletrônica**, [s. l.], v. 14, n. 1, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.18391/qualitas.v14i1.1599>

MARINO, Lúcia Helena Fazzane de Castro. Gestão da qualidade e gestão do conhecimento: fatores-chave para produtividade e competitividade empresarial. *In:* , 2006, Bauru-SP. **XIII SIMPEP**. Bauru-SP: [s. n.], 2006. p. 1–9.

MASON, Ben; ANTONY, Jiju. Statistical process control: an essential ingredient for improving service and manufacturing quality. **Managing Service Quality: An International Journal**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 233–238, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/09604520010341618>

MINITAB. **Interpretar os principais resultados para Carta Xbar-R**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how>

to/quality-and-process-improvement/control-charts/how-to/variables-charts-for-subgroups/xbar-r-chart/interpret-the-results/key-results/. Acesso em: 6 jun. 2021.

MINITAB. **Interpretar todas as estatísticas e gráficos para Teste de Normalidade**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/19/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/normality-test/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/>.

MIOT, Hélio Amante. Avaliação da normalidade dos dados em estudos clínicos e experimentais. **Jornal Vascular Brasileiro**, [s. l.], v. 16, n. 2, p. 88–91, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1677-5449.041117>

MOLAEIPOUR, Yousef; GHAREHAGHAJI, Ali Akbar; BAHRAMI, Hajir. Filtration performance of cigarette filter tip containing electrospun nanofibrous filter. **Journal of Industrial Textiles**, [s. l.], v. 45, n. 2, p. 187–198, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1528083714528016>

MONTGOMERY, Douglas C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. São Paulo: LTC, 2004.

MORITA, Maiko *et al.* Economical operation of the C pm control chart for monitoring process capability index. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 43, n. 3–4, p. 304–311, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00170-008-1703-2>

OAKLAND, John. **Statistical Process Control**. 7. ed. New York: Taylor & Francis, 2019.

OTHMAN, Idris; NORFARAHHANIM MOHD GHANI, Siti; WOON CHOON, Shim. The Total Quality Management (TQM) journey of Malaysian building contractors. **Ain Shams Engineering Journal**, [s. l.], v. 11, n. 3, p. 697–704, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.11.002>

PAMPEL, Fred C. **Tobacco Industry and Smoking**. 2. ed. [S. l.]: Facts on File, 2009.

REBELATO, Marcelo Giroto; RODRIGUES, Andréia Marize. SEIS SIGMA: UMA DERIVAÇÃO DO TQM? **Revista Gestão Industrial**, [s. l.], v. 6, n. 1, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.3895/S1808-04482010000100002>

ROBINSON, Daniel J. **Cigarette Nation**. [S. l.]: McGill-Queen's University Press, 2021.

RUSTEMEYER, Paul. 5.2 CA filter tow for cigarette filters. **Macromolecular Symposia**, [s. l.], v. 208, n. 1, p. 267–292, 2004. Disponível em:

<https://doi.org/10.1002/masy.200450411>

SAHOO, Saumyaranjan; YADAV, Sudhir. Total Quality Management in Indian Manufacturing SMEs. **Procedia Manufacturing**, [s. l.], v. 21, p. 541–548, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.155>

SANCHEZ-MARQUEZ, Rafael *et al.* Diagnosis of quality management systems using data analytics – A case study in the manufacturing sector. **Computers in Industry**, [s. l.], v. 115, p. 103183, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.103183>

SINDITABACO. **Relevância do Setor do Tabaco no Brasil – 2018**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://abifumo.org.br/2019/06/10/relevancia-do-setor-do-tabaco-no-brasil-2018/>. Acesso em: 4 abr. 2021.

TOMOHIRO, Ryosuke; ARIZONO, Ikuo; TAKEMOTO, Yasuhiko. Economic design of double sampling $C_{\bar{p}m}$ control chart for monitoring process capability. **International Journal of Production Economics**, [s. l.], v. 221, p. 107468, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.08.003>

XU, Lu *et al.* Quality management theory development via meta-analysis. **International Journal of Production Economics**, [s. l.], v. 229, p. 107759, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107759>

YANG, Zhanping. Filtration efficiency of a cigarette filter with X- or Y-shaped fibers. **Thermal Science**, [s. l.], v. 23, n. 4, p. 2517–2522, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2298/TSCI1904517Y>

YASAMITH, T.W.C.; EKANAYAKE, E.M.P. A Comprehensive Study on Improving the Quality of Cigarette Manufacturing. *In:* , 2011, Kuliypitiya. **Proceedings of the 3rd Symposium on Applied Science, Business and Industrial Research**. Kuliypitiya: Faculty of Applied Sciences, Wayamba University of Sri Lanka, 2011. p. 103–107. Disponível em: <http://repository.wyb.ac.lk/handle/1/1643?show=full>

YU, Fong-Jung; CHEN, Hsuan-Kai. Economic-Statistical Design of X-bar Control Charts Using Taguchi Loss Functions. **IFAC Proceedings Volumes**, [s. l.], v. 42, n. 4, p. 1719–1723, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.3182/20090603-3-RU-2001.0098>

APÊNDICE A

Figura A- 1. Histograma dos dados do BM_{real} .

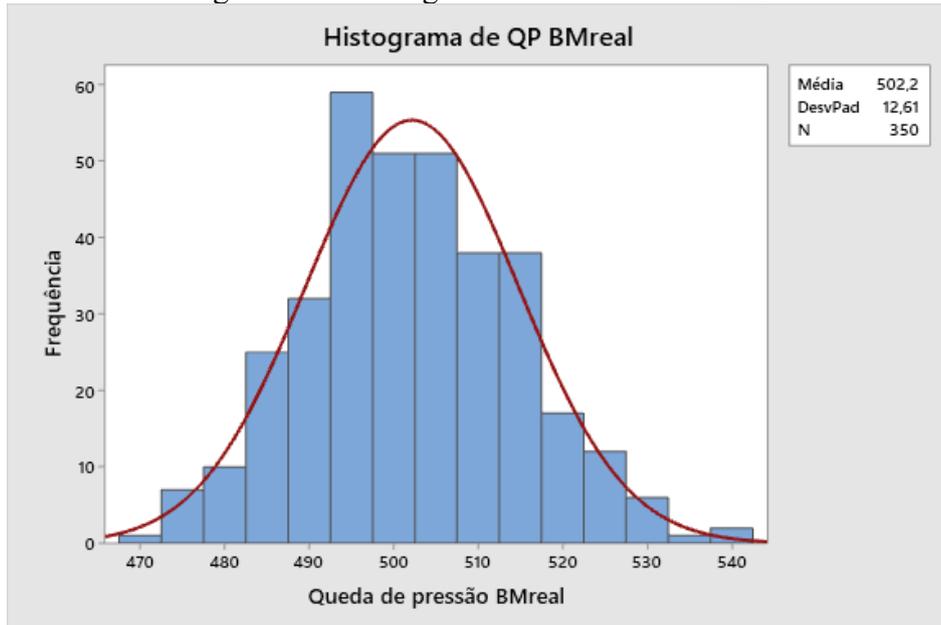


Figura A- 2. Histograma dos dados do $COMB_{ideal}$.

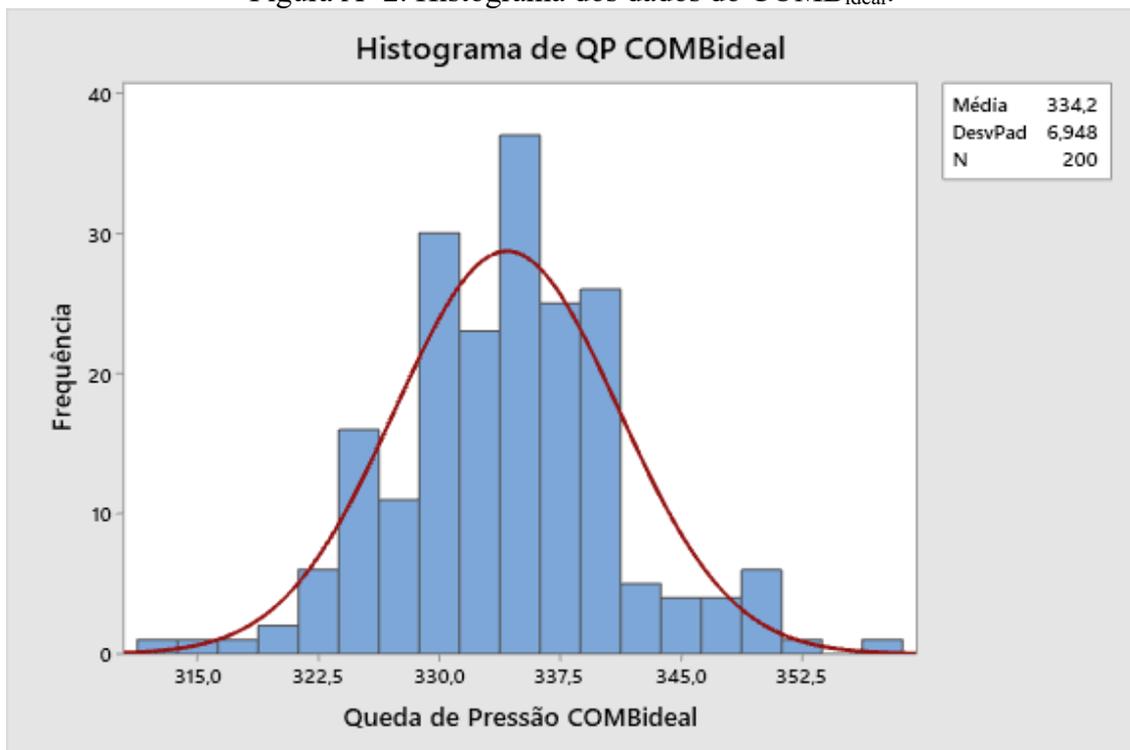


Figura A- 3. Histograma dos dados do COMB_{real}.

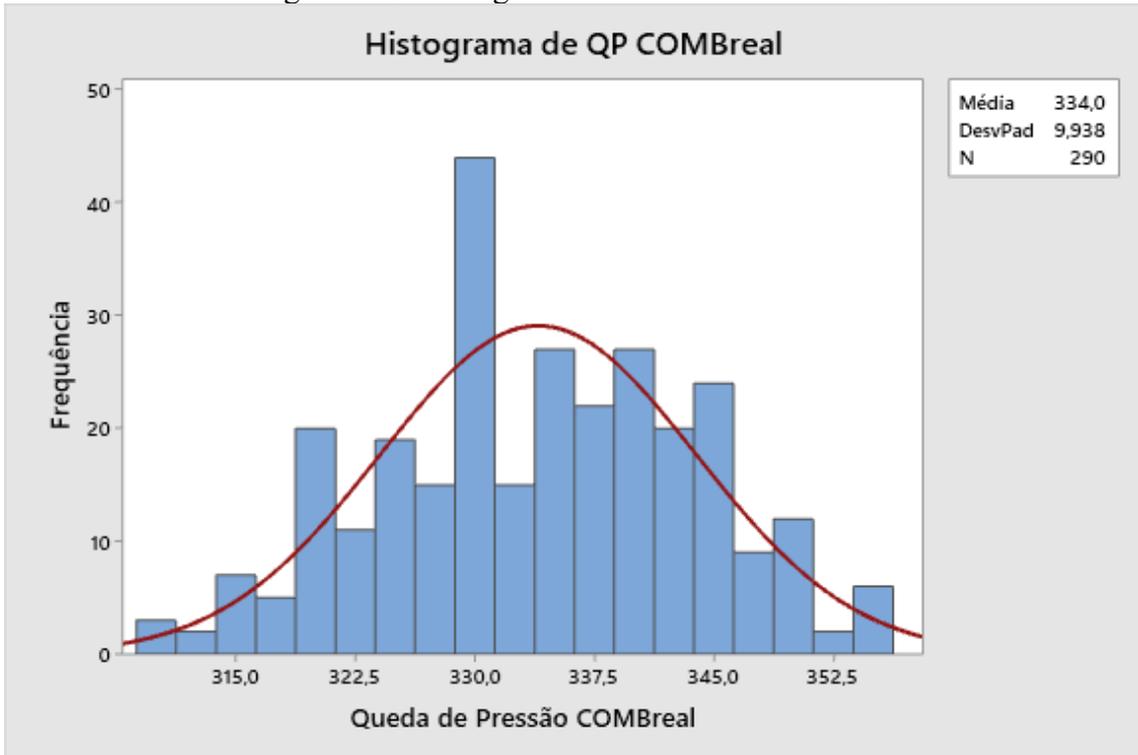


Figura A- 4. Histograma dos dados do CIG_{ideal}.

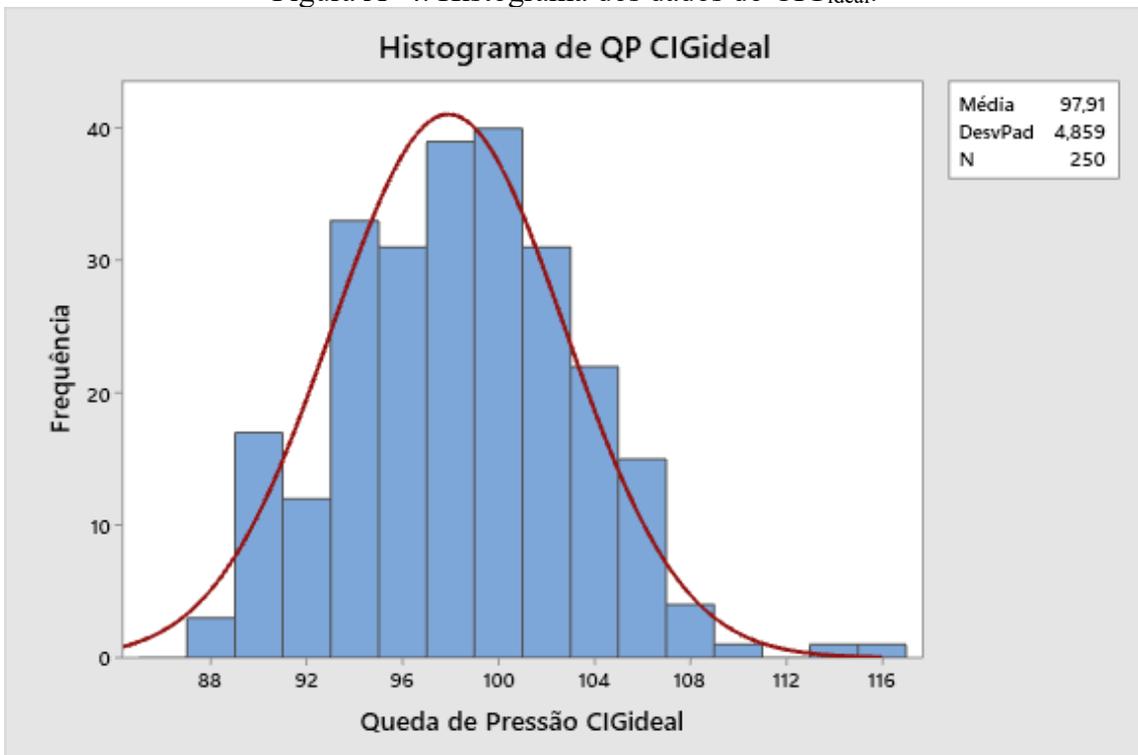


Figura A- 5. Histograma dos dados do CIG_{real}.

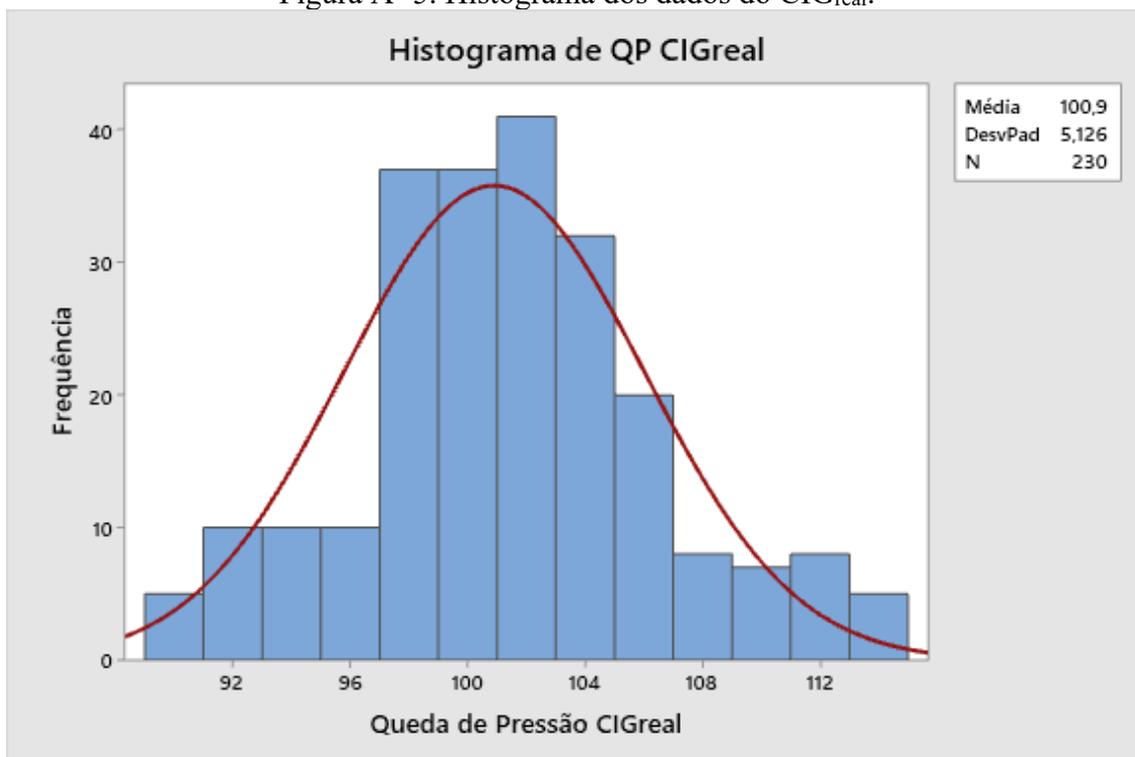


Figura A- 6. Resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov para o BM_{real}.

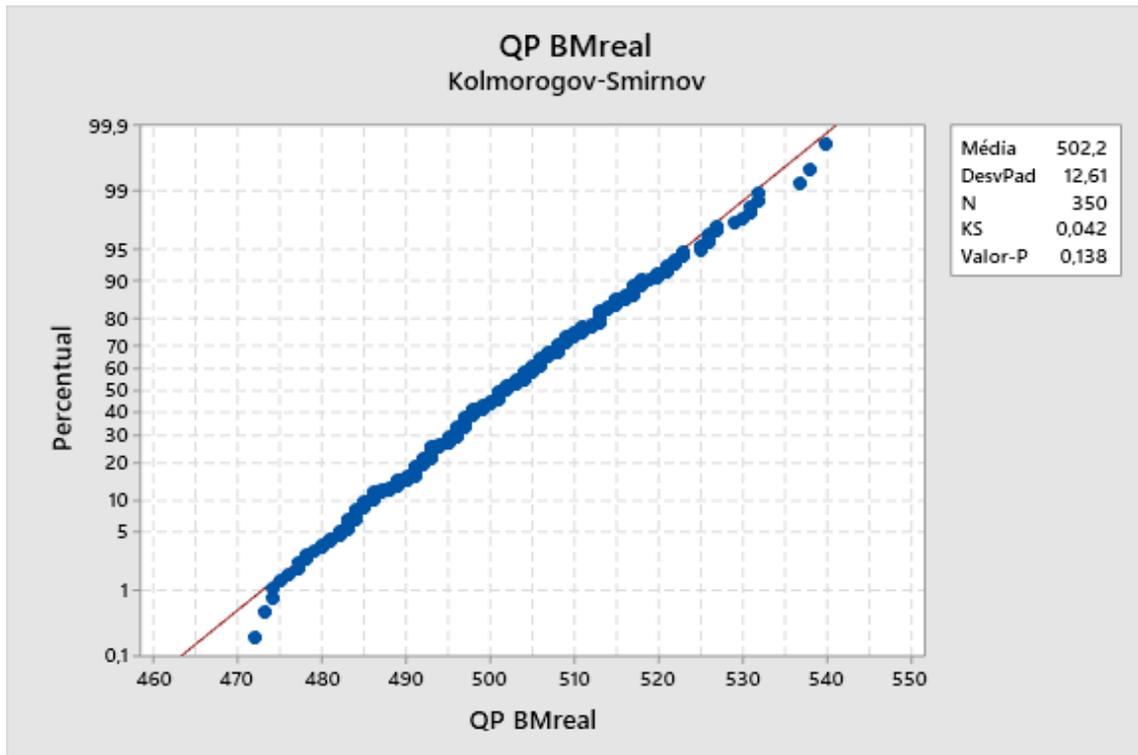


Figura A- 7. Resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov para o $COMB_{ideal}$.

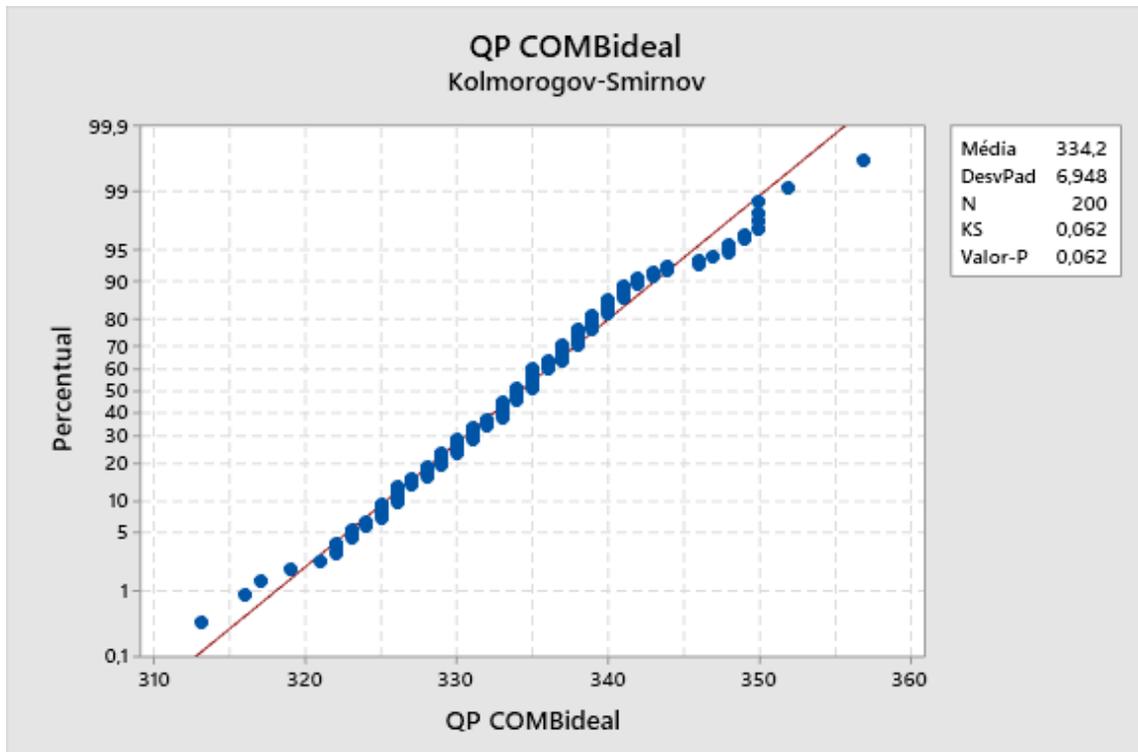


Figura A- 8. Resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov para o $COMB_{real}$.

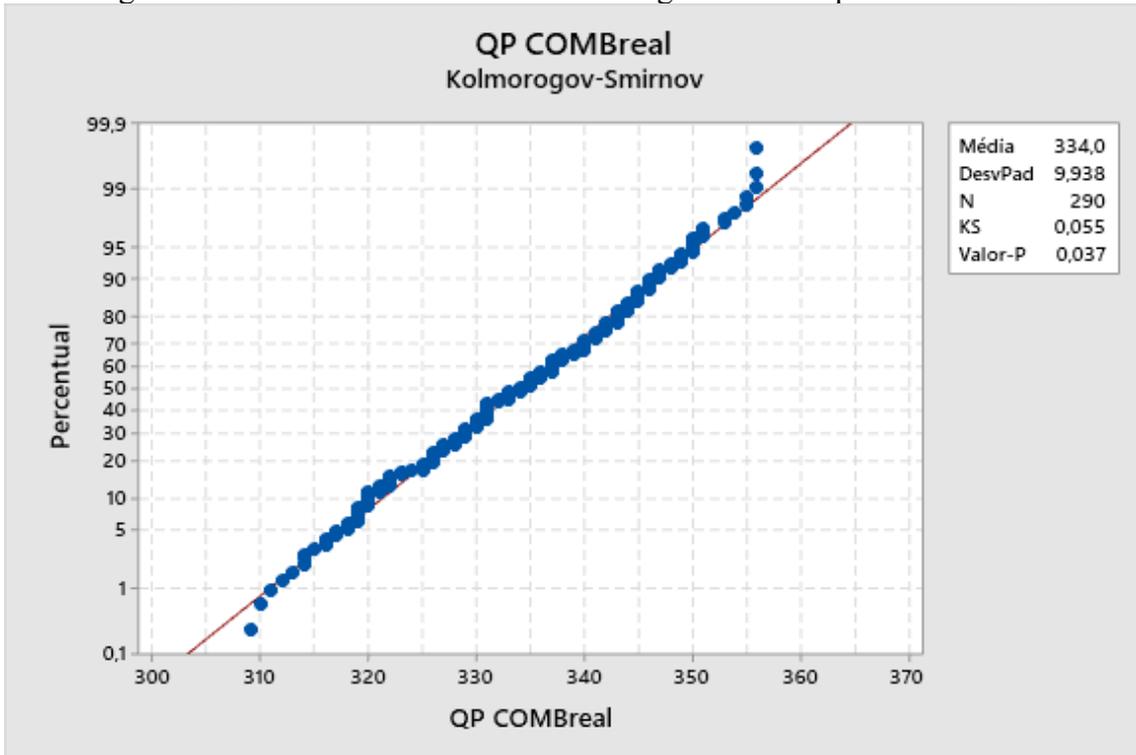


Figura A- 9. Resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov para o CIG_{ideal} .

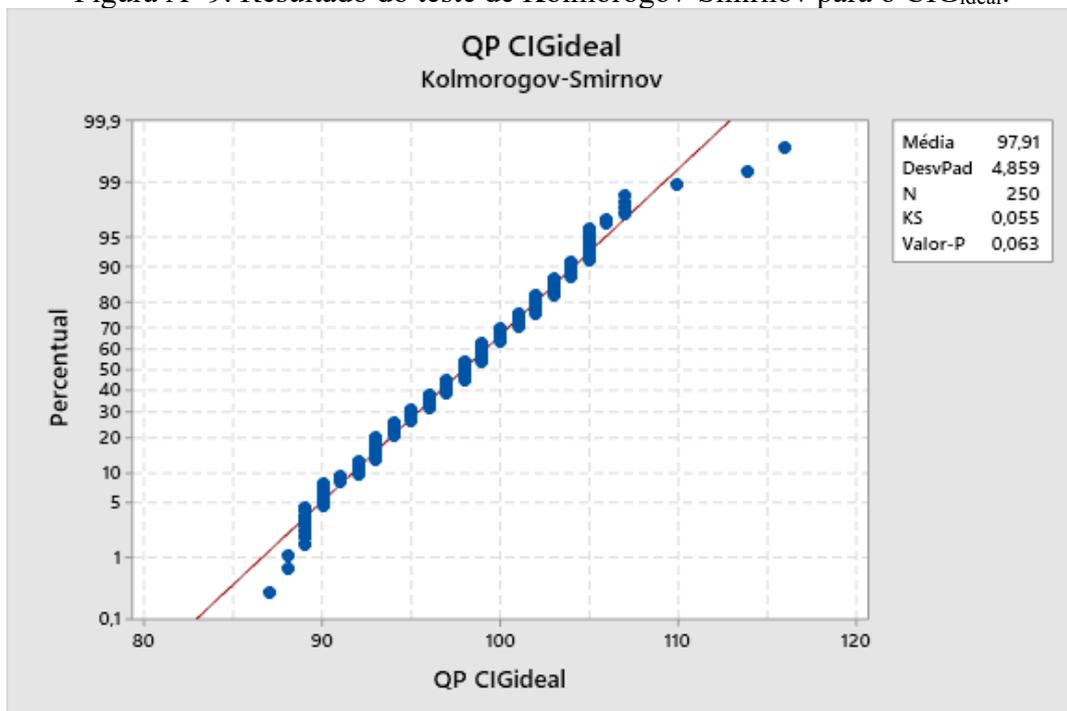


Figura A- 10. Resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov para o CIG_{real} .

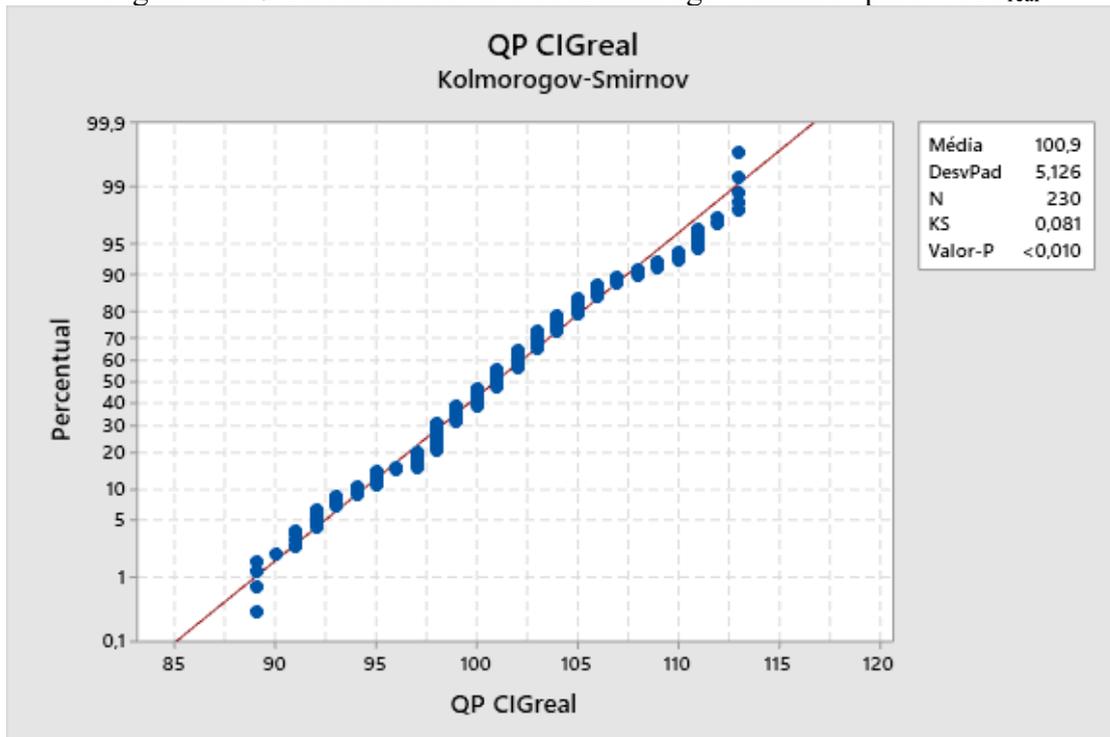


Figura A- 11. Resultado do teste de Ryan-Joiner para o BM_{real} .

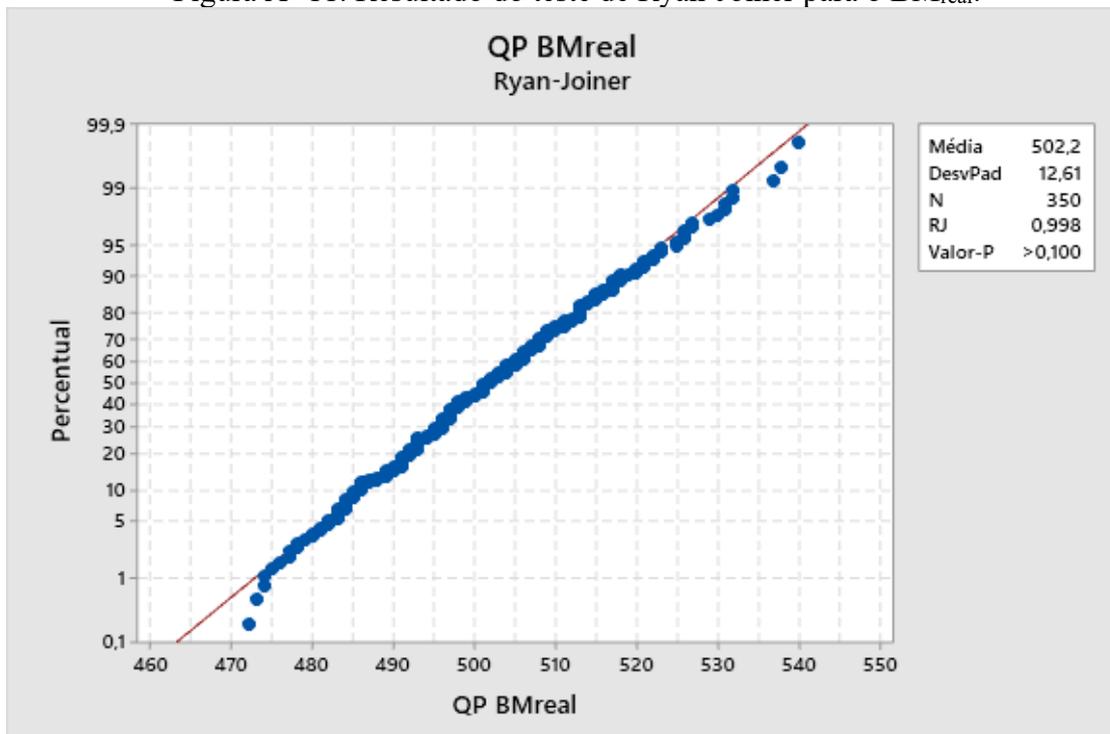


Figura A- 12. Resultado do teste de Ryan-Joiner para o $COMB_{ideal}$.

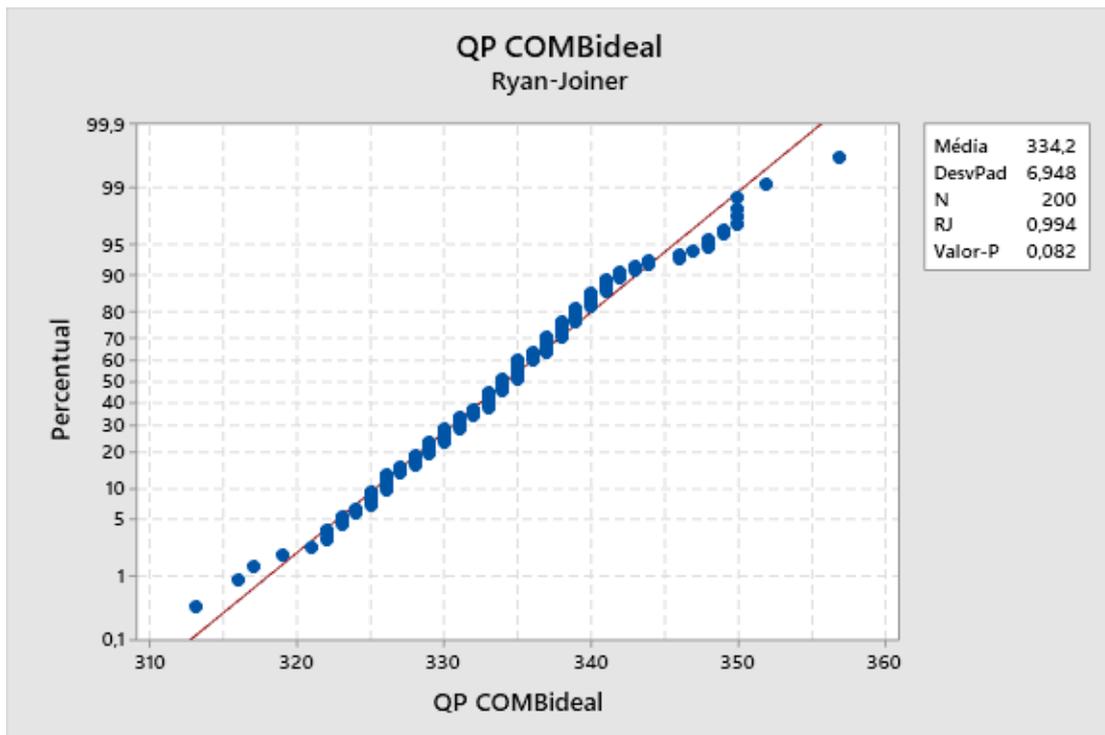


Figura A- 13. Resultado do teste de Ryan-Joiner para o $COMB_{real}$.

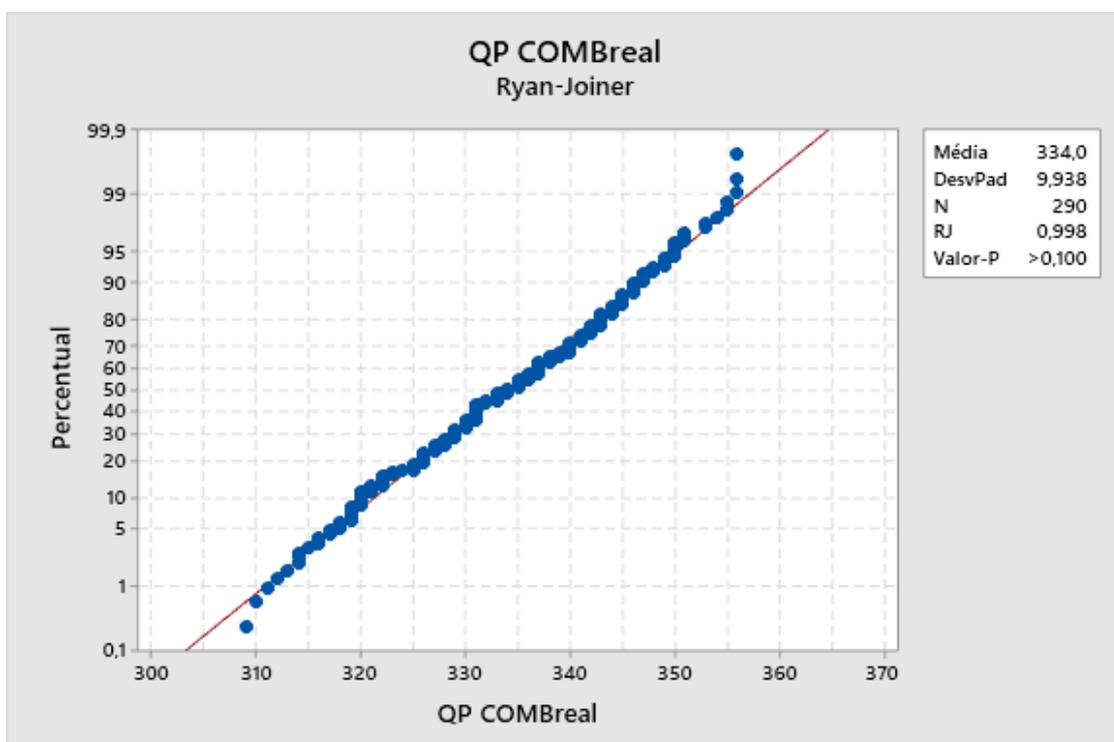


Figura A- 14. Resultado do teste de Ryan-Joiner para o CIG_{ideal} .

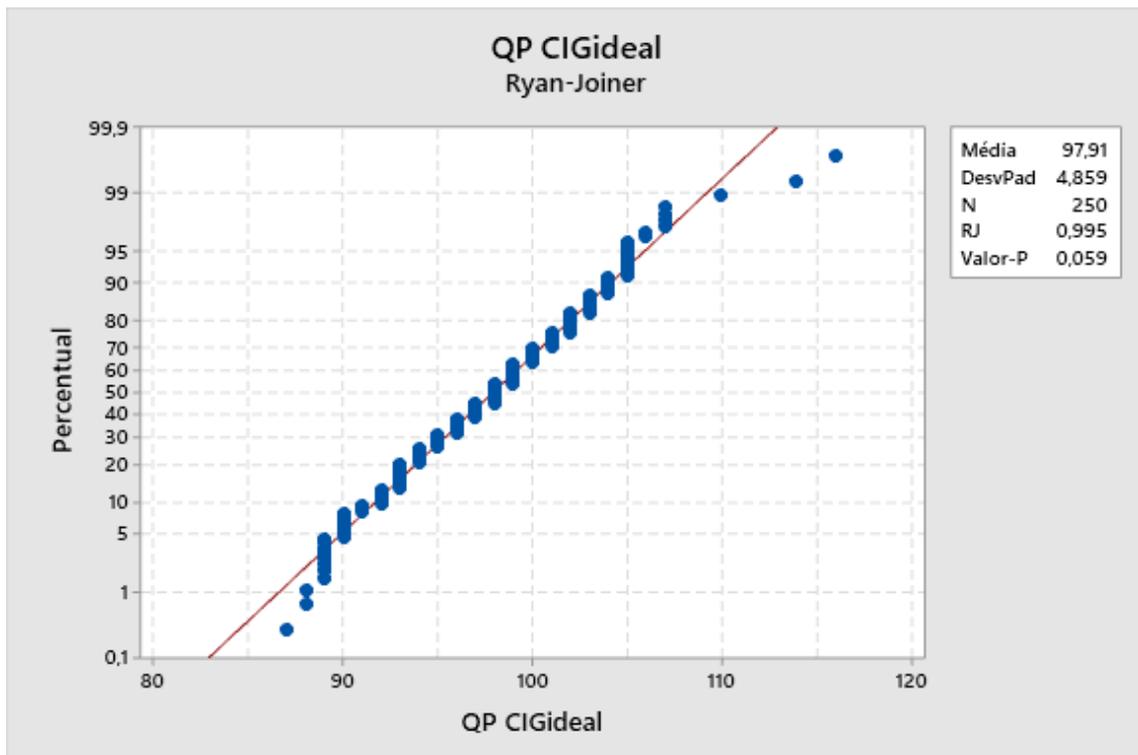


Figura A- 15. Resultado do teste de Ryan-Joiner para o CIG_{real} .

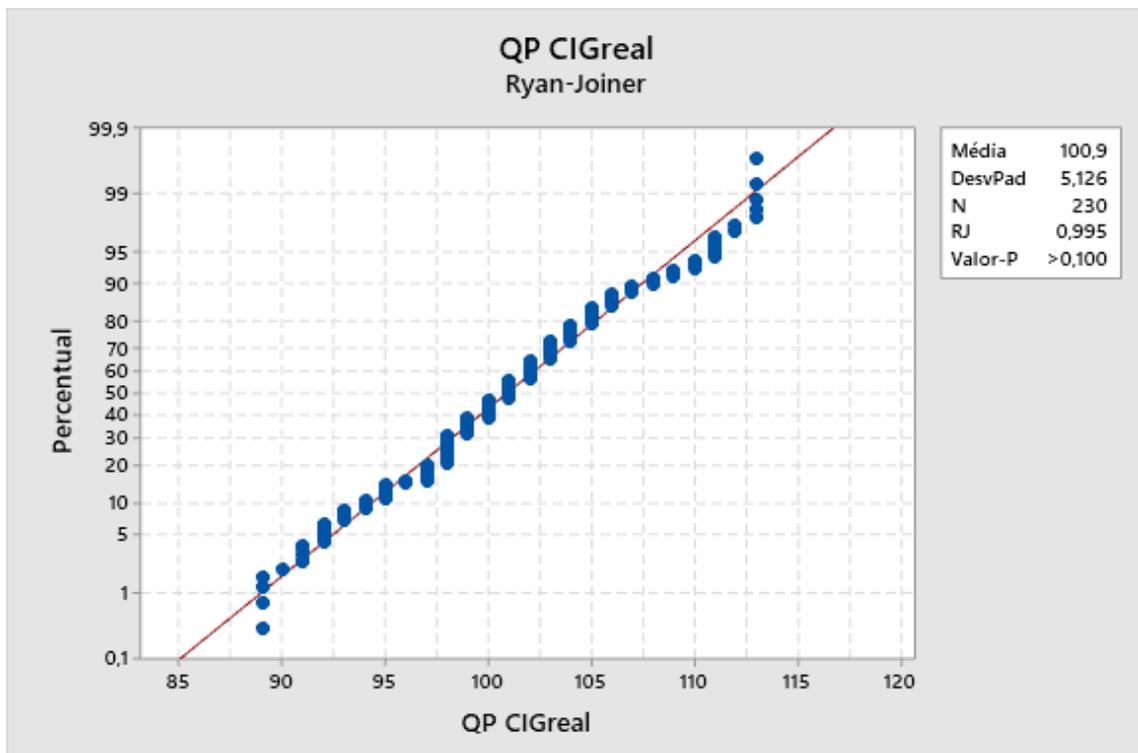


Figura A-16. Cartas de controle de variáveis para BM_{real} .

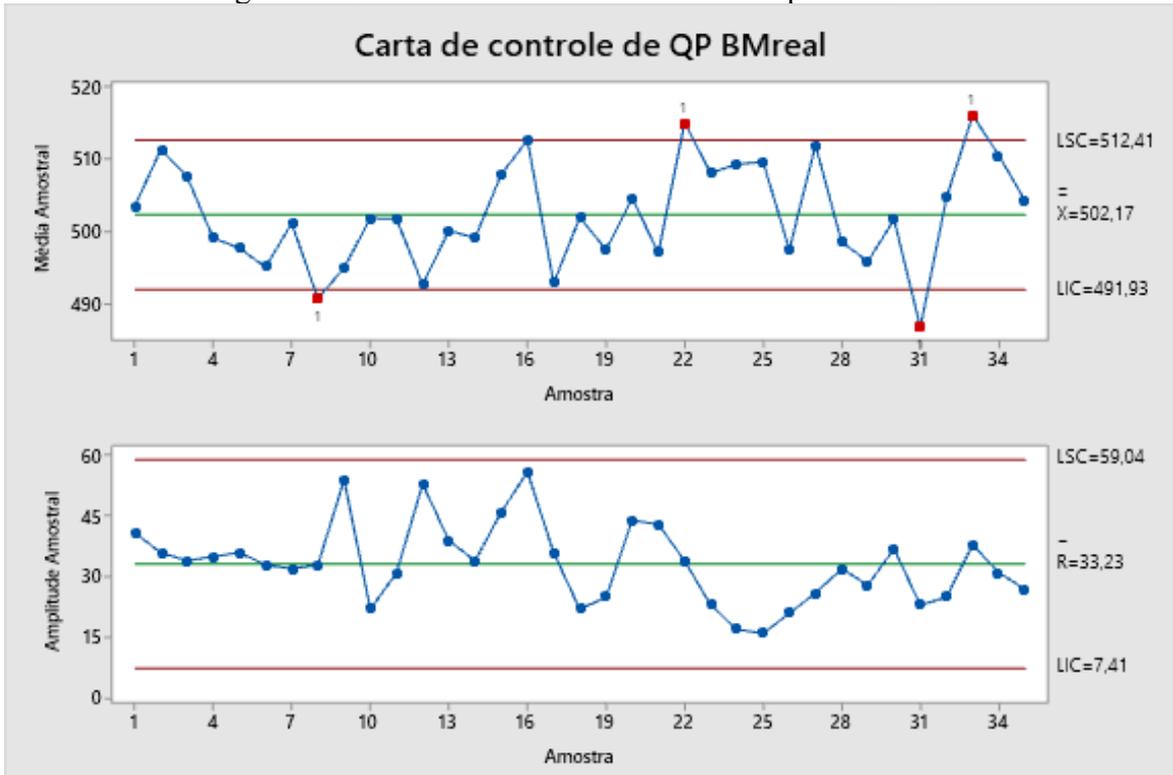


Figura A-17. Cartas de controle de variáveis para $COMB_{ideal}$.

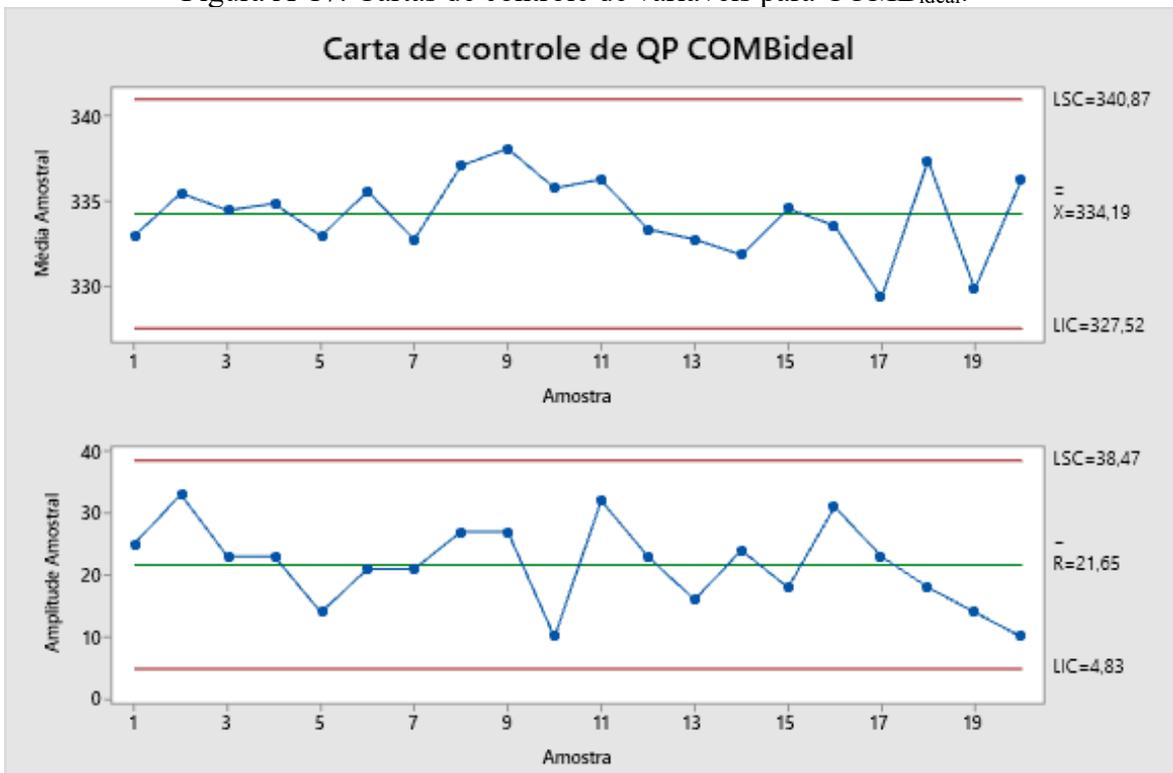


Figura A-18. Cartas de controle de variáveis para COMB_{real}.

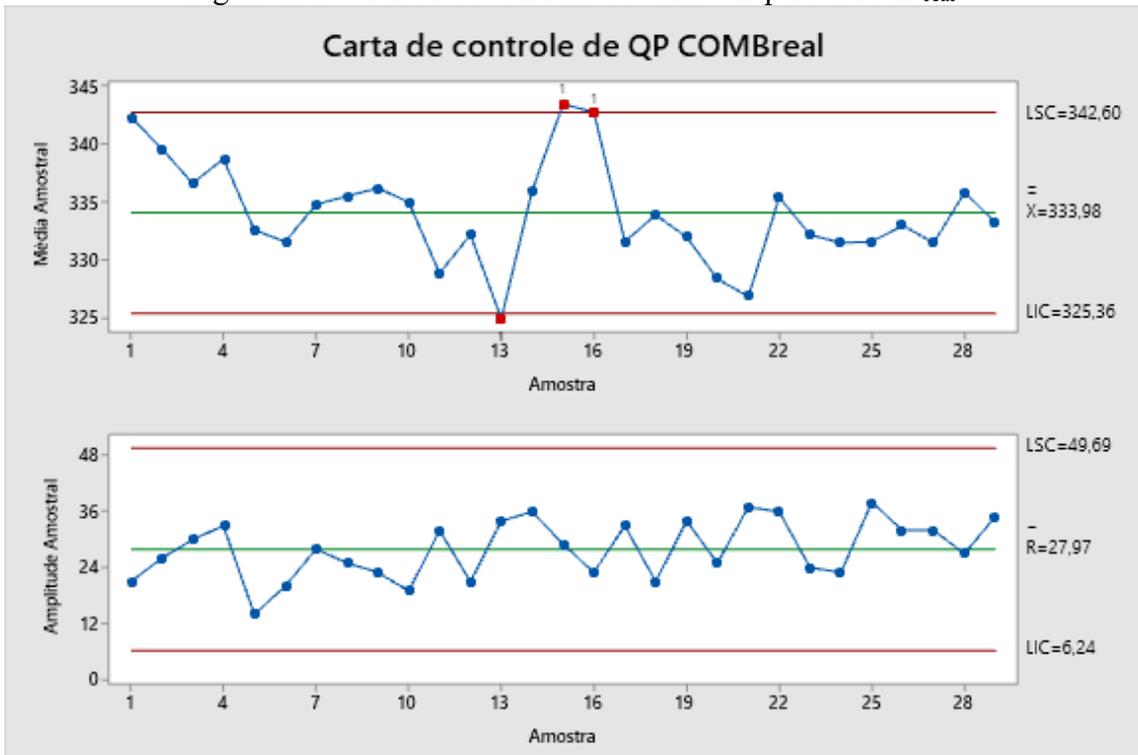


Figura A-19. Cartas de controle de variáveis para CIG_{ideal}.

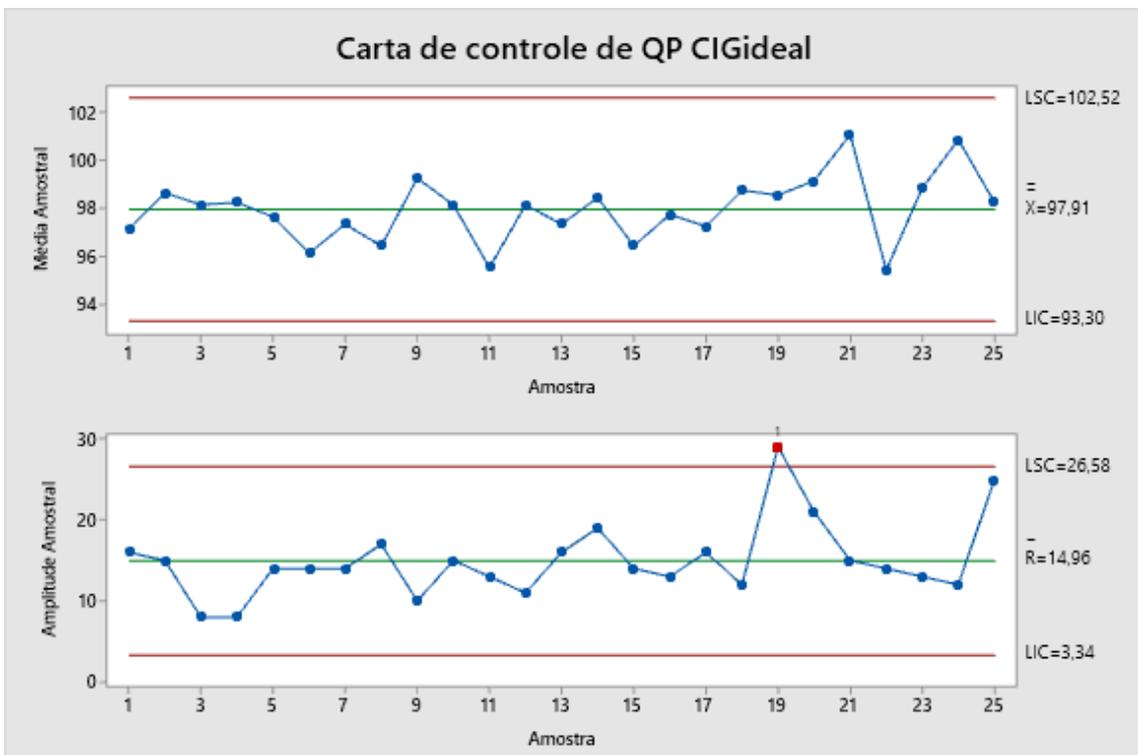


Figura A-20. Cartas de controle de variáveis para CIG_{real}.

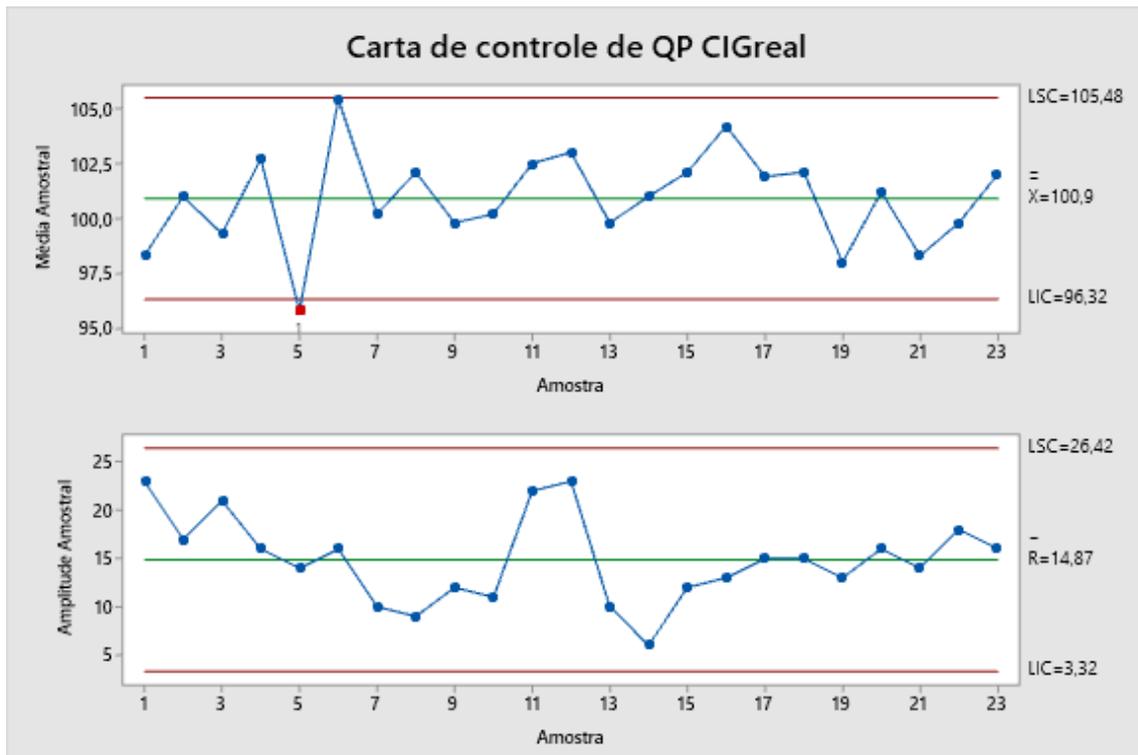


Figura A-21. Histograma e dados de análise de capacidade para o BM_{real}.

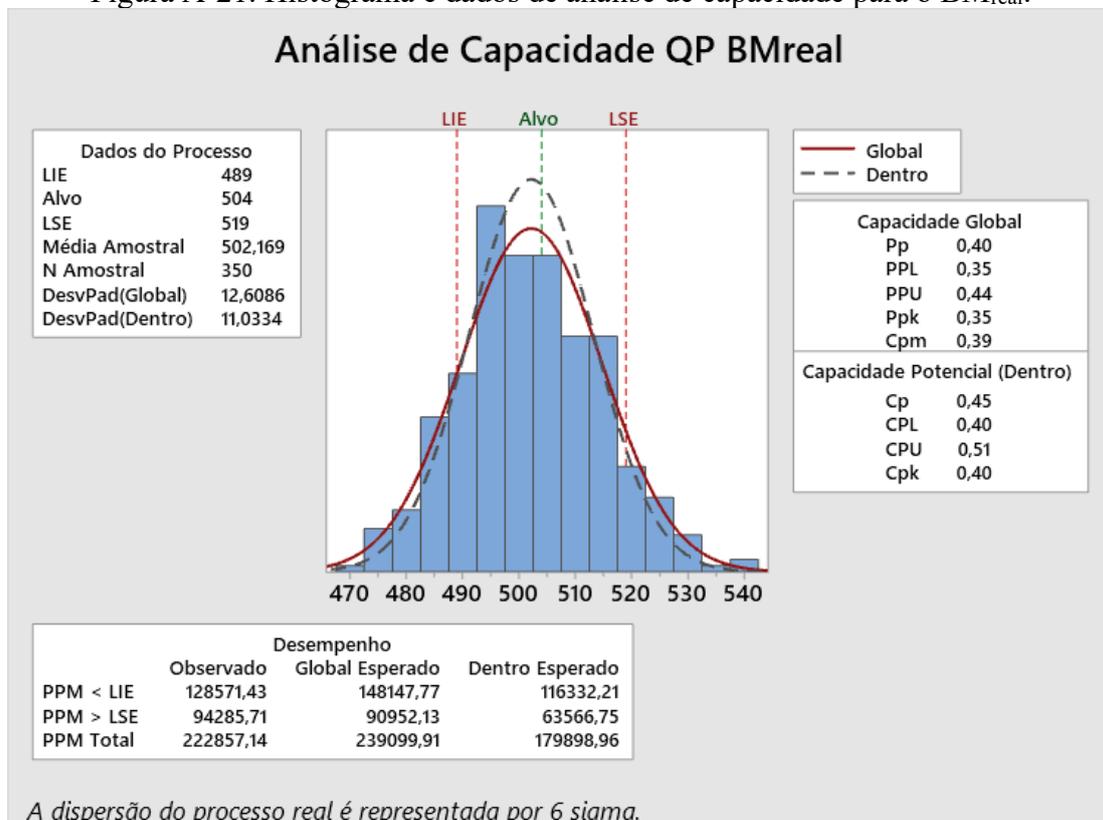


Figura A-22. Histograma e dados de análise de capacidade para o COMB_{ideal}

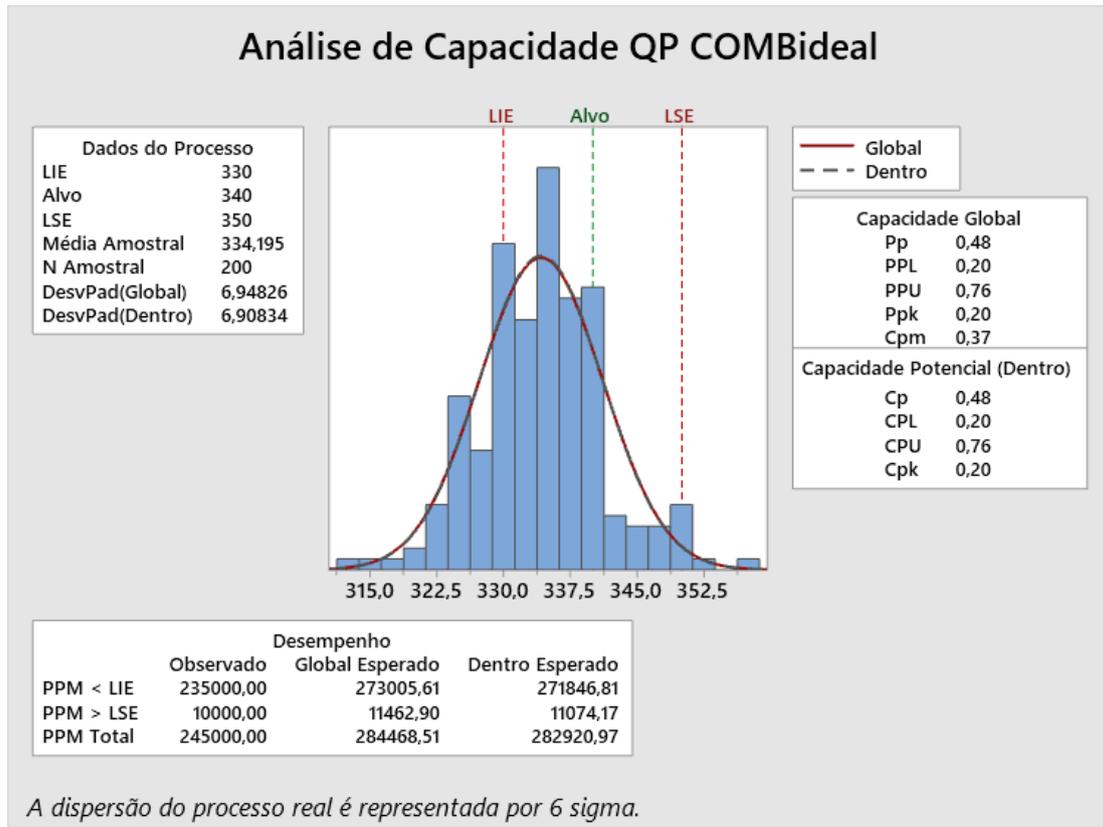


Figura A-23. Histograma e dados de análise de capacidade para o COMB_{real}

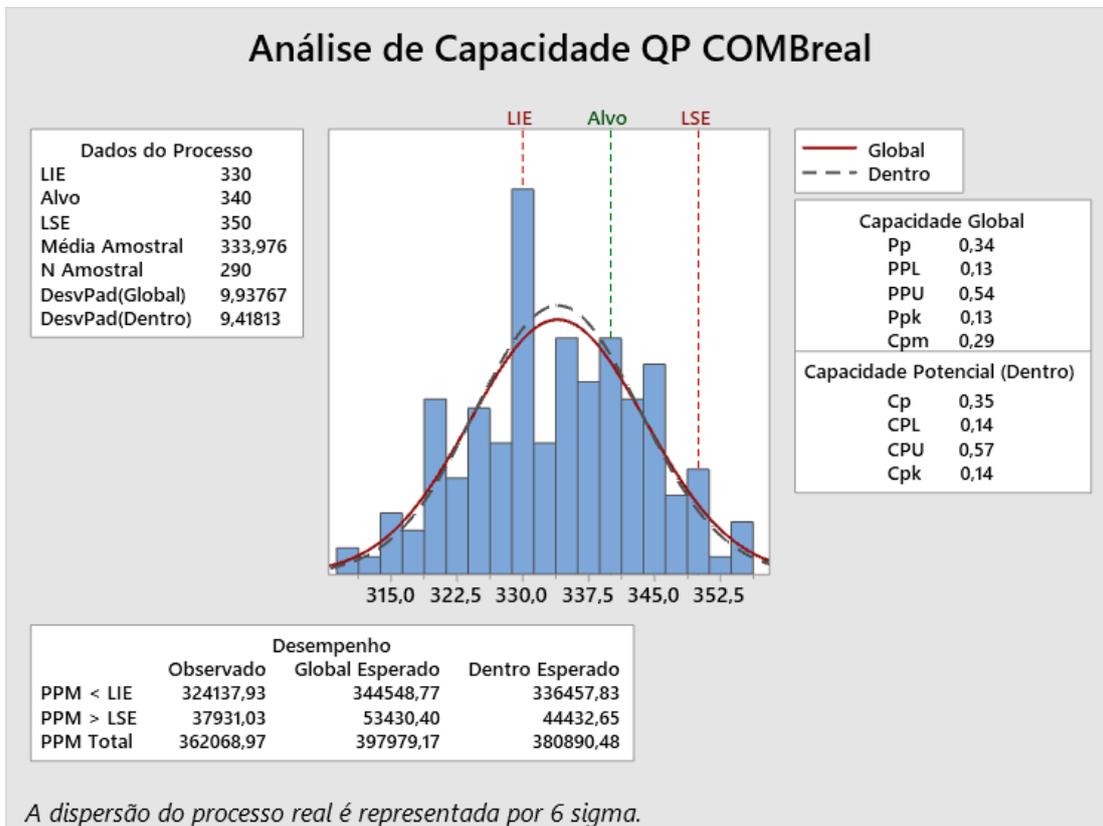


Figura A-24. Histograma e dados de análise de capacidade para o CIG_{ideal}

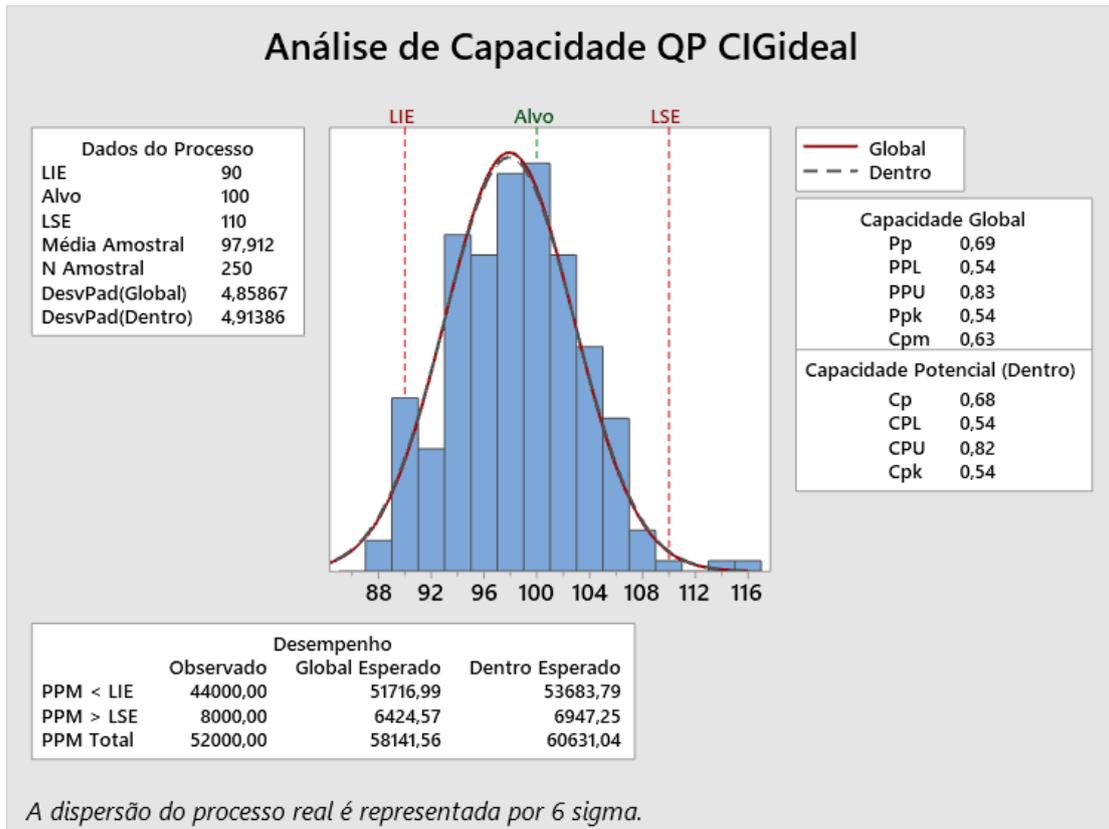


Figura A-25. Histograma e dados de análise de capacidade para o CIG_{real}

