



CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE LINS PROF. ANTÔNIO SEABRA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO DA QUALIDADE

DAVID COSTA DA SILVA

**ANÁLISE ESTATÍSTICA DE VARIÁVEIS CRÍTICAS NO PROCESSO
DE EXTRUSÃO DE FIOS: APLICAÇÃO DE CURVAS DE GAUSS,
VEROSSIMILHANÇA E CARTAS DE CONTROLE**

LINS/SP

2º SEMESTRE/2025

Assinado com Assinatura Eletrônica (Lei 14.063/2020 | Regulamento 910/2014/EC)
Hash SHA256 do original: ab2f33b7641dbee9e2fe826a78643eb9f59e96ed5540e5be2471e4b64cbfea02
Link de validação: <https://valida.ae/75a7114175209582ef545bbac197e297fd7598a90c6fcb5d?sv>



Validador



CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE LINS PROF. ANTÔNIO SEABRA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO DA QUALIDADE

DAVID COSTA DA SILVA

**ANÁLISE ESTATÍSTICA DE VARIÁVEIS CRÍTICAS NO PROCESSO
DE EXTRUSÃO DE FIOS: APLICAÇÃO DE CURVAS DE GAUSS,
VEROSSIMILHANÇA E CARTAS DE CONTROLE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Tecnologia de Lins Prof. Antônio
Seabra, para obtenção do título de Tecnólogo em
Gestão da Qualidade

Orientador: PROF. DR. ROBERTO OUTA

LINS/SP
2º SEMESTRE/2025

Assinado com Assinatura Eletrônica (Lei 14.063/2020) | Regulamento 910/2014/EC)
Hash SHA256 do original: ab2f33b7641dbea9e2fe826a78643eb9f59e96ed5540e5be2471e4b64cbfea02
Link de validação: <https://valida.ae/75a7114175209582ef545bbac197e297fd7598a90c6fcb5d?sv>



Validador




DAVID COSTA DA SILVA


ANÁLISE ESTATÍSTICA DE VARIÁVEIS CRÍTICAS NO PROCESSO DE EXTRUSÃO DE FIOS: APLICAÇÃO DE CURVAS DE GAUSS, VEROSSIMILHANÇA E CARTAS DE CONTROLE

Trabalho de conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Tecnologia de Lins como parte dos requisitos para obtenção do título de Tecnólogo em Gestão da Qualidade, sob orientação do prof. Dr. Roberto Outa

Data de Aprovação: ____/____/____


Roberto Outa
Data 23/12/2025 07:36
#f22c7464df9611f0800e42010a2b601f

Dr. Roberto Outa


Reinaldo De Oliveira Nocchi
Data 22/12/2025 21:47
#f234f9aedf9611f0800e42010a2b601f

Me. Reinaldo, de Oliveira Nocchi


Sandro da Silva Pinto
Data 22/12/2025 21:33
#1f69555df9611f0800e42010a2b601f

Me. Sandro, da Silva Pinto





Silva, David Costa da

S586a Análise estatística de variáveis críticas no processo de extrusão de fios: aplicação de curvas de gauss, verossimilhança e cartas de controle / David Costa da Silva. — Lins, 2025.

18f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão da Qualidade) — Faculdade de Tecnologia de Lins Professor Antonio Seabra: Lins, 2025.

Orientador(a): Dr. Roberto Outa

1. extrusão de fios. 2. controle estatístico. 3. curvas de gauss. 4. verossimilhança. 5. confiabilidade do processo. I. Outa, Roberto. II. Faculdade de Tecnologia de Lins Professor Antonio Seabra. III. Título.

CDD 658.562

Gerada automaticamente pelo módulo web de ficha catalográfica da FATEC Lins
mediante dados fornecidos pelo(a) autor(a).





SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
1. INTRODUÇÃO	6
1.1 JUSTIFICATIVA	6
1.2 OBJETIVO DO TRABALHO	7
1.3 CAMPO DE APLICAÇÃO	7
2. REVISÃO TEÓRICA	7
2.1 FUNDAMENTOS DE PRODUÇÃO E QUALIDADE EM PROCESSOS INDUSTRIAIS	7
2.1.1 <i>Conceito de Produção Industrial</i>	7
2.1.2 <i>Qualidade em Processos de Manufatura</i>	7
2.1.3 <i>Fundamentos do Controle de Qualidade</i>	7
2.1.4 <i>Integração entre Qualidade, Produção e Desempenho Estatístico</i>	7
2.2 PROCESSO DE EXTRUSÃO DE FIOS	8
2.2.1 <i>Princípios do processo de extrusão</i>	8
2.2.2 <i>Parâmetros Operacionais e de Processo</i>	8
2.2.3 <i>Propriedades Físicas e Mecânicas dos Fios Extrusados</i>	8
2.3 ESTATÍSTICA APLICADA AO CONTROLE DE PROCESSOS	8
2.3.1 <i>Distribuição Normal (Curva de Gauss)</i>	8
2.3.2 <i>Conceito de Verossimilhança (Likelihood)</i>	8
2.3.3 <i>Cartas de Controle da Média</i>	8
2.3.4 <i>Confiabilidade Estatística e Variabilidade Amostral</i>	8
2.4 APLICAÇÕES DAS FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS NA ENGENHARIA DE PROCESSOS	8
2.4.1 <i>Estudos de Caso na Literatura Técnica</i>	8
2.4.2 <i>Limitações e Vantagens das Ferramentas Estatísticas no Controle de Qualidade</i>	9
3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	9
4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	17
5. CONCLUSÃO	17
6. REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA	17

ANÁLISE ESTATÍSTICA DE VARIÁVEIS CRÍTICAS NO PROCESSO DE EXTRUSÃO DE FIOS: APLICAÇÃO DE CURVAS DE GAUSS, VEROSSIMILHANÇA E CARTAS DE CONTROLE

David Costa da Silva¹
Prof. Dr. Roberto Outa²

¹ Acadêmicos do Curso de Gestão da Faculdade de Tecnologia de Lins Prof. Antonio Sebrae – Fatec – SP, Brasil.

² Docente do Curso de Gestão da Qualidade da Faculdade de Tecnologia De Lins Prof. Antonio Seabra – Fatec, Lins – SP, Brasil

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento estatístico das variáveis gramatura, resistência, alongamento, tenacidade e largura no processo de extrusão de fios, por meio da aplicação integrada de curvas de Gauss, verossimilhança e cartas de controle da média. Segundo Montgomery (2009, p. 115), “as cartas de controle são ferramentas fundamentais para monitorar a variação de processos ao longo do tempo e identificar causas especiais de variação”. Trata-se de uma pesquisa experimental e quantitativa, voltada para aplicação prática no monitoramento e melhoria de processos industriais. A abordagem adotada permite identificar padrões, avaliar a estabilidade do processo e quantificar a confiabilidade estatística das medições. Ogedengbe et al. (2016) destacam que o controle estatístico aplicado em indústrias de fios permite reduzir refugos e melhorar a estabilidade operacional. Os resultados indicaram que gramatura, resistência, alongamento e tenacidade apresentaram distribuição compatível com o modelo normal, baixa variabilidade e comportamento estável, caracterizando um processo sob controle estatístico. De acordo com Saldanha et al. (2015, p. 38), “o processo investigado não apresenta um comportamento estatístico satisfatório, determinando ações de melhoria para a empresa implantar”, o que reforça a importância da análise estatística contínua. Em contraste, a variável largura revelou maior dispersão, menor aderência estatística e recorrentes desvios fora dos limites de controle, configurando instabilidade operacional. Para Fernandes e Sampaio (2014, p. 32), “o processo de isolamento de cabos elétricos de média e alta tensão é constituído por vários fatores que interferem com o controle do processo”, evidenciando como parâmetros críticos podem comprometer a uniformidade dimensional. A aplicação combinada das ferramentas estatísticas demonstrou ser eficaz para caracterização, monitoramento e diagnóstico do processo produtivo. Segundo Werkema (2002, p. 5), a metodologia Six Sigma é considerada “a metodologia da qualidade do século 21”, o que demonstra a relevância de ferramentas quantitativas na gestão da qualidade. Este estudo contribui para o avanço das metodologias de análise aplicadas à engenharia de processos e reforça a importância do controle estatístico na gestão da qualidade em sistemas industriais contínuos.

Palavras-chave: extrusão de fios; controle estatístico; curvas de gauss; verossimilhança; confiabilidade do processo.

ABSTRACT

This work aims to evaluate the statistical behavior of the variables grammage, strength, elongation, tenacity, and width in the extrusion process of yarns, through the integrated application of Gaussian curves, likelihood, and mean control charts. According to Montgomery (2009, p. 115), “control charts are fundamental tools for monitoring process variation over time and identifying special causes of variation.” This is an experimental and quantitative research, focused on practical application in the monitoring and improvement of industrial processes. The adopted approach allows the identification of patterns, assessment of process stability, and quantification of the statistical reliability of measurements. Ogedengbe et al. (2016) highlight that statistical control applied in yarn industries helps reduce waste and improve operational stability. The results indicated that grammage, strength, elongation, and tenacity presented distributions compatible with the normal model, low variability, and stable behavior, characterizing a process under statistical control. According to Saldanha et al. (2015, p. 38), “the investigated process does not present satisfactory statistical behavior, determining improvement actions for the company to implement,” which reinforces the importance of continuous statistical analysis. In contrast, the width variable revealed greater dispersion, lower statistical adherence, and recurrent deviations beyond control limits, configuring operational instability. For Fernandes and Sampaio (2014, p. 32), “the process of insulating medium- and high-voltage electrical cables consists of several factors that interfere with process control,” showing how critical parameters can compromise dimensional uniformity. The combined application of statistical tools proved effective for characterization, monitoring, and diagnosis of the production process. According to Werkema (2002, p. 5), the Six Sigma methodology is considered “the quality methodology of the 21st century,” which demonstrates the relevance of quantitative tools in quality management. This study contributes to the advancement of analysis methodologies applied to process engineering and reinforces the importance of statistical control in quality management of continuous industrial systems.

Keywords: yarn extrusion; statistical control; Gaussian curves; likelihood; process reliability.

1. INTRODUÇÃO

O controle estatístico de processos é essencial na extrusão de fios, pois pequenas variações podem comprometer propriedades como gramatura, resistência, alongamento, tenacidade e largura. O uso de ferramentas estatísticas, como Curva de Gauss, análise de verossimilhança e Cartas de Controle, permite identificar desvios, avaliar a estabilidade e assegurar conformidade. Além de garantir qualidade, esse monitoramento reduz refugos, otimiza custos e aumenta a eficiência produtiva, fortalecendo a competitividade e a sustentabilidade industrial. Este trabalho busca analisar estatisticamente variáveis críticas da extrusão de fios, contribuindo para o aprimoramento do controle de qualidade e para decisões técnicas mais assertivas.

1.1 JUSTIFICATIVA

O processo de extrusão de fios exige controle rigoroso, pois pequenas variações comprometem a qualidade final. Nesse contexto, o uso de ferramentas estatísticas é essencial para monitorar variáveis, detectar desvios e garantir maior confiabilidade e eficiência industrial, sustentando práticas de melhoria contínua.

1.2 OBJETIVO DO TRABALHO

Avaliar o comportamento estatístico das variáveis do processo de extrusão de fios — gramatura, resistência, alongamento, tenacidade e largura — por meio da aplicação integrada de distribuição normal, verossimilhança e cartas de controle da média, visando identificar padrões, instabilidades e níveis de confiabilidade ao longo da produção.

1.3 CAMPO DE APLICAÇÃO

Este estudo integra-se ao campo da estatística aplicada à engenharia de processos, com aplicação direta na produção, materiais e controle da qualidade em sistemas industriais contínuos, como a extrusão. Além disso, contribui para a análise de dados industriais e para a modelagem estatística de sistemas físicos com múltiplas variáveis.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1 FUNDAMENTOS DE PRODUÇÃO E QUALIDADE EM PROCESSOS INDUSTRIAIS

2.1.1 Conceito de Produção Industrial

A produção industrial transforma matérias-primas em produtos acabados ou semielaborados, integrando recursos tecnológicos, humanos e de gestão. O objetivo é atender ao mercado com eficiência, equilibrando custos, prazos e qualidade. Envolve planejamento, execução e controle, buscando padronização e repetibilidade. Segundo Canevarolo (2006, p. 15), “a produção eficiente depende diretamente da integração entre materiais, processos e controle da qualidade”.

2.1.2 Qualidade em Processos de Manufatura

A qualidade abrange todas as etapas da cadeia produtiva, relacionando-se à conformidade técnica, confiabilidade e satisfação do cliente. Implica reduzir falhas, retrabalhos e desperdícios, atuando de forma preventiva. Conforme Canevarolo (2006, p. 22), “o controle de variáveis é o que torna possível transformar a qualidade em um atributo mensurável e não apenas subjetivo”.

2.1.3 Fundamentos do Controle de Qualidade

O controle de qualidade utiliza técnicas para avaliar variáveis do processo, identificar desvios e prevenir não conformidades. Destacam-se a padronização, ferramentas estatísticas e coleta sistemática de dados. De acordo com Barbeta (2002, p. 15), “a estatística pode estar presente em diversas etapas de uma pesquisa, desde o planejamento até a interpretação dos resultados”.

2.1.4 Integração entre Qualidade, Produção e Desempenho Estatístico

A integração entre qualidade e produção fortalece o desempenho industrial. O uso de ferramentas estatísticas permite monitorar variabilidade e apoiar decisões baseadas em dados. Assim, qualidade, produção e estatística formam um ciclo interdependente que garante competitividade (Canevarolo, 2006, p. 29).

2.2 PROCESSO DE EXTRUSÃO DE FIOS

2.2.1 Princípios do processo de extrusão

A extrusão conforma materiais continuamente ao forçá-los por uma matriz. No caso de fios, polímeros plastificados por calor e pressão tornam-se maleáveis e moldáveis. O processo garante produtividade, uniformidade e repetibilidade. Canevarolo (2006, p. 101) afirma que “a extrusão é um dos processos mais versáteis para a produção de materiais plásticos”.

2.2.2 Parâmetros Operacionais e de Processo

O desempenho depende do controle de variáveis como temperatura, pressão, rotação do fuso e resfriamento. Pequenas variações comprometem propriedades físicas e mecânicas. A viscosidade do polímero, homogeneidade da fusão e design da matriz também influenciam. A gestão adequada reduz desperdícios (Canevarolo, 2003, p. 88).

2.2.3 Propriedades Físicas e Mecânicas dos Fios Extrusados

Os fios devem apresentar diâmetro uniforme, ausência de defeitos e homogeneidade estrutural. Nas propriedades mecânicas, destacam-se resistência à tração, alongamento e durabilidade. O controle estatístico assegura conformidade (Canevarolo, 2006, p. 134).

2.3 ESTATÍSTICA APLICADA AO CONTROLE DE PROCESSOS

2.3.1 Distribuição Normal (Curva de Gauss)

A distribuição normal é simétrica em torno da média, concentrando valores próximos ao centro. Muitas variáveis industriais seguem esse padrão. Segundo Barbetta (2002, p. 17), “o ato de generalizar resultados da parte (amostra) para o todo (população) é conhecido como inferência estatística”.

2.3.2 Conceito de Verossimilhança (Likelihood)

A verossimilhança mede a plausibilidade de parâmetros explicarem dados observados. Diferente da probabilidade clássica, avalia a adequação do modelo. Em extrusão, ajusta modelos estatísticos aos parâmetros críticos (Barbetta, 2002, p. 27).

2.3.3 Cartas de Controle da Média

Ferramentas gráficas que monitoram variação ao longo do tempo. Pontos dentro dos limites indicam estabilidade; pontos fora ou padrões sistemáticos revelam causas especiais (Barbetta, 2002, p. 196).

2.3.4 Confiabilidade Estatística e Variabilidade Amostral

A confiabilidade refere-se à consistência dos resultados; a variabilidade, às diferenças naturais entre amostras. A análise conjunta distingue causas comuns de causas especiais. No controle da extrusão, é essencial para uniformidade (Barbetta, 2002, p. 178).

2.4 APLICAÇÕES DAS FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS NA ENGENHARIA DE PROCESSOS

2.4.1 Estudos de Caso na Literatura Técnica

A literatura mostra que ferramentas estatísticas identificam variabilidade, aumentam confiabilidade e otimizam parâmetros. Em extrusão, cartas de controle e

análise da distribuição normal reduzem não conformidades e aumentam eficiência (Canevarolo, 2006, p. 177).

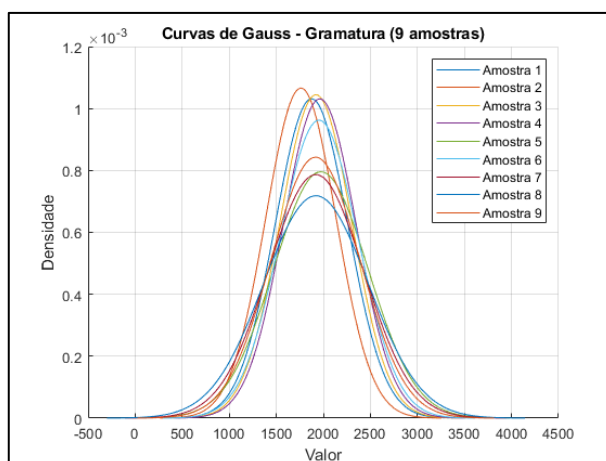
2.4.2 Limitações e Vantagens das Ferramentas Estatísticas no Controle de Qualidade

As ferramentas estatísticas identificam desvios sutis, apoiam decisões e sustentam melhoria contínua. Contudo, exigem dados representativos e profissionais capacitados. Apesar das limitações, são indispensáveis em processos complexos como a extrusão (Canevarolo, 2006, p. 160).

3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Os dados foram coletados em processos industriais de extrusão de fios, abrangendo gramatura, resistência, alongamento, tenacidade e largura. A base foi organizada em matrizes de 9×4000 dimensões. Aplicaram-se curvas normais, verossimilhança e cartas de controle da média (22 amostras, níveis de confiança de 95%, 90% e 85%). Essa abordagem permitiu identificar padrões, anomalias e variações sistemáticas, fornecendo base sólida para decisões técnicas.

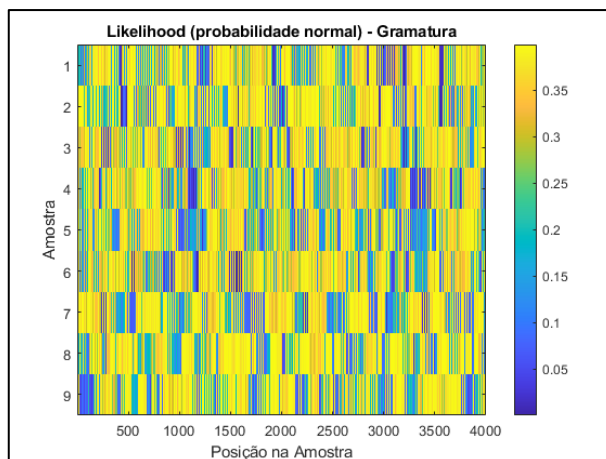
Figura 1 – Curva de Gauss da Gramatura



A Figura 1 mostra as curvas de Gauss da gramatura, com nove amostras do processo de extrusão. As distribuições apresentaram simetria e aderência ao modelo normal, indicando estabilidade e variação controlada. As médias refletiram ajustes operacionais ou mudanças de lote, enquanto os desvios padrão permaneceram estáveis, confirmando uniformidade.

A análise estendida às variáveis resistência, alongamento, tenacidade e largura revelou comportamento semelhante, reforçando a aderência ao modelo gaussiano e a consistência dos parâmetros. Os resultados demonstram que o processo de extrusão está sob controle estatístico, com variações dentro dos limites e dados adequados para monitoramento e melhoria contínua.

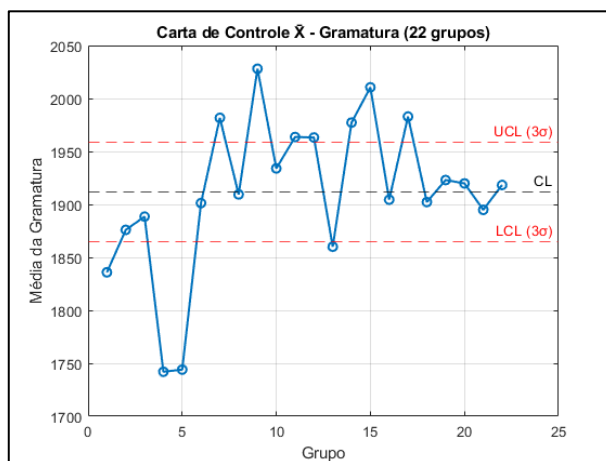
Figura 2 – Verossimilhança (Likelihood) da Gramatura



A Figura 2 mostra a análise de verossimilhança da gramatura, com faixas de cor indicando a compatibilidade dos valores com o modelo normal. As regiões amarelas representam alta verossimilhança, próximas à média, enquanto as azuis indicam baixa verossimilhança, associada a valores distantes. A predominância das zonas amarelas confirma a estabilidade do processo, com dados concentrados em faixas de alta probabilidade e variações periféricas dentro de limites aceitáveis.

Essa representação facilita a identificação de padrões e desvios, oferecendo leitura direta da conformidade dos dados e suporte ao monitoramento da qualidade e à tomada de decisão técnica.

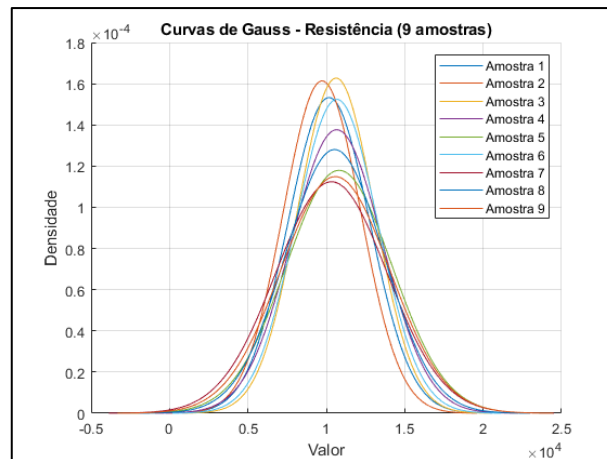
Figura 3 – Carta CEP da Gramatura



A Figura 3 apresenta a Carta de Controle da Média da gramatura, elaborada com 22 grupos amostrais. O gráfico monitora o comportamento da média em relação aos limites de controle do processo. Alguns pontos ultrapassaram os limites, indicando causas especiais de variação, mas a partir do Grupo 17 houve retorno à estabilidade, sugerindo correções ou normalização dos parâmetros.

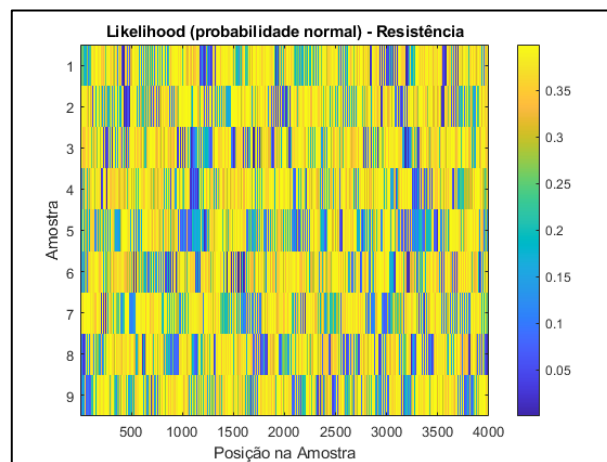
Essa análise confirma a relevância da carta de controle como ferramenta de monitoramento contínuo, capaz de identificar instabilidades e avaliar a eficácia das ações corretivas.

Figura 4 - Curva de Gauss da Resistencia



A Figura 4 apresenta as curvas de distribuição normal da resistência, obtidas em nove amostras do processo de extrusão. As distribuições mostraram simetria e aderência ao modelo gaussiano, com valores concentrados em torno da média, desvios padrão homogêneos e estabilidade do processo.

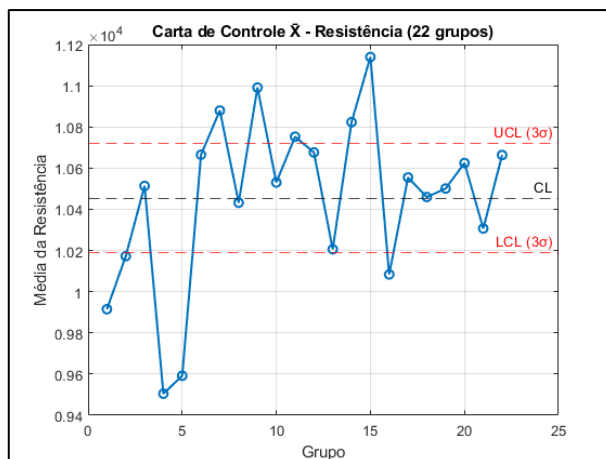
A sobreposição parcial das curvas confirmou compatibilidade estatística entre as amostras, sem instabilidades significativas. Esse resultado reforça que o processo opera sob controle estatístico, fornecendo base sólida para validar a qualidade da resistência dos fios e apoiar o monitoramento da produção.

Figura 5 - Verossimilhança (*Likelihood*) da Resistencia

A Figura 5 mostra a análise de verossimilhança da resistência, com faixas de cor indicando a compatibilidade dos valores com o modelo normal. As regiões amarelas representam alta verossimilhança, próximas à média, enquanto as azuis indicam baixa verossimilhança em pontos periféricos.

A predominância das zonas amarelas confirma que a maior parte dos dados está dentro dos parâmetros esperados, refletindo comportamento regular e previsível. As áreas azuis surgem de forma pontual, caracterizando variações naturais aceitáveis. Assim, a análise confirma a consistência dos dados e demonstra que o processo opera de forma estável e dentro dos padrões de qualidade.

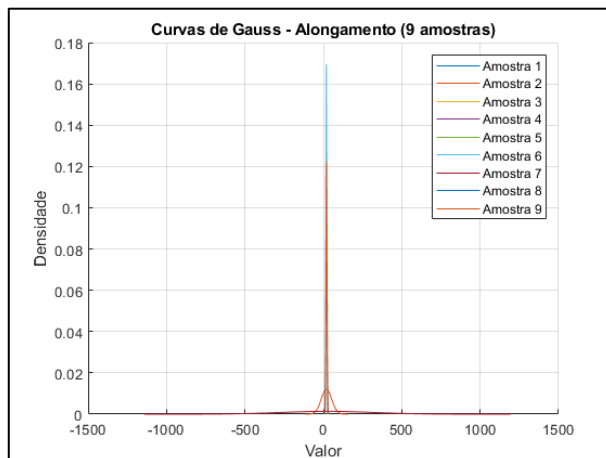
Figura 6 - Carta CEP da Resistencia



A Figura 6 apresenta a Carta de Controle da Média da resistência, construída com 22 grupos amostrais. O gráfico mostra alguns pontos fora dos limites, indicando causas especiais de variação, mas a partir do Grupo 17 observa-se retorno à estabilidade, sugerindo eficácia das ações corretivas.

A análise confirma que, apesar de instabilidades iniciais, o processo demonstra capacidade de recuperação, reforçando a importância das cartas de controle como ferramenta de monitoramento contínuo e apoio à melhoria da qualidade.

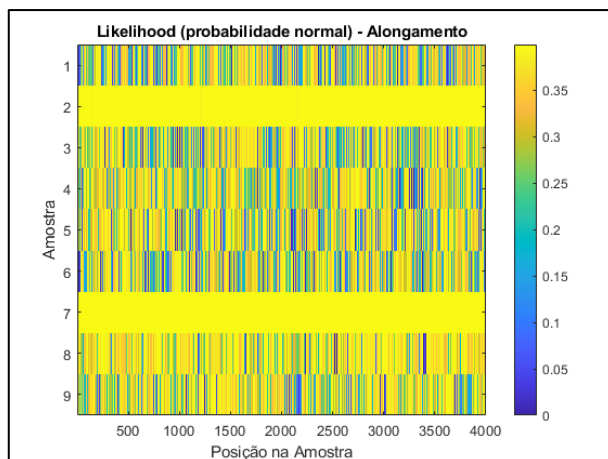
Figura 7 - Curva de Gauss do Alongamento



A Figura 7 apresenta as curvas de distribuição normal do alongamento, obtidas em nove amostras da extrusão. As distribuições mostraram simetria e aderência ao modelo gaussiano, indicando variação controlada e estabilidade do processo. As médias refletiram diferenças de lote ou ajustes operacionais, enquanto os desvios padrão permaneceram homogêneos, confirmando consistência na dispersão.

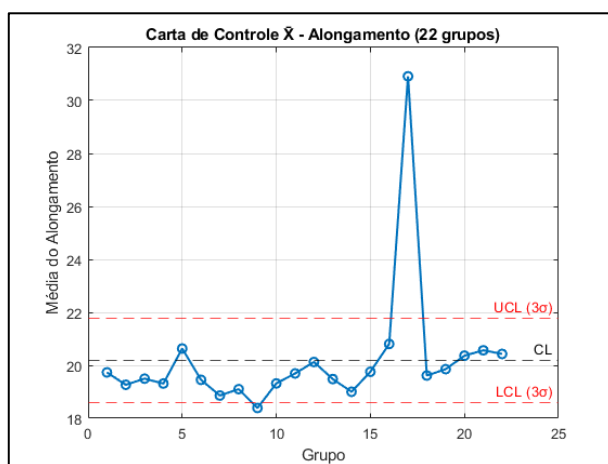
A sobreposição parcial das curvas evidenciou compatibilidade estatística entre as amostras, mesmo com centros distintos, demonstrando que o processo opera de forma repetitiva e estável, com baixa ocorrência de distorções e desempenho dentro das especificações.



Figura 8 - Verossimilhança (*Likelihood*) do Alongamento

A Figura 8 apresenta a análise de verossimilhança do alongamento, com faixas de cor indicando a aderência ao modelo normal. As regiões amarelas, próximas à média, predominam e confirmam estabilidade e previsibilidade, enquanto as azuis aparecem pontualmente, representando variações naturais aceitáveis. Assim, a análise confirma a consistência da variável e mostra que o processo opera de forma controlada e aderente ao modelo estatístico.

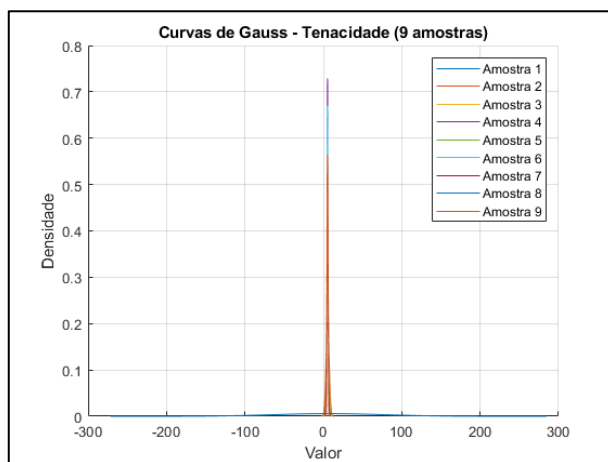
Figura 9 - Carta CEP da Alongamento



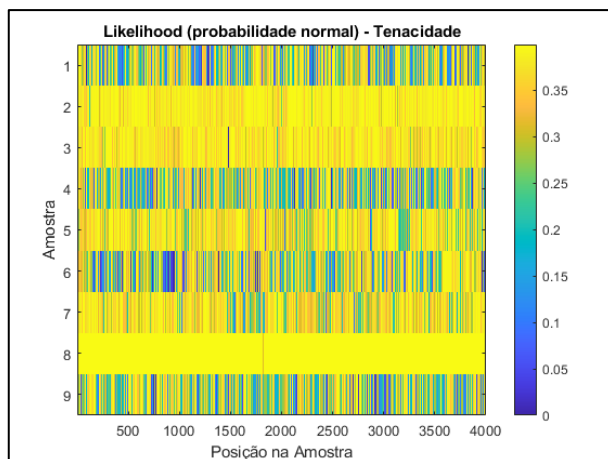
A Figura 9 apresenta a Carta de Controle da Média do alongamento, construída com 22 grupos amostrais. Apenas o Grupo 17 ultrapassa o limite superior, indicando uma causa especial de variação. Os demais grupos permanecem dentro dos limites, com oscilações regulares em torno da média central.

Assim, o processo pode ser considerado estatisticamente sob controle, exceto pela ocorrência isolada no Grupo 17, que merece investigação específica.

Figura 10 - Curva de Gauss da Tenacidade



A Figura 10 apresenta as curvas de distribuição normal da tenacidade, obtidas em nove amostras da extrusão, que demonstraram simetria, aderência ao modelo gaussiano e desvios padrão homogêneos, indicando estabilidade e uniformidade do processo. A sobreposição parcial das curvas confirmou compatibilidade estatística entre as amostras, evidenciando que a tenacidade mantém comportamento estável e confiável, servindo como base para o monitoramento contínuo da qualidade dos fios.

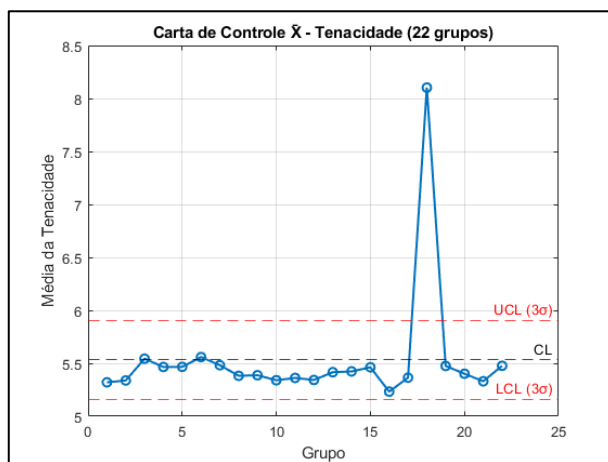
Figura 11 - Verossimilhança (*Likelihood*) da Tenacidade

A Figura 11 apresenta a análise de verossimilhança da tenacidade, com faixas de cor indicando a compatibilidade dos valores com o modelo normal. As regiões amarelas, próximas ao centro da distribuição, predominam e confirmam estabilidade e previsibilidade, enquanto as azuis surgem pontualmente, representando variações naturais aceitáveis.

Assim, conclui-se que a tenacidade está compatível com o comportamento esperado e que o processo de extrusão opera de forma controlada dentro dos padrões estatísticos.



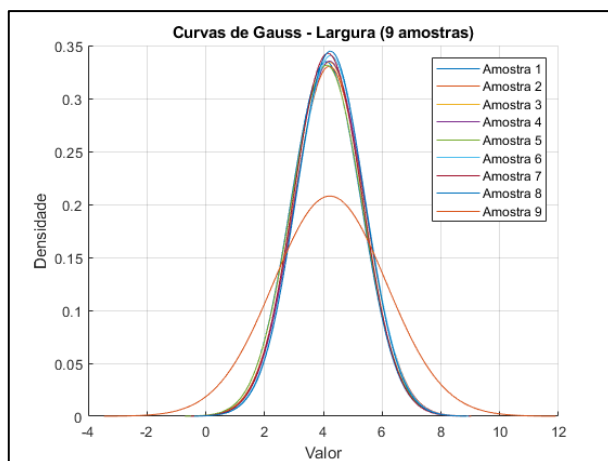
Figura 12 - Carta CEP da Tenacidade



A Figura 12 apresenta a Carta de Controle da Média da tenacidade, construída com 22 grupos amostrais. Apenas o Grupo 18 ultrapassa o limite superior, indicando uma causa especial de variação, possivelmente ligada a desvios operacionais ou de matéria-prima.

Os demais grupos permanecem dentro dos limites, com oscilações regulares em torno da média, confirmando estabilidade estatística. A ocorrência isolada reforça a importância do uso contínuo das cartas CEP e a coerência com as curvas de Gauss e a verossimilhança, validando a consistência da variável tenacidade.

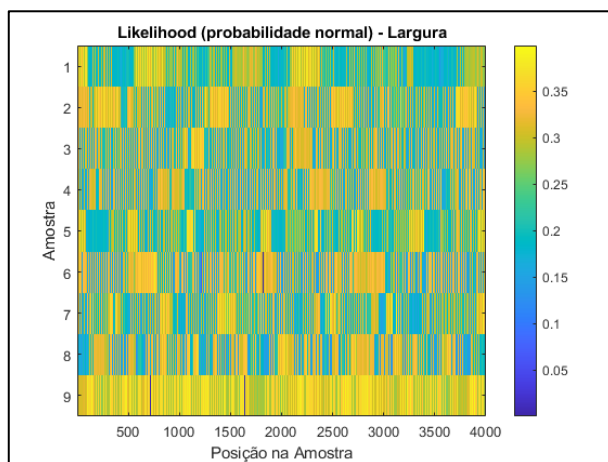
Figura 13 - Curva de Gauss da Largura



A Figura 13 apresenta as curvas de distribuição normal da largura, obtidas em nove amostras da extrusão. As distribuições mostraram simetria, médias próximas e desvios padrão semelhantes, indicando uniformidade e estabilidade no controle dimensional.

A sobreposição parcial das curvas confirmou compatibilidade estatística entre os dados, sem variações abruptas, evidenciando que o processo mantém comportamento estável e reproduzível, assegurando a qualidade dimensional dos fios.

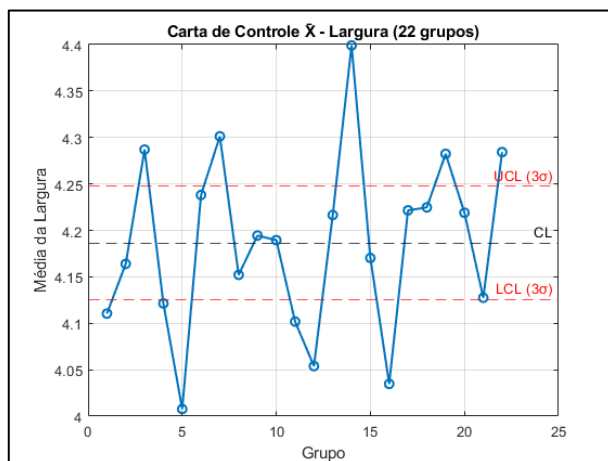


Figura 14 - Verossimilhança (*Likelihood*) da Largura

A Figura 14 apresenta a análise de verossimilhança da largura, com faixas de cor indicando a compatibilidade dos valores com o modelo normal. As regiões amarelas e verdes predominam, confirmando que a maior parte dos dados está dentro de padrões aceitáveis e refletindo um processo controlado, ainda que com dispersão um pouco mais ampla.

Essa configuração não compromete a estabilidade, mas reforça a importância do monitoramento contínuo. A análise confirma que a largura opera sob controle estatístico, com boa aderência ao modelo normal e suporte eficaz ao acompanhamento da qualidade.

Figura 15 - Carta CEP da Largura



A Figura 15 mostra a Carta de Controle da Média da largura, na qual diversos pontos fora dos limites evidenciam instabilidade significativa e perda de previsibilidade. O resultado confirma que o processo está fora de controle estatístico, exigindo investigação técnica para identificar causas como variações de tensão, falhas de calibração, instabilidade térmica ou desgaste de componentes.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A comparação dos métodos estatísticos mostra estabilidade em gramatura, resistência, alongamento e tenacidade, enquanto a largura apresentou maior dispersão e pontos fora de controle. De forma integrada, conclui-se que o processo está sob controle para a maioria das variáveis, exceto a largura, que requer investigação técnica, reforçando a importância do uso conjunto das ferramentas estatísticas para garantir confiabilidade e suporte à decisão.

Tabela 1 - Avaliação da Confiabilidade Estatística das Variáveis do Processo de Extrusão

Variável	Aderência Gauss	Likelihood	Controle CEP	Confiabilidade
Gramatura	Alta	Alta	Média-Alta	Boa
Resistência	Alta	Alta	Média	Boa
Alongamento	Alta	Alta	Média	Boa
Tenacidade	Alta	Alta	Alta	Muito boa
Largura	Média	Média	Baixa	Baixa

A análise estatística mostrou que gramatura, resistência, alongamento e tenacidade estão sob controle, com estabilidade confirmada pelas cartas CEP, sendo a tenacidade a mais consistente. Em contraste, a largura apresentou maior variabilidade e pontos fora de controle, indicando instabilidade. De forma integrada, o processo é confiável para a maioria das variáveis, mas requer ações corretivas na largura para garantir maior estabilidade dimensional.

5. CONCLUSÃO

Gramatura, resistência, alongamento e tenacidade mantiveram estabilidade sob controle estatístico, enquanto a largura apresentou instabilidade persistente. O uso integrado de Curva de Gauss, análise de verossimilhança e Cartas de Controle mostrou-se eficaz para monitorar o processo, identificar padrões e antecipar desvios. A consistência da maioria das variáveis confirma confiabilidade operacional, mas a largura requer investigação e ações de melhoria contínua. Recomenda-se avançar em práticas como automação do controle estatístico, integração com metodologias de Six Sigma e sistemas inteligentes de monitoramento em tempo real, visando reduzir refugos, otimizar custos e aumentar a eficiência produtiva no ambiente industrial.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA

- BARBETTA, Pedro Alberto. **Estatística aplicada às ciências sociais**. 5. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2002.
- CANEVAROLO JR., Sebastião V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2006.
- FERNANDES, A.; SAMPAIO, R. **Qualidade em processos de extrusão de cabos elétricos**. São Paulo: ABNT, 2014.
- MONTGOMERY, D. C. **Introduction to Statistical Quality Control**. 6. ed. New York: Wiley, 2009.

OGEDENGBE, T. I.; APALOWO, R. K.; AKINDE, A. B. **Application of Statistical Quality Control for Investigating Process Stability and Control in an Electric Wire Industry**. International Journal of Science and Technology, v. 5, n. 3, p. 81-87, 2016.

SALDANHA, M. F. C.; et al. **Controle Estatístico de Processos: estudo aplicado em indústria química**. Revista Produção Online, v. 15, n. 1, p. 25-41, 2015.

WERKEMA, M. C. C. **Seis Sigma: estratégia gerencial para melhoria de processos**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

