



UNICESUMAR - UNIVERSIDADE DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS TECNOLÓGICAS E AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**A IMPORTÂNCIA DO USO ADEQUADO DE APARELHOS DE MEDIÇÃO PARA O
CONTROLE DE QUALIDADE DA PRODUÇÃO DE TUBOS DE POLIETILENO**

DANIEL DOS SANTOS FILHO

MARINGÁ – PR

2024

Daniel dos Santos Filho

**A IMPORTÂNCIA DO USO ADEQUADO DE APARELHOS DE MEDIÇÃO PARA O
CONTROLE DE QUALIDADE DA PRODUÇÃO DE TUBOS DE POLIETILENO**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da UNICESUMAR – Universidade de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Me Claudio Ichiba.

MARINGÁ – PR

2024

FOLHA DE APROVAÇÃO
DANIEL DOS SANTOS FILHO

**A IMPORTÂNCIA DO USO ADEQUADO DE APARELHOS DE MEDIÇÃO PARA O
CONTROLE DE QUALIDADE DA PRODUÇÃO DE TUBOS DE POLIETILENO**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da UNICESUMAR –
Universidade de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Me Claudio Ichiba.

Aprovado em: ____ de _____ de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Nome do professor – (Titulação, nome e Instituição)

Nome do professor - (Titulação, nome e Instituição)

Nome do professor - (Titulação, nome e Instituição)

A IMPORTÂNCIA DO USO ADEQUADO DE APARELHOS DE MEDIÇÃO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA PRODUÇÃO DE TUBOS DE POLIETILENO

Daniel dos Santos Filho

RESUMO

Este trabalho aborda a importância da metrologia na produção de tubos de polietileno, com ênfase no impacto da precisão das medições na qualidade dos produtos e na eficiência dos processos industriais. O objetivo da pesquisa foi analisar a relevância da utilização de equipamentos de medição, comparando modelos convencionais e de alta precisão, durante o processo de coleta de dados em tubos de polietileno, para garantir a qualidade e a conformidade com as normas. A metodologia aplicada incluiu medições em ambiente controlado, utilizando diferentes instrumentos de medição, como trena, paquímetro e fitas perimétricas. Foram realizadas medições de amostras de tubos, avaliando parâmetros como diâmetro, espessura e ovalização. Os resultados indicaram que o uso de instrumentos de alta precisão reduz significativamente os erros nas medições, assegurando a conformidade com padrões normativos e a qualidade final dos produtos. Ademais, a pesquisa reforçou que a metrologia não apenas desempenha um papel técnico essencial, mas também contribui para a competitividade das empresas no mercado ao garantir processos mais eficientes e a satisfação dos clientes.

Palavras-chave: Metrologia. Equipamentos. Precisão.

THE IMPORTANCE OF PROPER USE OF MEASURING DEVICES FOR QUALITY CONTROL OF POLYETHYLENE PIPE PRODUCTION

ABSTRACT

This paper addresses the importance of metrology in the production of polyethylene pipes, with emphasis on the impact of measurement accuracy on product quality and the efficiency of industrial processes. The objective of the research was to analyze the relevance of using measuring equipment, comparing conventional and high-precision models, during the data collection process on polyethylene pipes, to ensure quality and compliance with standards. The methodology applied included measurements in a controlled environment, using different measuring instruments, such as tape measures, calipers and perimeter tapes. Measurements were made on pipe samples, evaluating parameters such as diameter, thickness and ovality. The results indicated that the use of high-precision instruments significantly reduces measurement errors, ensuring compliance with regulatory standards and the final quality of products. Furthermore, the research reinforced that metrology not only plays an essential technical role, but also contributes to the competitiveness of companies in the market by ensuring more efficient processes and customer satisfaction.

Keywords: Metrology. Equipment. Precision

1 INTRODUÇÃO

Conforme Silva Neto (2012), a prática da medição é essencial e retrata a história. As civilizações mais antigas já utilizavam unidades simples para quantificar objetos e distâncias. Com o passar dos anos, através do avanço tecnológico a medição se tornou um fator importante em diversas áreas, sendo uma das principais, a indústria. Na fabricação de produtos, a precisão durante a medição é um fator vital que garante a qualidade e conformidade com normas e padrões estabelecidos.

Bastos (2019) destaca que a evolução da instrumentação e dos controles de processos industriais é caracterizada por um aumento considerável no número de medições e parâmetros empregados. Nesse contexto, os instrumentos de medição são essenciais, pois garantem a confiabilidade metrológica dos processos e contribuem para a sustentabilidade dos sistemas de gestão da qualidade.

Quanto à produção de tubos de polietileno, a precisão nas medições é fundamental, pois garante não apenas a qualidade, mas também, em alguns casos, a segurança. Conforme a norma ABNT NBR 15561:2024, esses tubos são utilizados em diversas aplicações, como irrigação, mineração, aterros, esgoto e sistemas de água sob pressão, o que exige que características como espessura, diâmetro e ovalização estejam em conformidade com os padrões estabelecidos. De acordo com Bastos (2019), para que os produtos atendam às exigências do mercado e às normas regulamentares, é imprescindível o uso de equipamentos de medição precisos e calibrados, sendo esses preferíveis a opções mais convencionais, que podem comprometer a qualidade dos resultados.

Conforme mencionado por Bastos (2019), a medição precisa não apenas assegura a qualidade do produto, mas também impacta diretamente na eficiência da produção. Processos que utilizam equipamentos inadequados ou imprecisos podem resultar em desperdícios, retrabalhos e insatisfação do cliente. Portanto, a escolha de instrumentos de medição apropriados é uma das responsabilidades mais críticas da engenharia e da gestão da qualidade.

Assim, este trabalho busca investigar a relevância do uso correto de equipamentos de medição na produção de tubos de polietileno, enfatizando como a precisão nas medições pode afetar tanto a qualidade dos produtos quanto a eficiência dos processos industriais. A análise das tecnologias de medição disponíveis e suas aplicações práticas será fundamental para compreender o impacto dessas escolhas na indústria contemporânea.

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos do estudo são analisar a importância da utilização de equipamentos de medição, comparando os modelos mais convencionais com os modelos adequados e precisos durante o processo da coleta de dados. Para alcançar esse objetivo, os seguintes tópicos foram estabelecidos:

- Analisar os critérios necessários para garantir que a produção de tubos de polietileno atenda aos padrões de controle de qualidade;
- Examinar as metodologias empregadas na medição de dados dimensionais relacionados aos tubos de polietileno;
- Realizar uma comparação entre instrumentos de medição simples e convencionais e aqueles mais adequados e precisos na avaliação do produto.

1.2 JUSTIFICATIVA

A justificativa deste estudo é baseada na compreensão da metodologia no campo da indústria 4.0, que relaciona a alta competição, exige padrões elevados de qualidade na produção. Para Hoffman (2019), o controle de qualidade é crucial para evitar desperdícios, produtos não conformes e a insatisfação do consumidor. A adoção de práticas rigorosas de medição garante não apenas a conformidade dos produtos, mas também potencializa a eficiência das operações e a competitividade das empresas no mercado.

Portanto, com o surgimento de novas tecnologias e métodos de medição, é essencial que os engenheiros se mantenham atualizados a respeito. O conhecimento de novas técnicas de medição avançadas ocasiona melhores resultados nos processos produtivos, afetando diretamente no produto final. Portanto, este estudo destaca a importância de metrologia precisa, no âmbito do controle da qualidade, componente chave na engenharia.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 METROLOGIA

De acordo com Silva Neto (2012), a metrologia é a ciência do estudo das medidas e de suas aplicações. Trata-se, desta forma, do conjunto dos aspectos teóricos quanto práticos que

são fundamentais para garantir a qualidade de produtos e serviços, sendo que a calibração dos instrumentos de medição, analógicos ou digitais, constitui um elemento fundamental para a metrologia.

Ainda segundo Silva Neto (2012), a metrologia também envolve a compreensão dos pesos, medidas e sistemas de unidades adotados por diversas culturas ao longo da história. Por exemplo, os alimentos que consumimos foram provavelmente pesados com precisão, e as peças de um veículo se ajustam corretamente graças a medições exatas. Assim, a maioria dos produtos e serviços que utilizamos diariamente passa por avaliações de conformidade que dependem de diferentes tipos de medições.

Bastos (2019), afirma que a crescente competitividade do mercado exige uma conformidade mais rigorosa nos processos de fabricação, visando a redução das variações nos produtos e garantindo que as especificações sejam atendidas. Silva Neto (2012) enfatiza que a metrologia é uma função primordial em qualquer sistema de controle de qualidade. A definição da qualidade está diretamente relacionada à quantificação das características dos produtos e processos, realizado por meio de:

- Definição de unidades padronizadas, que transforma conceitos abstratos, como comprimento e massa, em grandezas mensuráveis, como metros e quilogramas.
- A calibração de instrumentos conforme essas unidades padronizadas.
- O uso desses instrumentos para medir ou quantificar as dimensões dos produtos ou processos analisados.

Por sua vez, Almacinha (2016) explica que a etimologia da metrologia, originária do grego, refere-se à ciência da medição e suas aplicações. Essa disciplina cobre todos os aspectos teóricos e práticos relacionados à medição, independentemente das incertezas e do campo de aplicação. A metrologia dimensional, especificamente, concentra-se na medição de comprimentos, ângulos e estados de superfície, sendo que.

- **Comprimento:** é a distância entre dois pontos, representando o tamanho físico de um produto.
- **Ângulo:** é a parte de um plano delimitada por duas semirretas, que se encontram em um ponto comum, chamado vértice.
- **Estado de superfície:** refere-se aos desvios, que podem ser repetitivos ou aleatórios, em relação à superfície geométrica, formando a topografia tridimensional.

2.2 SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI)

Conforme indicado pelo INMETRO (2021), a elaboração de um sistema de unidades, como o Sistema Internacional de Unidades (SI), inicia-se com a definição de um conjunto de grandezas físicas, conforme demonstrado na Tabela 1. O processo requer a formulação de equações que estabeleçam as inter-relações entre essas grandezas, conforme Tabela 2. As definições resultantes criam uma base clara para medições e principalmente garante a consistência e a interoperabilidade entre diversas disciplinas e aplicações.

Tabela 1: Unidades de medidas do SI

Grandeza de base		Unidade de base		Os símbolos das grandezas são geralmente letras únicas dos alfabetos latino ou grego, impressos em fonte itálica e são recomendações.
Nome	Símbolo típico	Nome	Símbolo	
tempo	<i>t</i>	segundo	s	Os símbolos das unidades são impressos em fonte (romana) vertical e são obrigatórios, consulte o capítulo 5.
comprimento	<i>l, x, r</i> etc.	metro	m	
massa	<i>m</i>	kilograma	kg	
corrente elétrica	<i>I, i</i>	ampere	A	
temperatura termodinâmica	<i>T</i>	kelvin	K	
quantidade de matéria	<i>n</i>	mol	mol	
intensidade luminosa	<i>I_v</i>	candela	cd	

Fonte: INMETRO, 2021

Tabela 2: Prefixos do SI

FATOR	NOME	SÍMBOLO	FATOR	NOME	SÍMBOLO
10 ¹	deca	Da	10 ⁻¹	deci	D
10 ²	hecto	H	10 ⁻²	centi	C
10 ³	quilo	K	10 ⁻³	mili	M
10 ⁶	mega	M	10 ⁻⁶	micro	μ
10 ⁹	giga	G	10 ⁻⁹	nano	N
10 ¹²	terá	T	10 ⁻¹²	pico	P
10 ¹⁵	peta	P	10 ⁻¹⁵	femto	F
10 ¹⁸	exa	E	10 ⁻¹⁸	atto	A
10 ²¹	zetta	Z	10 ⁻²¹	zepto	Z
10 ²⁴	yotta	Y	10 ⁻²⁴	yocto	Y

Fonte: INMETRO, 2007

2.3 FERRAMENTAS DA METROLOGIA E QUALIDADE

Fernandes, Costa Neto e Silva (2009), ressaltam que a Metrologia Industrial visa essencialmente garantir a produção de qualidade, sendo vital para a competitividade das empresas no mercado. Esse destaque resulta em um aumento do valor agregado e em produtos de maior qualidade disponíveis no mercado nacional.

Esses autores também destacam que os sistemas de controle metrológico oferecem benefícios significativos aos processos produtivos, ajudando a reduzir custos com trabalho e retrabalho, além de impactar diretamente a qualidade dos produtos e serviços. A implementação desses sistemas confere maior credibilidade às empresas, sendo que a calibração e a avaliação das incertezas são fundamentais para assegurar a qualidade metrológica dos instrumentos e padrões utilizados na produção.

Vicente (2017) menciona que os erros de medição podem ser decorrentes de diversos fatores e classifica-os em três categorias:

- **Erro Sistemático:** refere-se à diferença entre a média de um número infinito de medições e o valor verdadeiro sob condições de repetitividade. As causas podem incluir desgaste do sistema, ajustes inadequados e condições ambientais. Esse tipo de erro não é constante, o que dificulta sua previsão.
- **Erro Aleatório:** caracteriza-se pela diferença entre o resultado de uma medição e a média de várias medições repetidas. As variações são imprevisíveis e podem ser causadas por fatores como vibrações e flutuações no ambiente.
- **Erro Aleatório:** não está definido no Sistema Internacional de Medidas e é causado por fatores externos, como leitura incorreta ou manipulação inadequada.

Ainda segundo Fernandes, Costa Neto e Silva (2009), é comum que imperfeições ocorram durante a fabricação de produtos. Portanto, é essencial garantir que essas imperfeições fiquem dentro de limites aceitáveis para não comprometer a funcionalidade do produto final. Os projetistas e as normas definem tolerâncias que representam os limites que as imperfeições não devem ultrapassar, buscando um equilíbrio entre qualidade e custos de produção.

De acordo com Silva Neto (2012), é fundamental que a escolha de um instrumento de medição leve em conta a precisão requerida. Em situações onde tolerâncias são bem mais rigorosas, é essencial considerar a resolução do instrumento, ou seja, a menor variação que ele pode indicar.

Para minimizar erros de medição, é vital considerar os efeitos ambientais sobre os resultados, uma vez que variações de temperatura podem afetar tanto o instrumento quanto a peça em questão. A norma ISO 4427:2019 e a ABNT NBR 15561:2024, aplicáveis a tubos de Polietileno de Alta Densidade, estabelecem que a temperatura padrão para medições deve ser de 23 graus *Celsius*.

Silva Neto (2012) indica que o manuseio do instrumento pode influenciar consideravelmente o resultado das medições. A aplicação de força excessiva pode causar deformações tanto no instrumento quanto na peça, comprometendo a confiabilidade dos resultados obtidos. E ainda, para os pesquisadores Tuginho Filho e Andrello (2009), a medição deve ser realizada com rigor. Durante o processo, é essencial evitar o erro de paralaxe, que ocorre quando a escala de um instrumento analógico é lida de um ângulo inadequado, resultando em imprecisões nas medições.

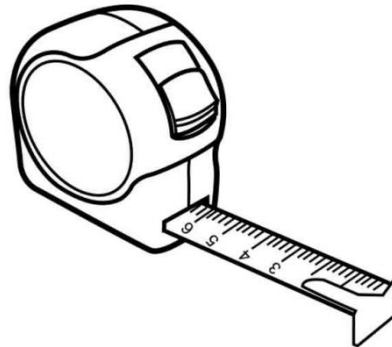
2.4 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

O controle de qualidade na produção de tubos de polietileno, especialmente nas medições dimensionais que não são feitas por máquinas de ensaio, busca verificar diversos aspectos, o que inclui garantir que o diâmetro da tubulação esteja dentro dos limites de tolerância, bem como avaliar a espessura, o comprimento e especificamente para tubos, o nível de ovalização, que indica o grau de deformação oval do produto.

2.4.1 Trena

Conforme mencionado por Silva Neto (2012), a trena é um instrumento de medição feito de aço, tecido ou fibra, que é armazenado em um estojo que facilita seu enrolamento e desenrolamento. Este dispositivo possui duas escalas: uma em milímetros (mm) e outra em polegadas fracionárias. Na escala métrica, a divisão é geralmente de 1 mm, enquanto a escala em polegadas pode ter divisões de até 1/16 de polegada. Como a trena não oferece alta precisão, é fundamental mantê-la o mais reta possível durante a medição e verificar a marca que coincide com o final da peça.

Figura 1 - Desenho de uma trena.

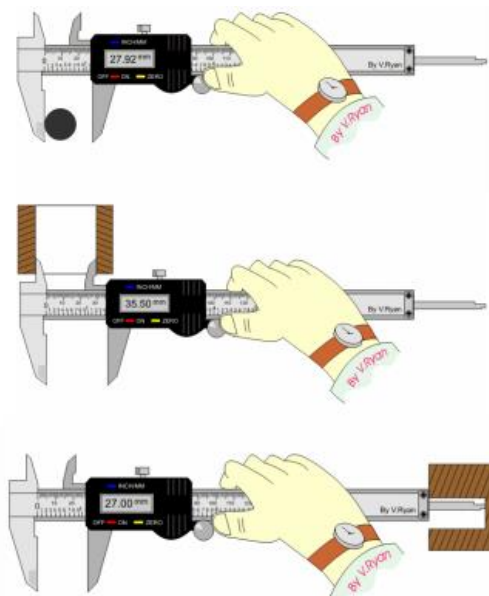


Fonte: Imprimir Desenhos, 2024

2.4.2 Paquímetros

De acordo com Silva Neto (2012), o termo "paquímetro" tem raízes gregas, originando-se de "*paqui*," que se refere a "espessura," e "metro," que significa "medida." Este instrumento é constituído por uma régua graduada com um encosto fixo, sobre a qual um cursor se desliza. O paquímetro é utilizado para medir dimensões lineares internas, externas e a profundidade de uma peça. Embora existam diferentes tipos de paquímetros, o mais comum é o paquímetro universal.

Figura 2 - Maneiras de medir com paquímetro.



Fonte: V. Ryan, 2009

2.4.3 FITA PI TAPE (CIRCÔMETRO)

A IMETRICA (2024), afirma que as fitas *Pi Tape* são instrumentos graduados projetados para medir diretamente o diâmetro de um objeto a partir da medição de sua circunferência. Essas fitas são utilizadas para medir o diâmetro e a circunferência de uma variedade de produtos, como tubos, pneus e rodas. Também conhecidas como circômetros, elas oferecem uma maneira prática e simples de realizar medições, sendo representada na Figura 3.

Figura 3 - Fita Pi tape



Fonte: Catalogo insize, 2024

2.5 POLÍMEROS

Callister (2016) pontua que os polímeros naturais, provenientes de vegetais e animais, são utilizados por longos anos. Alguns mais conhecidos são: a madeira, borracha, algodão, lã, couro e seda. As proteínas, enzimas, amido e celulose desempenham funções importantes nos processos biológicos e fisiológicos. Com novas técnicas, foi possível desvendar as estruturas moleculares desses materiais e criar diversos polímeros sintetizados a partir das moléculas orgânicas. Assim, muitos dos plásticos, borrachas e fibras que usamos hoje são, na verdade, polímeros sintéticos.

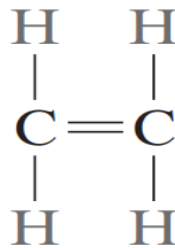
Callister (2016), também destaca que os materiais sintéticos podem ser produzidos de maneira econômica e suas características podem ser ajustadas para alcançar propriedades que muitas vezes superam as dos materiais naturais. Em diversas aplicações, plásticos têm substituído componentes de metal e madeira, oferecendo propriedades adequadas a um custo reduzido.

Canevarolo (2002) explica que a etimologia da palavra "*polímero*" vem do grego, onde "*poli*" significa "muitos" e "*mero*" refere-se a "unidade de repetição". Um polímero, posteriormente, é uma macromolécula formada por várias unidades repetidas, chamados meros,

que se conectam por ligações covalentes. O monômero, que é a matéria-prima para a produção de polímeros, é uma molécula com uma única unidade de repetição. Dependendo da estrutura química do monômero, do número médio de meros na cadeia e do tipo de ligação covalente, os polímeros podem ser classificados em três categorias principais: plásticos, borrachas e fibras.

Em relação ao etileno, que possui a fórmula química C_2H_4 , Callister (2016), menciona que os dois átomos de carbono estão unidos por uma ligação dupla, enquanto cada carbono está ligado a dois átomos de hidrogênio por ligações simples. Essa relação é ilustrada pela fórmula estrutural do composto na Figura 4.

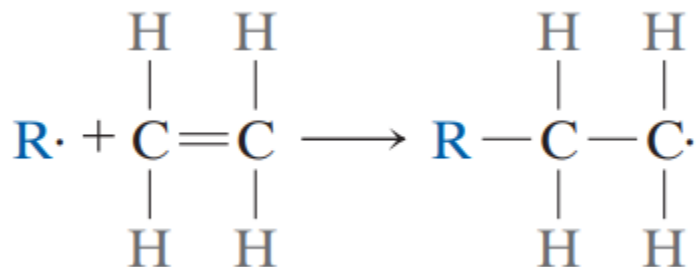
Figura 4 - Estrutura molecular do ETILENO



Fonte: Callister, 2016

Quando exposto a condições apropriadas, o gás etileno se converte em polietileno (PE), um material polimérico sólido. Callister (2016) descreve que esse processo inicia-se com a formação de um centro ativo, resultante da reação entre um iniciador ou catalisador e o monômero de etileno, demonstrado na Figura 5:

Figura 5 - Reação molecular



Fonte: Callister, 2016

O produto final, após a adição de muitas unidades de etileno, resulta na molécula de polietileno. Callister (2016), explica que essa estrutura é composta por longas cadeias formadas pela repetição das unidades de etileno. Cada seção desta molécula representa a unidade repetitiva que é essencial para determinar as propriedades físicas e químicas do polietileno. Essas unidades repetidas conferem aos materiais características como flexibilidade, resistência e durabilidade, o que torna o polietileno amplamente utilizado em diversas aplicações, desde embalagens até componentes industriais.

2.5.1 POLIETILENO (PE)

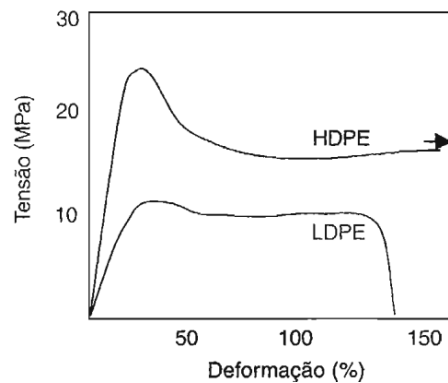
De acordo com Canevarolo (2002), o polietileno é um polímero que apresenta características de flexibilidade e uma estrutura parcialmente cristalina, sendo suas propriedades fortemente influenciadas pela relação entre as fases amorfa e cristalina. Callister (2016) acrescenta que, sob condições adequadas de reação, o gás etileno se converte em polietileno (PE), um sólido polimérico.

Canevarolo (2002), também observa que a densidade dos polietilenos está diretamente relacionada ao seu grau de cristalinidade, o que indica que através do aumento da cristalização, a densidade do material aumenta. A cristalinidade diz respeito à organização molecular em uma estrutura ordenada, o que impacta não apenas a densidade, mas também outras propriedades, como resistência mecânica e transparência, representado no Gráfico 1. Assim, polietilenos com níveis mais elevados de cristalinidade costumam exibir características superiores, sendo mais adequados para aplicações que requerem alto desempenho e durabilidade, representado na Tabela 3.

Tabela 3 - Propriedades mecânicas de polietileno em diversos graus de cristalinidade

Propriedade	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Densidade (g/cm ³)	0,910 - 0,925	0,926 - 0,940	0,941 - 0,965
Resistência à tração (MPa)	4,1 - 15,9	8,3 - 24,1	21,4 - 37,9
Módulo sob flexão (GPa)	0,05 - 0,41	0,41 - 0,73	0,69 - 1,8
Dureza Rockwell D	41 - 48	50 - 60	60 - 70

Fonte: Canevarolo, 2002.

Gráfico 1 - Tensão (MPa) x Deformação(%) – Polietileno

Fonte: Canevarolo, 2002.

2.6 CÁLCULOS DE DESVIOS

Os desvios são medidas estatísticas importantes que ajudam a quantificar a variabilidade e a precisão de um conjunto de dados. Neste contexto, abordaremos três tipos principais de desvios: desvio médio, desvio padrão médio e desvio quadrático médio. Cada um deles possui características distintas e é utilizado em diferentes situações, dependendo do objetivo da análise.

2.6.1 Variância

Segundo Castro e Silva, Fernandes e Freitas de Almeida (2015), a variância é uma medida que quantifica a dispersão dos dados em relação à média, considerando todos os valores da variável analisada. Essa característica a torna um indicador de variabilidade bastante consistente. A variância é fundamental porque fornece uma base para o cálculo do desvio padrão e, conseqüentemente, do desvio quadrático médio.

A fórmula para calcular a variância (σ^2) de um conjunto de dados é:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (1)$$

N é o número total de observações;

x_i é cada valor do conjunto de dados;

$\bar{x}$ é a média dos valores

Se o conjunto de dados for uma amostra de uma população maior, a fórmula para a variância amostral é ajustada para:

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (2)$$

Esse ajuste (dividir por $N - 1$ em vez de N) é conhecido como correção de Bessel e é utilizado para fornecer uma estimativa imparcial da variância populacional.

2.6.2 Desvio Médio

Segundo Castro e Silva, Fernandes e Almeida (2015), o desvio médio, que representa a média aritmética dos desvios absolutos dos elementos em relação à média aritmética do conjunto. O desvio médio, frequentemente abreviado como DM, pode ser calculado usando a fórmula a seguir:

A fórmula para calcular o desvio médio é:

$$\text{Desvio Médio} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}| \quad (3)$$

O desvio médio é uma medida de variabilidade que é bastante intuitiva, porém pode ser menos sensível a desvios extremos quando comparado a outras métricas, como o desvio padrão.

2.6.3 Desvio Padrão

O desvio padrão é uma das medidas de dispersão mais comuns, pois levam em conta todos os valores da variável analisada. Conforme afirmam Castro e Silva, Fernandes e Almeida (2015), ele quantifica a variabilidade dos dados em relação à média, mostrando o quanto os valores se afastam dela. O desvio padrão pode ser igual a 0, indicando que não há variação, ou seja, todos os valores são idênticos à média.

A fórmula para o desvio padrão é:

$$\text{Desvio Padrão} = \sqrt{\sigma^2} \quad (4)$$

2.6.4 Desvio Quadrático Médio

O desvio quadrático médio (DQM) é uma variante do desvio padrão que é frequentemente aplicada em modelagem e previsão. Ele é calculado como a raiz quadrada da média dos quadrados das diferenças entre cada valor e a média do conjunto.

A fórmula para o desvio quadrático médio é:

$$\text{Desvio Quadrático Médio} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

De acordo com Filho (2023), o DQM é especialmente útil em contextos onde se busca minimizar o impacto de erros quadráticos, como em processos de otimização e ajuste de modelos. Essa métrica oferece uma medida sólida da variabilidade dos dados, mostrando-se particularmente sensível a valores extremos.

2.6.5 Equação de peso médio

A equação de peso médio é uma equação utilizada para calcular o peso para tubos de polietileno, onde essa equação é originária da norma ABNT NBR 15561:2024. Se tornou muito utilizada durante o processo produtivo na fabricação de tubos de polietileno.

$$Pm = \frac{\pi \times e \times 0,950 \times (DE - e)}{1000} \quad (6)$$

Pm é o peso médio, expresso em quilogramas por metro (kg/m);

π é o valor de PI;

0,950 refere-se a densidade do composto em g/cm³;

DE se refere ao valor do diâmetro externo.

e se refere ao valor da espessura.

3 METODOLOGIA

A pesquisa em questão visa avaliar e comparar diversos instrumentos de medição, focando na precisão de cada um e explorando o impacto que a falta de exatidão pode ter na fabricação de tubos de polietileno. Para alcançar esse objetivo, serão conduzidos experimentos que envolvem a medição de ovalização, dimensões e espessura dos tubos, utilizando tanto ferramentas mais simples quanto aquelas que oferecem maior precisão.

Equipamentos Utilizados

Trena: este instrumento será empregado para medir o comprimento e a ovalização dos tubos. Embora seja uma ferramenta comum e acessível, a trena tem limitações em termos de precisão, o que pode resultar em medições imprecisas devido a erros de paralaxe e à necessidade de manter a fita esticada durante a medição.

Paquímetro: para realizar medições mais exatas de ovalização e espessura, será utilizado um paquímetro. Este dispositivo é capaz de fornecer medidas detalhadas de diâmetro e profundidade, permitindo uma comparação com a trena para demonstrar as vantagens da precisão nas medições.

Fita Pi Tape: serão utilizadas duas fitas Pi Tape: uma versão simples, que pode introduzir erros de medição por ser flexível e uma de alta precisão, projetada para evitar esses problemas. As medições serão focadas em tubos de polietileno, com ênfase na precisão das medições de diâmetro e circunferência.

Procedimentos

Os tubos de polietileno a serem medidos serão selecionados com base em critérios específicos, como diâmetro e espessura. As medições de ovalização e tamanho ocorrerão em um ambiente controlado, onde variáveis externas como temperatura e umidade serão monitoradas para assegurar a consistência dos resultados.

Medição de Ovalização:

- **Medição com trena:** a ovalização será avaliada em dois pontos ao longo do tubo, com os resultados devidamente registrados.
- **Medição com paquímetro:** as mesmas medições serão realizadas utilizando o paquímetro, permitindo uma comparação direta entre os métodos.

Medição de Tamanho e Espessura:

- **Medição com trena:** o comprimento do tubo será medido em três pontos diferentes ao longo de sua extensão, com os dados registrados para identificar variações.
- **Medição de espessura com paquímetro:** a espessura do tubo será medida em diversos pontos para garantir a precisão e a confiabilidade dos dados.

Medição de Diâmetro com Fita Pi Tape:

- A fita Pi Tape simples será utilizada para medir a circunferência do tubo, registrando os dados e identificando erros potenciais.
- A fita Pi Tape de alta precisão será empregada nas mesmas condições, focando na minimização de erros de medição.

Análise de Dados

Os resultados obtidos serão comparados em termos de precisão e confiabilidade. Médias e desvios padrão serão calculados para cada conjunto de dados, a fim de quantificar a variação nas medições. A análise incluirá uma discussão sobre como a precisão das medições influencia a qualidade dos tubos de polietileno produzidos, ressaltando as implicações da falta de exatidão.

A metodologia proposta proporcionará uma avaliação clara das diferenças entre os instrumentos de medição, destacando a importância da precisão nos processos produtivos. A comparação entre medições realizadas com ferramentas simples e precisas fornecerá ideias valiosas sobre as melhores práticas para assegurar a qualidade na fabricação de tubos de polietileno.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 CONDIÇÕES DE MEDIÇÃO

As medições dos tubos foram realizadas em um ambiente controlado a 23,3°C, demonstrado na Figura 6, conforme a norma que estipula uma faixa de $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Foram coletadas medições de cinco amostras diferentes.

Figura 6 – Temperatura do ambiente controlado



Fonte: O autor.

4.1.1 AMOSTRA 1

Medições Realizadas

- **Diâmetro:**
 - Medido com fita simples: 110,70 mm
 - Medido com fita precisa: 110,79 mm
- **Espessura:**
 - Medida com trena: 10,1 mm
 - Medida com paquímetro: 9,71 mm
- **Ovalização:**
 - Medida com trena (maior diâmetro): 110,1 mm
 - Medida com trena (menor diâmetro): 109,2 mm
 - Ovalização (maior - menor): 0,9 mm

- Medida com paquímetro (maior diâmetro): 111,06 mm
 - Medida com paquímetro (menor diâmetro): 110,38 mm
 - Ovalização (maior - menor): 0,68 mm
- **Comprimento total:** 251 mm

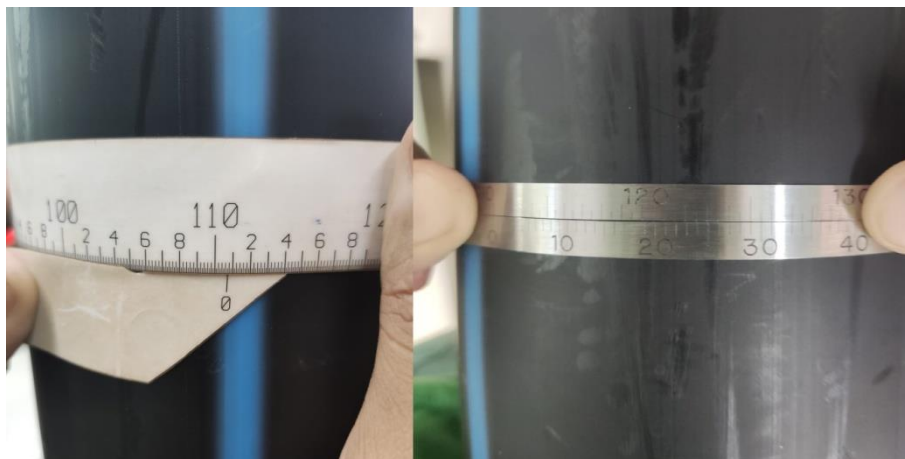
Os valores coletados foram organizados e calculado a diferença entre as medições, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados comparativos da amostra 1

<i>Medição</i>	<i>Fita Simples</i>	<i>Fita Precisa</i>	<i>Diferença (mm)</i>	<i>% de Diferença</i>
<i>Diâmetro (mm)</i>	110,70	110,79	0,09	0,08
<i>Medição</i>	<i>Trena</i>	<i>Paquímetro</i>	<i>Diferença (mm)</i>	<i>% de Diferença</i>
<i>Espessura (mm)</i>	10,1	9,71	0,39	4,01
<i>Medição</i>	<i>Trena</i>	<i>Paquímetro</i>	<i>Diferença (mm)</i>	<i>% de Diferença</i>
<i>Ovalização (mm)</i>	0,9	0,68	0,22	32,35

Fonte: O autor.

Figura 7 – Medição do diâmetro da amostra 1



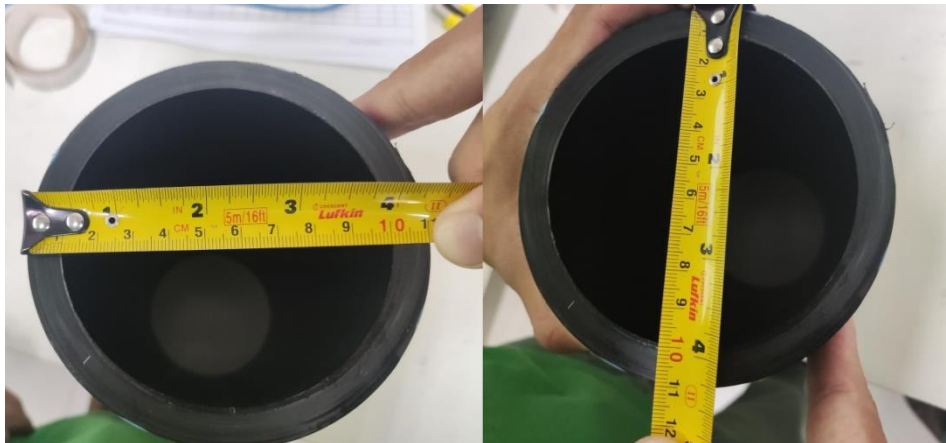
Fonte: O autor.

Figura 8 – Medição da espessura da amostra 1



Fonte: O autor.

Figura 9 – Medição da ovalização por trena da amostra 1



Fonte: O autor.

Figura 10 – Medição da ovalização por paquímetro da amostra 1



Fonte: O autor.

Figura 11 – Medição do comprimento da amostra 1



Fonte: O autor.

4.1.2 AMOSTRA 2

Medições Realizadas

- **Diâmetro:**
 - Medido com fita simples: 110,70 mm
 - Medido com fita precisa: 110,55 mm
- **Espessura:**
 - Medida com trena: 7,8 mm
 - Medida com paquímetro: 7,03 mm
- **Ovalização:**
 - Medida com trena (maior diâmetro): 111 mm
 - Medida com trena (menor diâmetro): 110,85 mm
 - Ovalização (maior - menor): 0,15 mm
 - Medida com paquímetro (maior diâmetro): 110,62 mm
 - Medida com paquímetro (menor diâmetro): 110,39 mm
 - Ovalização (maior - menor): 0,23 mm
- **Comprimento total:** 201 mm

Os valores coletados foram organizados e calculado a diferença entre as medições, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Dados comparativos da amostra 2

<i>Medição</i>	<i>Fita Simples</i>	<i>Fita Precisa</i>	<i>Diferença (mm)</i>	<i>% de Diferença</i>
<i>Diâmetro (mm)</i>	110,7	110,55	0,15	0,13
<i>Medição</i>	<i>Trena</i>	<i>Paquímetro</i>	<i>Diferença (mm)</i>	<i>% de Diferença</i>
<i>Espessura (mm)</i>	7,8	7,03	0,77	10,95
<i>Medição</i>	<i>Trena</i>	<i>Paquímetro</i>	<i>Diferença (mm)</i>	<i>% de Diferença</i>
<i>Ovalização (mm)</i>	0,15	0,23	0,08	34,78

Fonte: O autor.

Figura 12 – Medição do diâmetro da amostra 2



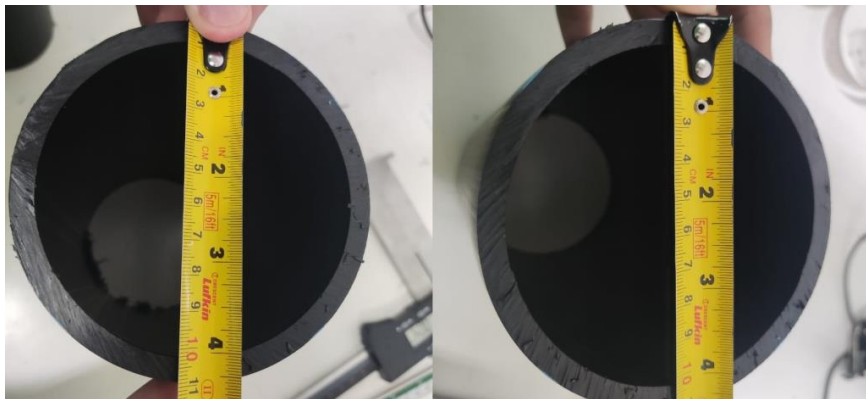
Fonte: O autor.

Figura 13 – Medição da espessura da amostra 2



Fonte: O autor.

Figura 14 – Medição da ovalização por trena da amostra 2



Fonte: O autor.

Figura 15 – Medição da ovalização por paquímetro da amostra 2



Fonte: O autor.

Figura 16 – Medição do comprimento da amostra 2



Fonte: O autor.

4.1.3 AMOSTRA 3

Medições Realizadas

- **Diâmetro:**
 - Medido com fita simples: 110,70 mm
 - Medido com fita precisa: 110,65 mm
- **Espessura:**
 - Medida com trena: 6,8 mm
 - Medida com paquímetro: 6,65 mm
- **Ovalização:**
 - Medida com trena (maior diâmetro): 111,12 mm
 - Medida com trena (menor diâmetro): 110,85 mm
 - Ovalização (maior - menor): 0,27 mm
 - Medida com paquímetro (maior diâmetro): 111,04 mm
 - Medida com paquímetro (menor diâmetro): 110,79 mm
 - Ovalização (maior - menor): 0,25 mm
- **Comprimento total:** 201 mm

Os valores coletados foram organizados e calculado a diferença entre as medições, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Dados comparativos da amostra 3

<i>Medição</i>	<i>Fita Simples</i>	<i>Fita Precisa</i>	<i>Diferença (mm)</i>	<i>% de Diferença</i>
<i>Diâmetro (mm)</i>	110,7	110,65	0,05	0,04
<i>Medição</i>	<i>Trena</i>	<i>Paquímetro</i>	<i>Diferença (mm)</i>	<i>% de Diferença</i>
<i>Espessura (mm)</i>	6,8	6,65	0,15	2,25
<i>Medição</i>	<i>Trena</i>	<i>Paquímetro</i>	<i>Diferença (mm)</i>	<i>% de Diferença</i>
<i>Ovalização (mm)</i>	0,27	0,25	0,02	8,00

Fonte: O autor.

Figura 17 – Medição do diâmetro da amostra 3



Fonte: O autor.

Figura 18 – Medição da espessura da amostra 3



Fonte: O autor.

Figura 19 – Medição da ovalização por trena da amostra 3



Fonte: O autor.

Figura 20 – Medição da ovalização por paquímetro da amostra 3



Fonte: O autor.

Figura 21 – Medição do comprimento da amostra 3



Fonte: O autor.

4.1.4 AMOSTRA 4

Medições Realizadas

- **Diâmetro:**
 - Medido com fita simples: 110,8 mm
 - Medido com fita precisa: 110,69 mm
- **Espessura:**
 - Medida com trena: 4,9 mm
 - Medida com paquímetro: 4,7 mm
- **Ovalização:**
 - Medida com trena (maior diâmetro): 109,8 mm
 - Medida com trena (menor diâmetro): 108,5 mm
 - Ovalização (maior - menor): 1,3 mm
 - Medida com paquímetro (maior diâmetro): 111,58 mm
 - Medida com paquímetro (menor diâmetro): 108,82 mm
 - Ovalização (maior - menor): 2,76 mm
- **Comprimento total:** 197 mm

Os valores coletados foram organizados e calculado a diferença entre as medições, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Dados comparativos da amostra 4

<i>Medição</i>	<i>Fita Simples</i>	<i>Fita Precisa</i>	<i>Diferença (mm)</i>	<i>% de Diferença</i>
<i>Diâmetro (mm)</i>	110,8	110,69	0,11	0,10
<i>Medição</i>	<i>Trena</i>	<i>Paquímetro</i>	<i>Diferença (mm)</i>	<i>% de Diferença</i>
<i>Espessura (mm)</i>	4,9	4,7	0,2	4,25
<i>Medição</i>	<i>Trena</i>	<i>Paquímetro</i>	<i>Diferença (mm)</i>	<i>% de Diferença</i>
<i>Ovalização (mm)</i>	1,3	2,76	1,46	52,89

Fonte: O autor.

Figura 22 – Medição do diâmetro da amostra 4



Fonte: O autor.

Figura 23 – Medição da espessura da amostra 4



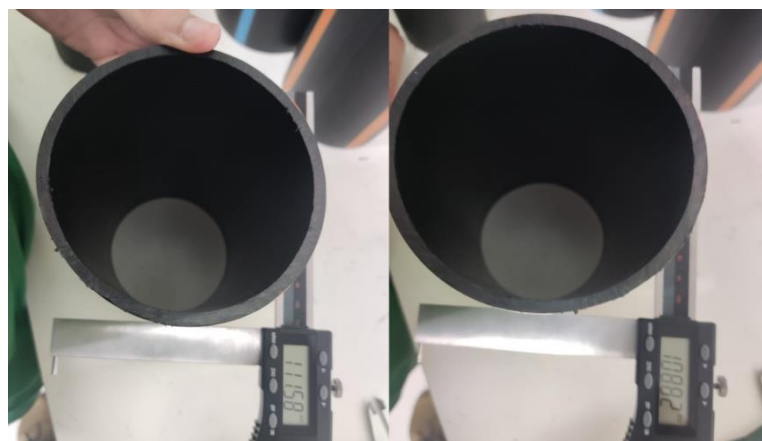
Fonte: O autor.

Figura 24 – Medição da ovalização por trena da amostra 4



Fonte: O autor.

Figura 25 – Medição da ovalização por paquímetro da amostra 4



Fonte: O autor.

Figura 26– Medição do comprimento da amostra 4



Fonte: O autor.

4.1.5 AMOSTRA 5

Medições Realizadas

- **Diâmetro:**
 - Medido com fita simples: 110,8 mm
 - Medido com fita precisa: 110,65 mm

- **Espessura:**
 - Medida com trena: 4,9 mm
 - Medida com paquímetro: 4,75 mm

- **Ovalização:**
 - Medida com trena (maior diâmetro): 111,1 mm
 - Medida com trena (menor diâmetro): 108,6 mm
 - Ovalização (maior - menor): 2,5 mm
 - Medida com paquímetro (maior diâmetro): 113,38 mm
 - Medida com paquímetro (menor diâmetro): 107,85 mm
 - Ovalização (maior - menor): 2,76 mm

- **Comprimento total:** 197 mm

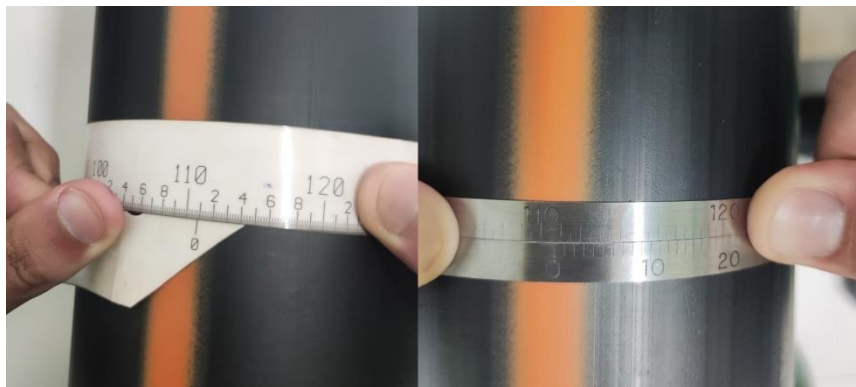
Os valores coletados foram organizados e calculado a diferença entre as medições, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Dados comparativos da amostra 5

<i>Medição</i>	<i>Fita Simples</i>	<i>Fita Precisa</i>	<i>Diferença (mm)</i>	<i>% de Diferença</i>
<i>Diâmetro (mm)</i>	110,8	110,65	0,15	0,13
<i>Medição</i>	<i>Trena</i>	<i>Paquímetro</i>	<i>Diferença (mm)</i>	<i>% de Diferença</i>
<i>Espessura (mm)</i>	4,9	4,75	0,15	3,15
<i>Medição</i>	<i>Trena</i>	<i>Paquímetro</i>	<i>Diferença (mm)</i>	<i>% de Diferença</i>
<i>Ovalização (mm)</i>	2,5	2,76	0,26	9,42

Fonte: O autor.

Figura 27 – Medição do diâmetro da amostra 5



Fonte: O autor.

Figura 28 – Medição da espessura da amostra 5



Fonte: O autor.

Figura 29 – Medição da ovalização por trena da amostra 5



Fonte: O autor.

Figura 30 – Medição da ovalização por paquímetro da amostra 5



Fonte: O autor.

Figura 31 – Medição do comprimento da amostra 5

Fonte: O autor.

4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS MEDIÇÕES

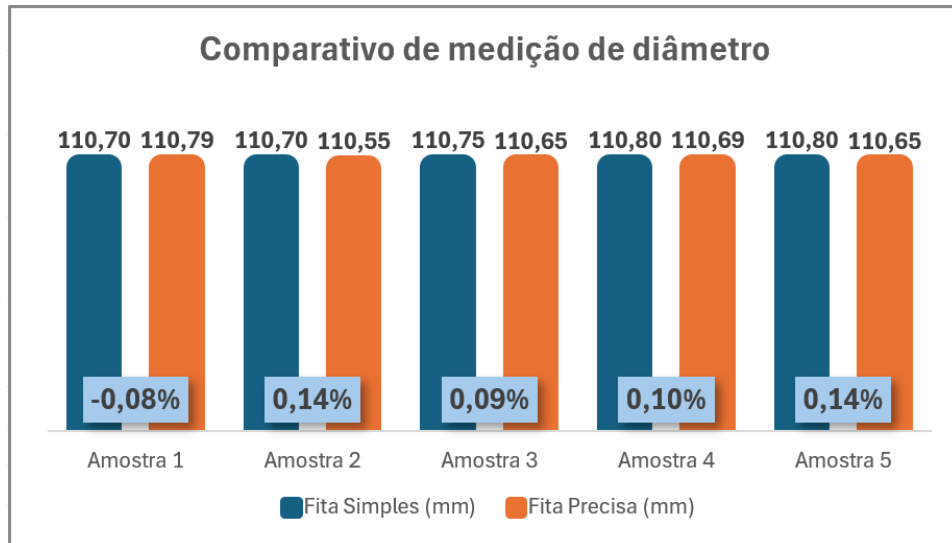
Para realizar a análise estatística das medições, é necessário calcular os valores do desvio padrão, desvio médio e desvio quadrático médio para as medições de diâmetro, espessura e ovalização.

4.2.1 Medições de Diâmetro

Tabela 9 – Tabela de diferença de diâmetro

<i>Amostra</i>	<i>Fita Simples (mm)</i>	<i>Fita Precisa (mm)</i>	<i>Diferença (mm)</i>
<i>Amostra 1</i>	110,70	110,79	-0,09
<i>Amostra 2</i>	110,70	110,55	0,15
<i>Amostra 3</i>	110,75	110,65	0,10
<i>Amostra 4</i>	110,80	110,69	0,11
<i>Amostra 5</i>	110,80	110,65	0,15

Fonte: O autor.

Gráfico 2 – Comparativo de medição de diâmetro

Fonte: O autor.

4.2.1.1 Cálculo da Média das Diferenças:

$$Média = \frac{(-0,09 + 0,15 + 0,10 + 0,11 + 0,15)}{5} = \frac{0,42}{5} = 0,084mm \quad (7)$$

4.2.1.2 Cálculo do Desvio Padrão:

Diferenças em relação à média:

- Amostra 1 : $-0,09 - 0,084 = -0,1744$ (8)
- Amostra 2 : $0,15 - 0,084 = 0,066$ (9)
- Amostra 3: $0,10 - 0,084 = 0,016$ (10)
- Amostra 4: $0,11 - 0,084 = 0,026$ (11)
- Amostra 5: $0,15 - 0,084 = 0,066$ (12)

Cálculo das diferenças quadradas:

$$\begin{aligned} Soma \text{ dos quadrados} &= (-0,174)^2 + (0,066)^2 + (0,016)^2 + (0,026)^2 + (0,066)^2 \\ &= 0,03992mm \end{aligned} \quad (13)$$

Cálculo da variância:

$$Variância = \frac{0,03992}{5 - 1} = \frac{0,03992}{4} = 0,00998mm^2 \quad (14)$$

Cálculo do desvio padrão:

$$Desvio\ padrão = \sqrt{0,00998} = 0,0999mm \quad (15)$$

Cálculo do desvio médio:

$$\begin{aligned} Desvio\ médio &= \frac{|-0,09-0,084|+|0,15-0,084|+|0,10-0,084|+|0,11-0,084|+|0,15-0,084|}{5} \\ &= 0,0696mm \end{aligned} \quad (16)$$

Cálculo do desvio quadrático médio

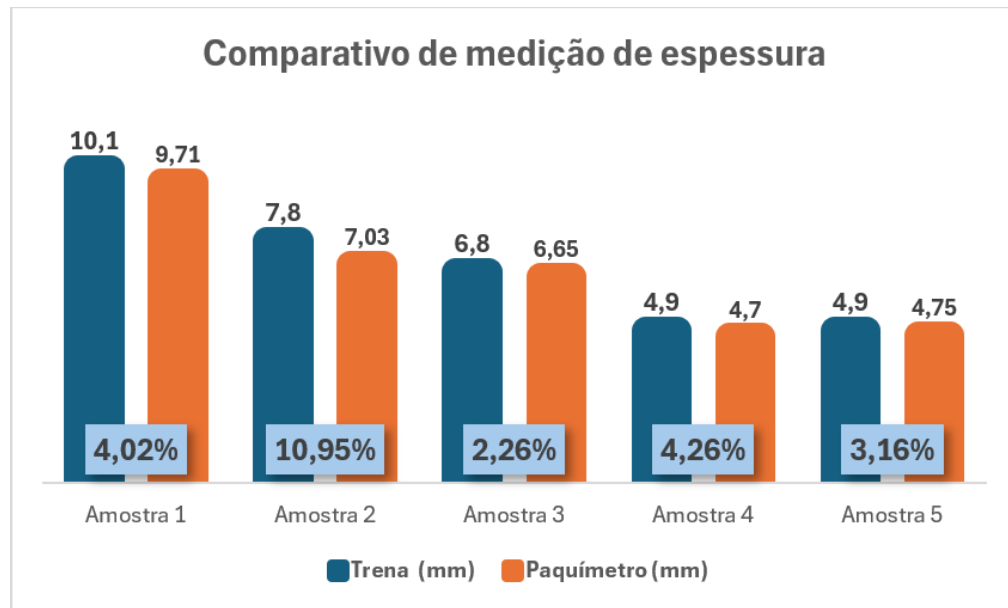
$$Desvio\ quadrático\ Médio = \sqrt{\frac{0,03992}{5}} = \sqrt{0,007984} = 0,0893mm \quad (17)$$

4.2.2 Medições de Espessura

Tabela 10 – Tabela de diferença de espessura

<i>Amostra</i>	<i>Trena (mm)</i>	<i>Paquímetro (mm)</i>	<i>Diferença (mm)</i>
<i>Amostra 1</i>	10,10	9,71	0,39
<i>Amostra 2</i>	7,80	7,03	0,77
<i>Amostra 3</i>	6,80	6,65	0,15
<i>Amostra 4</i>	4,90	4,70	0,20
<i>Amostra 5</i>	4,90	4,75	0,15

Fonte: O autor.

Gráfico 3 – Comparativo de medição de espessura

Fonte: O autor.

4.2.2.1 Cálculo da Média das Diferenças:

$$Média = \frac{(0,39 + 0,77 + 0,15 + 0,20 + 0,15)}{5} = \frac{1,26}{5} = 0,252mm \quad (18)$$

4.2.2.2 Cálculo do Desvio Padrão:

Diferenças em relação à média:

- Amostra 1 : $0,39 - 0,252 = 0,138$ (19)

- Amostra 2 : $0,77 - 0,252 = 0,518$ (20)

- Amostra 3: $0,15 - 0,252 = -0,102$ (21)

- Amostra 4: $0,20 - 0,252 = -0,052$ (22)

- Amostra 5: $0,15 - 0,252 = -0,102$ (23)

Cálculo das diferenças quadradas:

$$\begin{aligned} Soma \text{ dos quadrados} &= (0,138)^2 + (0,518)^2 + (-0,102)^2 + (-0,052)^2 + (-0,102)^2 \\ &= 0,31088mm \end{aligned} \quad (24)$$

Cálculo da variância:

$$Variância = \frac{0,31088}{5 - 1} = \frac{0,31088}{4} = 0,07772mm^2 \quad (25)$$

Cálculo do desvio padrão:

$$Desvio\ padrão = \sqrt{0,07772} = 0,2787mm \quad (26)$$

Cálculo do desvio médio:

$$Desvio\ médio = \frac{|0,39-0,252|+|0,77-0,252|+|0,15-0,252|+|0,20-0,252|+|0,15-0,252|}{5} \\ = 0,1824mm \quad (27)$$

Cálculo do desvio quadrático médio

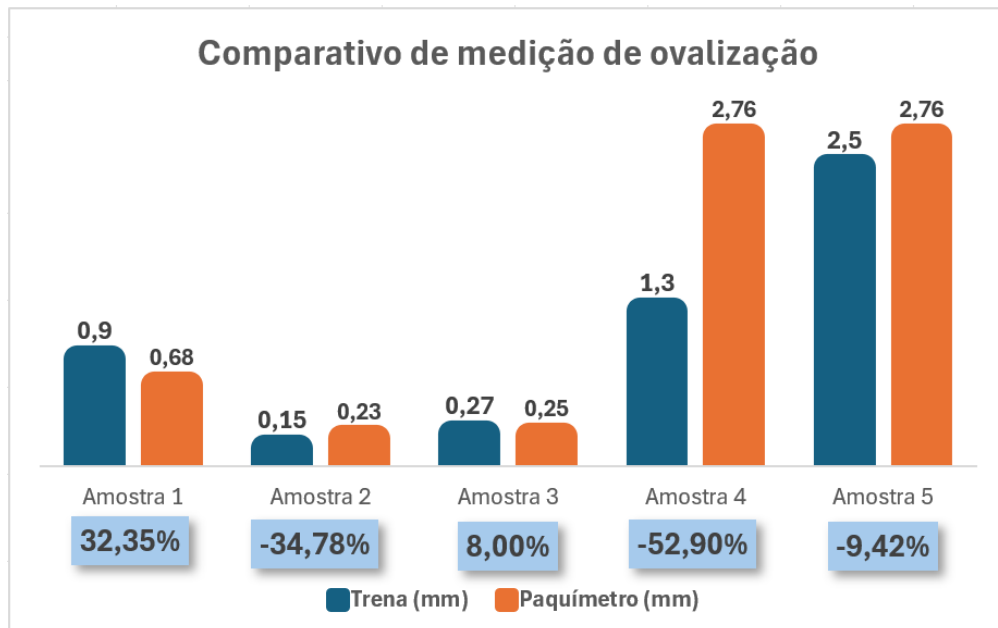
$$Desvio\ quadrático\ Médio = \sqrt{\frac{0,31088}{5}} = \sqrt{0,062176} = 0,249mm \quad (28)$$

4.2.3 Medições de Ovalização

Tabela 11 – Tabela de diferença de ovalização

<i>Amostra</i>	<i>Trena (mm)</i>	<i>Paquímetro (mm)</i>	<i>Diferença (mm)</i>
<i>Amostra 1</i>	0,90	0,68	0,22
<i>Amostra 2</i>	0,15	0,23	-0,08
<i>Amostra 3</i>	0,27	0,25	0,02
<i>Amostra 4</i>	1,30	2,76	-1,46
<i>Amostra 5</i>	2,50	2,76	-0,26

Fonte: O autor.

Gráfico 4 – Comparativo de medição de ovalização

Fonte: O autor.

4.2.3.1 Cálculo da Média das Diferenças:

$$Média = \frac{(0,22 - 0,08 + 0,02 - 1,46 - 0,26)}{5} = \frac{-1,58}{5} = -0,316mm \quad (29)$$

4.2.3.2 Cálculo do Desvio Padrão:

Diferenças em relação à média:

- Amostra 1 : $0,22 - (-0,316) = 0,536$ (30)

- Amostra 2 : $-0,08 - (-0,316) = 0,236$ (31)

- Amostra 3: $0,02 - (-0,316) = 0,336$ (32)

- Amostra 4: $-1,46 - (-0,316) = -1,144$ (33)

- Amostra 5: $-0,26 - (-0,316) = 0,056$ (34)

Cálculo das diferenças quadradas:*Soma dos quadrados*

$$= (0,536)^2 + (0,236)^2 + (0,336)^2 + (-1,144)^2 + (0,056)^2 = 1,766 \quad (35)$$

Cálculo da variância:

$$Variância = \frac{1,766}{5 - 1} = \frac{1,766}{4} = 0,4415mm^2 \quad (36)$$

Cálculo do desvio padrão:

$$Desvio\ padrão = \sqrt{0,4415} = 0,665mm \quad (37)$$

4.2.3.3 Cálculo do desvio médio:*Desvio médio*

$$= \frac{|0,2 + 0,316| + |-0,08 + 0,316| + |0,02 + 0,316| + |-1,46 + 0,316| + |-0,26 + 0,316|}{5}$$

$$= 0,4616mm$$

(38)

4.2.3.4 Cálculo do desvio quadrático médio

$$Desvio\ quadrático\ Médio = \sqrt{\frac{1,766}{5}} = \sqrt{0,3532} = 0,594mm \quad (39)$$

4.2.1 Cálculo de peso médio comparativo

Considerando valores ao utilizar a metodologia convencional para se medir comparado a metodologia com equipamentos precisos, gerando assim o valor em Kg para a produção de tubo de polietileno de diâmetro 110mm.

$$Pm\ (Amostra\ 1\ Precisa) = \frac{\pi \times 10,1 \times 0,950 \times (110,7 - 10,1)}{1000} = 3,03Kg \quad (40)$$

$$Pm(\text{Amostra 1 Precisa}) = \frac{\pi \times 9,71 \times 0,950 \times (110,79 - 9,71)}{1000} = 2,93Kg \quad (41)$$

$$Pm (\text{Amostra 2 Simples}) = \frac{\pi \times 7,81 \times 0,950 \times (110,7 - 7,81)}{1000} = 2,39Kg \quad (42)$$

$$Pm (\text{Amostra 2 Precisa}) = \frac{\pi \times 7,03 \times 0,950 \times (110,55 - 7,03)}{1000} = 2,17Kg \quad (43)$$

$$Pm (\text{Amostra 3 Simples}) = \frac{\pi \times 6,8 \times 0,950 \times (110,75 - 6,8)}{1000} = 2,11Kg \quad (44)$$

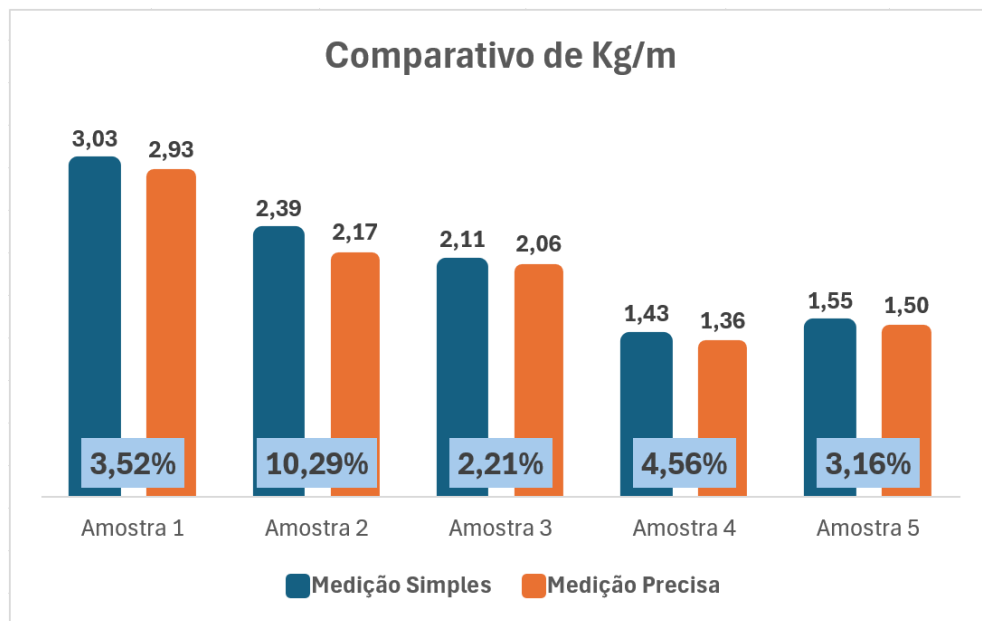
$$Pm (\text{Amostra 3 Precisa}) = \frac{\pi \times 6,65 \times 0,950 \times (110,65 - 6,65)}{1000} = 2,06Kg \quad (45)$$

$$Pm (\text{Amostra 4 Simples}) = \frac{\pi \times 4,5 \times 0,950 \times (110,8 - 4,5)}{1000} = 1,43Kg \quad (46)$$

$$Pm (\text{Amostra 4 Precisa}) = \frac{\pi \times 4,3 \times 0,950 \times (110,69 - 4,3)}{1000} = 1,36Kg \quad (47)$$

$$Pm (\text{Amostra 5 Simples}) = \frac{\pi \times 4,9 \times 0,950 \times (110,8 - 4,9)}{1000} = 1,55Kg \quad (48)$$

$$Pm (\text{Amostra 5 Precisa}) = \frac{\pi \times 4,75 \times 0,950 \times (110,65 - 4,75)}{1000} = 1,50Kg \quad (49)$$

Gráfico 5 – Comparativo de peso entre medições

Fonte: O autor.

4.2.2 Resumo dos resultados

- **Diâmetro:**
 - Média das Diferenças: 0,084 mm
 - Desvio Padrão: 0,0999 mm
 - Desvio Médio: 0,0696 mm
 - Desvio Quadrático Médio: 0,0893 mm

- **Espessura:**
 - Média das Diferenças: 0,252 mm
 - Desvio Padrão: 0,2787 mm
 - Desvio Médio: 0,1824 mm
 - Desvio Quadrático Médio: 0,249 mm

- **Ovalização:**
 - Média das Diferenças: - 0,316 mm
 - Desvio Padrão: 0,665 mm
 - Desvio Médio: 0,4611 mm
 - Desvio Quadrático Médio: 0,594 mm

5 CONCLUSÃO

Este trabalho evidenciou a relevância do uso de equipamentos de medição adequados e precisos para o controle de qualidade na produção de tubos de polietileno, destacando-se a comparação entre os dados obtidos por instrumentos convencionais e por equipamentos de maior precisão.

Os dados coletados revelaram que os instrumentos de medição têm um papel fundamental na obtenção de resultados confiáveis. As medições realizadas demonstraram que o comparativo entre a fita perimetral simples e a fita perimetral precisa se mostrou diferente, comprovando que existe, sim, um desvio nos dados coletados com cada uma. Da mesma forma, o comparativo entre a trena e o paquímetro, tanto para a coleta da espessura quanto da ovalização, demonstrou variações, reforçando a importância do uso de equipamento adequado e preciso. A média das diferenças obtidas indicou que a precisão da coleta de dados não é idêntica, ressaltando a importância de utilizar instrumentos devidamente calibrados e adequados às exigências de qualidade.

Medições imprecisas podem comprometer a conformidade dos produtos com as especificações técnicas, gerando custos adicionais relacionados a retrabalhos e desperdícios de recursos, como tempo e dinheiro. Assim, torna-se essencial que as indústrias invistam em tecnologias de alta precisão e em práticas rigorosas de controle de qualidade.

Por fim, este estudo não apenas demonstra a importância dos aparelhos de medição no controle de qualidade, mas também oferece conhecimentos práticos para a melhoria contínua das indústrias. A metrologia se revela como um elemento estratégico para a competitividade das empresas no mercado.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 15561:2024. **Tubulação de polietileno PE 80 e PE 100 para transporte de água e esgoto sob pressão** — Requisitos. 4ª ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

BASTOS, Newton. **Sistema de Gerenciamento & Calibração na Indústria**. 2019. Disponível em: https://issuu.com/newtonbastos-presysinstrumentos/docs/apostila_gerenciamento_calibra__o_r. Acesso em: 4 nov. 2024.

CANEVAROLO JR., Sebastião V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo: Artliber Editora, 2002.

CALLISTER, William D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CASTRO E SILVA, Jorge Luiz de; FERNANDES, Maria Wilda; FREITAS DE ALMEIDA, Rosa Lúvia. **Estatística e Probabilidade**. 3. ed. Fortaleza: EdUECE, 2015.

FERNANDES, Wilson Donizeti; COSTA NETO, Pedro Luiz Oliveira; SILVA, José Ricardo da. **Metrologia e qualidade - sua importância como fatores de competitividade nos processos produtivos**. XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção: A Engenharia de Produção e o Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia e Gestão. Salvador, BA, Brasil, 06 a 09 de outubro de 2009.

FILHO, Mario. RMSE (Raiz do Erro Quadrático Médio) em Machine Learning. 2023. Disponível em: <https://mariofilho.com/rmse-raiz-do-erro-quadratico-medio-em-machine-learning/>. Acesso em: 18 nov. 2024.

HOFFMANN, Vanderlei. **O controle de Qualidade na indústria 4.0**. IX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Ponta Grossa, Paraná, 2019. IMETRICA. Disponível em: <https://www.imetrica.com.br/fitas-pi-tape.html#:~:text=As%20Fitas%20Pi%20Tape%20são,de%20modo%20simples%20e%20prático>. Acesso em: 4 nov. 2024.

ISO 4427-5:2019. **Plastics piping systems for water supply, and for drainage and sewerage under pressure — Polyethylene (PE) — Part 5: Fitness for purpose of the system**. 2nd ed. Genebra: ISO, 2019.

SILVA NETO, João Cirilo da. **Metrologia e controle dimensional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI). [Recurso eletrônico] / Tradução do Grupo de Trabalho Luso-Brasileiro do Inmetro e IPQ. Brasília, DF: Inmetro, 2021. VICENTE, Antenor. **Metrologia Industrial**. Apostila. 31/03/2017. Mundo Mecânico Treinamentos e Tecnologias. Minas Gerais. (Compilação).

TOGINHO FILHO, D. O.; ANDRELLO, A. C. **Catálogo de Experimentos do Laboratório Integrado de Física Geral**. Departamento de Física, Universidade Estadual de Londrina, Mar. 2009.