

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA - CAMPUS JARAGUÁ DO SUL - RAU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA

CLAUDIO IVAIR SCHMIDT

ESTUDO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PROJÉTEIS DE TIRO
ESPORTIVO - MODALIDADE CARABINA AR SETA

JARAGUÁ DO SUL

JUNHO DE 2019

CLAUDIO IVAIR SCHMIDT

ESTUDO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PROJÉTEIS DE TIRO
ESPORTIVO – MODALIDADE CARABINA AR SETA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do Campus Jaraguá do Sul – Rau, do Instituto Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do diploma de Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

Orientador: Delcio Luís Demarchi, Me.

JARAGUÁ DO SUL

JUNHO DE 2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
por meio do programa de geração automática do Câmpus Rau, do IFSC

Schmidt, Claudio Ivair.

Estudo do processo de fabricação de projéteis de tiro
esportivo-Modalidade Carabina Ar Seta /Claudio Ivair
Schmidt; orientação de Delcio Luís Demarchi. Jaraguá do
Sul, SC, 2019.

74 p.

Trabalho de conclusão de curso (TCC)- Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Jaraguá Do Sul - Rau.

Tecnologia em Fabricação Mecânica. Inclui Referências.

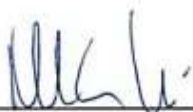
1. Projéteis. 2. Tiro Esportivo. 3. Precisão. 4.
Tolerâncias. 5. Processos de fabricação. I. Demarchi,
Delcio Luís. II. Instituto Federal De Santa Catarina.
III. Título.

CLAUDIO IVAIR SCHMIDT

ESTUDO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PROJÉTEIS DE TIRO
ESPORTIVO - MODALIDADE CARABINA AR SETA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Tecnólogo em
Fabricação Mecânica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo
indicada.

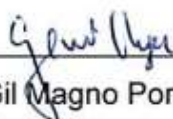
Jaraguá do Sul, 19 de junho de 2019.



Prof. Delcio Luis Demarchi, Me.

Orientador

IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Gil Magno Portal Chagas, Dr.

Coorientador

IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Cristiano da Silva, Me.

IFSC – Campus Jaraguá do Sul – RAU

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado ânimo, força e saúde para enfrentar os momentos difíceis que encontrei durante a trajetória da realização do curso, bem como, na finalização deste trabalho de conclusão de curso.

Agradeço aos meus familiares, principalmente minha esposa Ináurea e meus filhos Lucas e Laís, que abdicaram do seu tempo comigo, para que eu pudesse me dedicar aos estudos. Aos meus pais, Osmar e Tuscelda, pelo exemplo dado desde criança, de jamais desistir dos meus objetivos.

Agradeço ao meu orientador Delcio Luís Demarchi por ter acreditado e apoiado na proposta deste trabalho, bem como na disponibilidade do seu tempo para me auxiliar com seu conhecimento na elaboração e desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço a empresa TORNEARIA GUIDO por disponibilizar as máquinas e equipamentos necessários para a confecção dos corpos de prova e aos colegas de trabalho que ajudaram no processo de usinagem.

Agradeço ao IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis por ceder o laboratório de metrologia e ao Professor Gabriel Costa Sousa pelo auxílio com a medição dos corpos de prova.

Agradeço ao CAJ - Clube de Atiradores Jaraguá e a ACSTVI – Associação de Clubes e Sociedades de Tiro do Vale do Itapocú pelo empréstimo de equipamentos necessários para a realização dos testes de tiro.

E por fim quero agradecer a todos que contribuíram de forma direta ou indireta na realização desta pesquisa.

“No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz.” – (Ayrton Senna).

RESUMO

O tiro ao alvo é um esporte que requer muita técnica e concentração por parte do atirador e equipamentos de qualidade que permitam a ele obter bons resultados. No Brasil, este esporte foi introduzido com a chegada dos imigrantes europeus que se instalaram principalmente na região sul do país. Até os dias atuais, o tiro esportivo ainda é uma herança cultural muito forte presente principalmente nos clubes de tiro, que realizam disputas para conhecer o “rei do tiro”. Essas disputas geralmente acontecem na modalidade de tiro conhecida como carabina ar Seta. Esta modalidade vem atraindo novos adeptos principalmente pela criação do campeonato estadual da categoria e pela inclusão da modalidade nos Jogos Abertos de Santa Catarina. Os projéteis desta modalidade são reutilizáveis. Quando são danificados, eles precisam ser substituídos e quando substituídos, os projéteis geralmente não apresentam a mesma precisão. Então fica a pergunta: Como produzir projéteis que garantam a precisão dos tiros? Para ajudar a melhorar os resultados do tiro, realizou-se um estudo de desenvolvimento de projéteis para tiro esportivo - modalidade carabina ar seta, comparando diferentes processos de fabricação. Os corpos de prova foram fabricados com aço inoxidável AISI 304 utilizando quatro processos de usinagem diferentes. Estes foram submetidos à medição do maior diâmetro do corpo, análise das tolerâncias geométricas, aos testes práticos de tiro e com os resultados foi realizada a análise de variância. Os resultados de medição do diâmetro mostraram que é possível fabricar projéteis nas medidas desejáveis independentemente do processo utilizado. Durante a análise das características geométricas, os resultados apresentaram variações quando comparados os processos de fabricação utilizados. Nos testes práticos de tiro, o resultado das distâncias obtidas em relação ao centro do alvo demonstrou pequenas diferenças entre os processos analisados. Quando estas distâncias foram submetidas à análise de variância com um índice de confiança de 95%, pode-se observar que não há diferença significativa entre os processos utilizados, nem entre os corpos de prova produzidos. Quando os resultados foram avaliados na ótica do tiro ao alvo, foi possível identificar os projéteis que apresentaram condições de melhorar a pontuação do competidor. De maneira geral, os projéteis que foram produzidos com as melhores tolerâncias geométricas produziram melhores resultados de tiro. Pode-se concluir que é possível fabricar projéteis com resultados de tiro satisfatórios em qualquer processo analisado.

Palavras-Chave: Projéteis. Tiro esportivo. Precisão. Tolerâncias. Processos de fabricação.

ABSTRACT

Target shooting is a sport that requires a lot of technique and concentration from the shooter and quality equipment that allows him to get good scores. In Brazil, this sport was introduced with the arrival of European immigrants who settled mainly in the southern region of the country. Up to current days, shooting sports is still a very strong cultural heritage present mainly in shooting clubs, which hold disputes to meet the "king of the shot." These disputes usually happen in the shot mode known as air rifle arrow. This modality has attracted new fans mainly for the creation of the state championship of the category and for the inclusion of the modality in the Open Games of Santa Catarina. The projectiles of this modality are reusable. When they are damaged, they need to be replaced and when replaced, the projectiles usually do not present the same accuracy. So, the question arises: How to produce projectiles that guarantee the quality of the shots? In order to help improving the shot results, a study of projectile development for shooting sports was done - air rifle arrow mode, comparing different manufacturing methods. The samples were manufactured with AISI 304 stainless steel using four different machining processes. These were submitted to the measurement of the largest diameter of the body, analysis of the geometric tolerances, practical tests of shot and based on the results, the analysis of variance was performed. The diameter measurement results showed that it is possible to make projectiles in the desired sizes regardless of the process used. During the analysis of the geometric characteristics, the results presented variation when comparing the manufacturing processes used. In the practical shot tests, the result of the distances obtained with respect to the center of the target showed small differences between the processes analyzed. When these distances were submitted to analysis of variance with a confidence index of 95%, it was demonstrated that there was neither significant difference between the processes used nor in the samples produced. When the results were evaluated from the point of view of shooting, it was possible to identify the projectiles that were able to improve the competitor's score. In general, the projectiles that were produced with the best geometric tolerances produced better shot results. It may be concluded that it is possible to manufacture projectiles with satisfactory results in any analyzed process.

Keywords: Projectiles. Sport shooting. Accuracy. Tolerances. Manufacturing processes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Arma de tiro esportivo - modalidade carabina ar seta	17
Figura 2 – Alvos com pontuações	18
Figura 3 - Amostras das Setas	19
Figura 4 - Chave de extração	19
Figura 5 - Exatidão e precisão.....	23
Figura 6 - Características dos rebolos.....	32
Figura 7 - Desenho do projétil	36
Figura 8 - Fluxograma dos processos	39
Figura 9 - Bucha para fixação das peças com o corpo maior acabado	41
Figura 10 - Ponta intercambiável retificada	41
Figura 11 - Regiões retificadas	42
Figura 12 - Máquina de medir forma	43
Figura 13 - Pontos de medição	44
Figura 14 - Fixação da peça para medição	44
Figura 15 - Blocos para fixação da arma.....	45
Figura 16 - Fixação da arma e posicionamento do cronógrafo	46
Figura 17 - Posição para inserir o projétil a arma	46
Figura 18 - Alvo eletrônico.....	47
Figura 19 - Exemplo de dados coletados	48
Figura 20 - Gráfico de interação dos fatores sobre a cilindridade.....	51
Figura 21 - Gráfico de interação dos fatores sobre o batimento.....	53
Figura 22 - Gráfico de interação dos fatores sobre a coaxialidade do furo	53
Figura 23 - Gráfico de interação dos fatores sobre a coaxialidade da ponta.....	55
Figura 24 - Gráfico de interação dos fatores sobre a distância	58
Figura 25 - Gráficos de intervalos das distâncias - por processo	59
Figura 26 - Gráfico do teste de Tukey	59
Figura 27 - Gráfico de intervalos das distâncias - por projétil.....	60
Figura 28 - Gráfico de dispersão dos disparos do projétil TF3	63
Figura 29 - Gráfico de dispersão dos disparos do projétil RF3.....	63
Figura 30 - Distribuição dos disparos em relação ao centro do alvo - TF3.....	64
Figura 31 - Distribuição dos disparos em relação ao centro do alvo - RF3	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Elementos da trajetória.....	20
Tabela 2 - Tolerâncias geométricas	25
Tabela 3 - Composição Química Aço Inoxidável 304 (% em peso)	27
Tabela 4 - Erros no processo de furação.....	31
Tabela 5 - Fatores e níveis	34
Tabela 6 - Identificação dos processos e projéteis	35
Tabela 7 - Parâmetros de corte nas operações de torneamento e furação	40
Tabela 8 - Parâmetros de corte nos processos de retificação	40
Tabela 9 - Diâmetros medidos.....	50
Tabela 10 - Valores de cilindridade	51
Tabela 11 - Valores de batimento	52
Tabela 12 - Valores da coaxialidade do furo.....	54
Tabela 13 - Valores da coaxialidade da ponta	55
Tabela 14 - Velocidade média dos projéteis	57
Tabela 15 - Valores das distâncias	57
Tabela 16 - Dados de distância do projétil TF3	61
Tabela 17 - Dados de distância do projétil RF3.....	62

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	15
2.1 Tiro ao Alvo e Tiro Esportivo.....	15
2.1.1 Arma Carabina Ar Seta.....	16
2.1.2 Alvo.....	17
2.1.3 Projétil	19
2.2 Balística e Lançamento de Projéteis	20
2.2.1. Lançamento de Projétil.....	22
2.3 Precisão e Exatidão.....	23
2.4 Tolerâncias Geométricas	24
2.5 Aço Inoxidável	26
2.6 Processos de Usinagem.....	27
2.6.1 Torneamento.....	28
2.6.2 Furação	30
2.6.3 Retificação.....	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1 Planejamento Dos Experimentos	34
3.2 Material e Dimensões do Projétil	35
3.3 Máquinas de Usinagem Empregadas.....	36
3.3.1 Retificadora cilíndrica	36
3.3.2 Torno	36
3.4 Ferramentas de Corte	37
3.4.1 Rebolo.....	37
3.4.2 Ferramenta para Torneiar Externo	37
3.4.3 Broca de Centrar	37
3.4.4 Brocas Helicoidais.....	37
3.4.5 Ferramenta para Torneiar Interno.....	38
3.5 Processos de Fabricação Empregados.....	38
3.6 Medições	42

3.7 Inserção das Cerdas	45
3.8 Testes Práticos de Tiro	45
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	49
4.1 Tolerâncias Geométricas	49
4.1.1 Diâmetro do Corpo Maior	49
4.1.2 Cilindricidade	50
4.1.3 Batimento	52
4.1.4 Coaxialidade do Furo	53
4.1.5 Coaxialidade da Ponta	54
4.2 Testes Práticos de Tiro	56
4.2.1 Velocidade	56
4.2.3 Análise de Variância	58
4.2.4 Distâncias x Pontuação	60
5 CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS	67
APÊNDICE A – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DISTÂNCIA X PROCESSOS.....	70
APÊNDICE B – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DISTÂNCIA X PROJÉTEIS	72

1 INTRODUÇÃO

O tiro esportivo é uma prática muito antiga difundida principalmente na Europa no século XVIII. Trazido ao Brasil pelos imigrantes europeus, principalmente os de origem alemã, fazia parte da cultura entre os que se instalaram em cidades do norte catarinense, como Joinville, São Bento do Sul e Jaraguá do Sul (GUEDES, 2010).

Com a vinda destes imigrantes, surgiram os clubes de tiro, muito tradicionais em nossa região, conhecidos como Schützenverein, onde realizam disputas de tiro para conhecer o melhor atirador que é coroado como “Rei do Tiro”. Estas disputas acontecem com armas conhecidas como carabinas, onde entre elas está a carabina ar seta, que faz uso de um projétil de aço reutilizável com plumas.

Esta prática de tiro vem atraindo cada vez um número maior de atiradores, principalmente depois que passou a ser disputado em campeonatos estaduais e fazer parte dos JASC (Jogos Abertos de Santa Catarina). De acordo com o site da FCTE (Federação de Caça e Tiro Esportivo) de Santa Catarina, em 2019 competem cerca de 80 atiradores nesta modalidade, dividido entre as categorias masculino e feminino.

Com esta expansão, torna-se cada vez mais importante o desenvolvimento de armas e principalmente munições que garantam um bom desempenho durante as competições, pois esta modalidade de tiro está cada vez mais competitiva.

Como trata-se de munição reutilizável, existe o descarte após o uso constante por disparos sucessivos ou a danificação dos projéteis. Com isto, existe a necessidade de substituição do projétil quando este não apresentar condições satisfatórias.

Devido a não ter fornecedor que garanta a qualidade destes projéteis ao serem fabricados, torna-se necessário a aquisição de vários projéteis que precisam ser testados para comprovar seu grau de precisão. Em muitos casos os testes demonstram que os projéteis novos adquiridos não possuem boa precisão nos resultados.

Então fica a pergunta: Como fabricar projéteis que garantam uma boa precisão evitando a fabricação de um grande número de unidades para aproveitar simplesmente os que apresentam um resultado satisfatório?

O presente trabalho pretende apresentar um processo de fabricação eficaz, garantindo a qualidade dos projéteis utilizados na prática do tiro esportivo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar os processos de fabricação de projéteis para tiro esportivo - modalidade carabina ar seta, levando em consideração os resultados obtidos em testes práticos de tiro.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Fabricar projéteis para o tiro esportivo - modalidade carabina ar seta em quatro diferentes processos.
- b) Medir e comparar as características de forma e posição dos projéteis fabricados nestes quatro processos.
- c) Realizar testes práticos de tiro com os projéteis.
- d) Identificar um processo que garanta a fabricação de projéteis mais precisos para tiro esportivo - modalidade carabina ar seta.
- e) Selecionar os projéteis que apresentem desempenho satisfatório para serem usados em competições.

Para conseguir atingir os objetivos deste trabalho, no Capítulo 2 é apresentada a revisão da literatura, contendo informações acerca do tiro esportivo, além de informações tecnológicas envolvidas nos processos de fabricação dos projéteis. Na sequência, o Capítulo 3 apresenta os materiais e métodos empregados para a fabricação dos corpos de prova e execução dos testes. Já no Capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos na fabricação dos projéteis, bem como os resultados obtidos nos testes de tiro. E por fim o Capítulo 5 apresenta as conclusões deste trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Tiro ao Alvo e Tiro Esportivo

A origem do tiro ao alvo aconteceu na região da Bélgica, onde os burgueses se juntavam em grupos para se proteger dos nobres, isto já no século XII. As armas utilizadas por eles eram “seteiras”, como o arco e a besta, segundo os estudos de Elly Herkenhoff. Neste período da Idade Média, a sociedade era praticamente ruralizada e a região da Europa Ocidental onde se situavam países como a Alemanha, Bélgica, Áustria e Suíça, sofriam com a descentralização política. Desta maneira, foi necessário que os próprios cidadãos se organizassem em defensivas contra os inimigos externos (HERKENHOFF apud GUEDES, 2010).

O tiro esportivo apareceu somente dois séculos depois na região da Alemanha, mas agora com características mais distintas: possuíam ainda o espírito corporativista, mas haviam inseridas transformações políticas e sociais. Aos poucos, a prática do tiro adquiriu um caráter esportivo e festivo.

Conforme descreve Herkenhoff (apud GUEDES, 2010) em épocas de paz e com a organização de Estados-nações, a prática do tiro ao alvo tornou-se em uma grande festa para celebrar e conhecer o melhor atirador. Durante a primavera na Alemanha, os atiradores promoviam torneios de tiro ao alvo e festas, nas quais o campeão era declarado como o “Rei do Tiro”. Com a denominação de tiro esportivo, as primeiras competições aconteceram na Suécia no século XIX e logo se difundiram por toda a Europa. Isso ocorreu principalmente com a publicação de um livro contendo as primeiras regras da competição. O livro foi escrito pelo Coronel Peter Hawker em 1814 na Grã-Bretanha.

Segundo Baldo e Soares (2001), no Brasil o tiro como esporte surgiu com a chegada de imigrantes alemães e italianos no século XIX, que se estabeleceram principalmente na região sul do país. O hábito pela prática de tiro para caça fundamentou os clubes de caça e pesca. Assim no Brasil o tiro esportivo iniciou através do Tiro de Rei, disputado dentro dos clubes.

Desde o ano de 1810, o tiro ao alvo era praticado nas instalações da Academia Militar do Rio de Janeiro. O Exército Brasileiro esteve presente desde o início, através do Tiro de Guerra do Exército. Neste mesmo período, também no Rio Janeiro surgiu a Societé du Tir a la Carabin (Sociedade de Tiro à Carabina), onde

principalmente os imigrantes praticavam o tiro ao alvo (GARRIDO, 2005).

Como descreve Pacievitch (2019) a prática de tiro esportivo requer muito treino para que o atleta adquira precisão e velocidade ao atirar com uma arma de fogo ou de ar comprimido. Caracteriza-se por ser um esporte que exige muita disciplina do atleta, pois é necessário alto grau de concentração e domínio de seus movimentos.

Helal e Amaro (2016) descrevem que o tiro esportivo é uma modalidade olímpica desde as Olimpíadas de Atenas, em 1896. Após isso ficou fora de Olimpíadas apenas em 1904, na Olimpíada de St. Louis, nos Estados Unidos, e nas Olimpíadas de Amsterdã, na Holanda em 1928.

A Federação Internacional de Tiro Esportivo – ISSF, que regulamenta a prática do tiro esportivo, foi criada nos Estados Unidos por volta de 1871. A prática do esporte ocorre em diversas modalidades, dividido como tiro com carabina e com pistola. Os alvos podem ser fixos ou móveis, como no tiro ao prato. A prática do tiro esportivo sofreu muitas transformações e adaptações ao longo dos anos, necessárias para a manutenção do esporte, mas nunca deixou de lado o caráter social dos clubes de tiro.

2.1.1 Arma Carabina Ar Seta

Conforme descreve Souza (2017) recomenda-se para a prática de tiro esportivo - modalidade carabina ar seta o uso de armas de pressão. Diferente das armas de fogo, elas atiram setas metálicas ou chumbos e dão apenas um tiro por vez. A energia de uma arma de pressão é bem menor do que uma arma de fogo, pois o disparo ocorre pela pressão do ar comprimido que é gerado pela ação de uma mola, através de um pistão a gás ou por um reservatório interno de ar comprimido ou gás carbônico.

As carabinas são armas que possuem cano longo, apoio para o ombro, indicadas para distâncias maiores e necessitam da utilização das duas mãos, uma para apontar e a outra para realizar o disparo.

A Federação Catarinense de Tiro Esportivo (2019) apresenta em seu regulamento que a arma, que pode ser vista na Figura 1 deve ter as seguintes características:

a) o calibre deve ser aproximadamente 4,5 mm, podendo sofrer pequenas variações

- de acordo com cada fabricante, ou pelo desgaste natural decorrente do seu uso ao longo dos anos;
- b) a arma está classificada como sendo de “mira aberta”, pois não pode conter na sua linha de visada elementos que circulem o alvo;
 - c) a distância entre massa e alça (linha de visada) não poderá ser superior a 550 mm;
 - d) a alça precisa ser aberta, podendo ter um tubo de proteção de luz e a massa deve sobrepor o alvo;
 - e) a coronha pode ser fabricada em alumínio ou madeira com encostos anatômicos para o rosto ou com regulagem de altura para a ombreira;
 - f) podem ter sistema de amortecimento para as armas com propulsão do embolo através de molas.

Figura 1 - Arma de tiro esportivo - modalidade carabina ar seta



Fonte: Elaborado pelo autor

2.1.2 Alvo

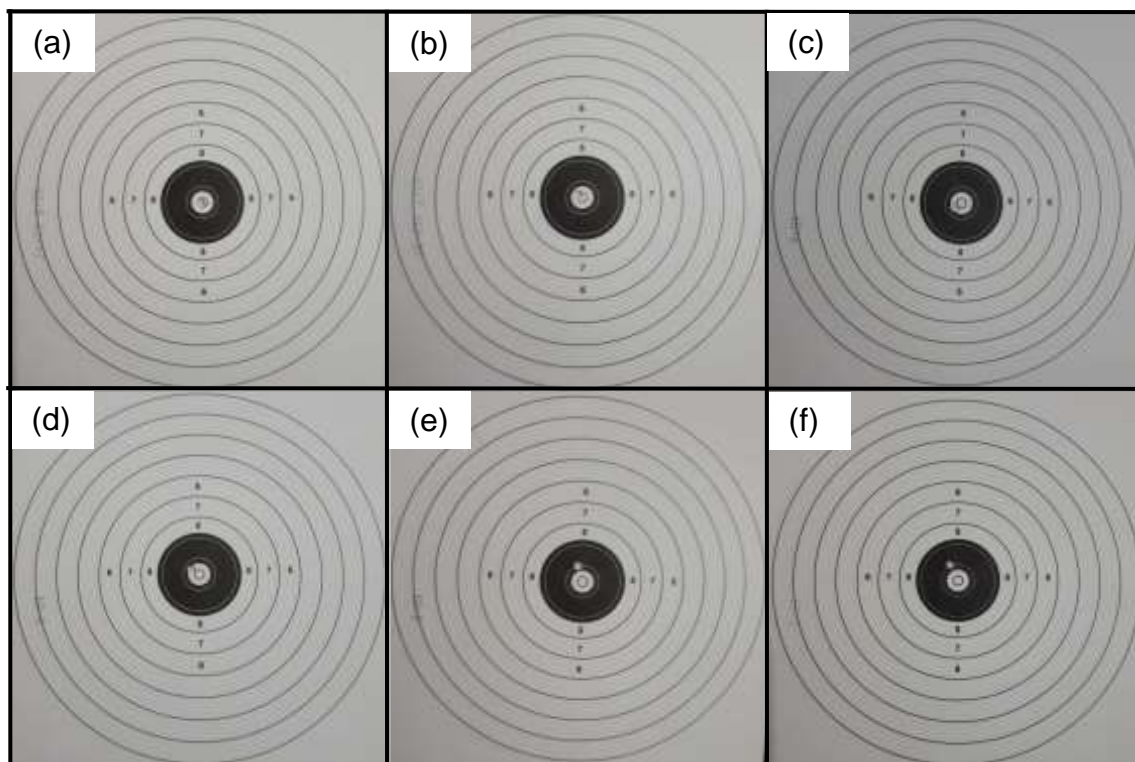
Segundo a Confederação Brasileira de Tiro Esportivo (2019) o alvo de papel deve ser de cor e material opacos, não refletivos, para que a zona de pontaria (centro) seja claramente visível em condições normais de luminosidade e à distância apropriada. Tanto o alvo como os anéis de marcação devem manter todas as medidas intactas em quaisquer condições de tempo e clima. Os alvos devem registrar os impactos sem provocar rasgões ou distorções excessivas. As dimensões de todos os anéis de marcação medem-se a partir do seu bordo exterior (diâmetro exterior), os alvos são divididos em zonas de marcação separadas por anéis. Os impactos que atinjam uma zona de marcação classificam-se com o número de pontos correspondente a essa zona.

De acordo com a Federação Catarinense de Tiro Esportivo (2019), no alvo utilizado na modalidade estão dispostas 9 raias, sendo que a numeração impressa

da pontuação é a partir da sexta raia. Para servir de referência ao atirador, o alvo possui no entorno do centro um círculo preto com diâmetro de 26 mm e no centro um diâmetro na cor branca de 7,5 mm.

O alvo é aferido de forma eletrônica, computando valores em decimais. Como exemplo pode ser usado o tiro que atingir o “10”. Este possui um diâmetro de 10 mm. Quando o tiro atingir a linha externa do “10”, o valor aferido corresponde a 10,0 e a cada medida de 0,5 mm mais ao centro aumenta uma fração de um décimo de ponto até chegar ao tiro perfeito, o qual é aferido como 10,9. Na Figura 2 (a) pode-se observar um tiro aferido como 10,9. Já na Figura 2(b, c) podem ser observados tiros aferidos como 10,7 e 10,6 respectivamente e na Figura 2(d, e, f) a aferição teve como resultado 10,5, 10,2 e 10,1 respectivamente.

Figura 2 – Alvos com pontuações: (a) 10,9; (b) 10,7; (c) 10,6; (d) 10,5; (e) 10,2; (f) 10,1



Fonte: Elaborado pelo autor

Para levar o alvo até a distância regulamentada e efetuar os disparos, utiliza-se o transportador de alvos. Este transportador dispõe de um canal para encaixar os alvos, onde os mesmos ficam encostados em um batente confeccionado em Poliuretano com dureza de 95 Shore. É neste batente que os projéteis ficam encravados.

2.1.3 Projétil

O projétil utilizado no tiro desta modalidade é chamado de seta. Esta é composta por um corpo metálico produzido de aço inoxidável, onde o diâmetro do corpo é aproximadamente 4,5 mm (aproximadamente, pois este diâmetro pode variar de acordo com cada fabricante de armas) e o diâmetro da ponta de 2,5 mm. A cauda é confeccionada com cerdas de nylon (FEDERAÇÃO CATARINENSE DE TIRO ESPORTIVO, 2019)

A Figura 3 mostra dois projéteis para tiro esportivo - modalidade carabina ar seta e a Figura 4 mostra a chave para extração.

Figura 3 - Amostras das Setas



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4 - Chave de extração



Fonte: Elaborado pelo autor

Como nesta modalidade o projétil é reaproveitável, existe um canal no diâmetro maior do corpo da seta, conforme pode ser observado na Figura 3, o qual é projetado especificamente para sua extração. A retirada é feita com auxílio de uma chave para extração apresentada na Figura 4 que se encaixa neste canal, formando uma alavanca e retirando o projétil do batente onde está encravado.

2.2 Balística e Lançamento de Projéteis

Balística, segundo Hércules (2005), é a parte da mecânica que estuda o movimento dos projéteis e as forças envolvidas na sua impulsão, trajetória e efeitos. A balística é a ciência responsável por estudar o movimento de corpos lançados ao ar livre. Normalmente estes corpos são projéteis disparados por armas de fogo. Quando lançados por armas, o estudo dos seus movimentos é dividido em três partes: a balística interior, a balística exterior e a balística terminal.

Conforme Hércules (2005), a balística interior preocupa-se em estudar fenômenos relacionados ao momento do disparo até a saída do projétil pelo cano da arma, tais como temperatura, volume e pressão, ou até mesmo no formato da alma, raias e projéteis.

O estudo dos movimentos dos projéteis desde a saída da arma até atingir o alvo, é de responsabilidade da balística terminal. São analisados fatores como a aerodinâmica, rotação, calibre, massa, formato, velocidade inicial e movimento descrito pelo projétil até atingir o alvo (HÉRCULES, 2005).

Conforme aponta Ferreyro, (2007) alguns elementos da trajetória possuem a descrição apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Elementos da trajetória

Elemento da trajetória	Descrição
Origem da trajetória	Local da boca do cano quando o projétil sai desta posição. Não pensar apenas na origem do disparo, na posição do atirador, mas sim de onde começa o eixo da linha de disparo
Linha de mira	Inicia no olho do atirador
Linha de tiro	É o prolongamento do eixo maior do cano
Ângulo de tiro	Amplitude que existe entre a linha de tiro e a horizontal
Caminho ascendente	Etapa inicial da trajetória, quando o grau for maior que 0
Vértice de trajetória	Altura máxima que alcança o projétil durante o voo

Caminho descendente	Etapa final de um trajeto parabólico
Alcance máximo	É o alcance do projétil em subida, quando existem as condições ideais de tiro
Alcance efetivo	Distância máxima a qual pode se apontar uma arma determinada e com uma munição específica
Velocidade inicial	Velocidade de projétil ao sair do cano
Número Mach	Razão da velocidade do projétil com a velocidade do som
Velocidade remanescente, velocidade de impacto, velocidade do projétil em queda livre	Também conhecida como terminal, aqui se avalia a resistência do ar em razão do projétil em si
Energia, força e pressão	Força é a causa capaz de modificar a forma ou o estado de repouso ou de movimento de um corpo, enquanto que pressão é o quociente entre a força e a superfície

Fonte: Adaptado de Ferreyro (2007)

Antes de Galileu, acreditava-se que a trajetória descrita por um projétil era retilínea, porém Galileu e Newton demonstraram que a trajetória de qualquer corpo sob ação da gravidade era parabólica. Os métodos utilizados para a medição da velocidade dos projéteis eram variados, e podiam ser feitos através da medição do momento deles ou então da distância percorrida entre dois pontos em um intervalo de tempo.

A balística terminal se encarrega de estudar o que ocorre no momento do impacto do projétil com o alvo. O estudo de balística terminal envolve muitas formas empíricas, porém estudos teóricos são realizados também para maximizar a penetração, permitir ou não a fragmentação do projétil ao atingir o alvo, a utilização ou não de apetrechos explosivos nos extremos do projétil, aumentando desta forma sua capacidade de destruição, etc (HÉRCULES, 2005).

2.2.1. Lançamento de Projétil

Conforme descrevem Santos e Silva (2001), uma partícula é lançada com velocidade inicial V_0 , segundo um ângulo θ em relação ao eixo horizontal (lançamento oblíquo), este sobre a ação da aceleração da gravidade, agindo de forma vertical para baixo, impondo uma trajetória parabólica, resultante da composição de dois movimentos. Ainda segundo Santos e Silva (2001), a velocidade é uma grandeza vetorial. Desta forma podemos decompô-la segundo os eixos x e y , com o objetivo de estudarmos os movimentos separadamente. Com respeito a vertical, tem-se o movimento uniformemente variado e movimento uniforme segundo o eixo horizontal, visto que a aceleração da gravidade sendo vertical, não tem componente nesta direção.

Marques (2019) descreve que Galileu Galilei, físico italiano foi o precursor no entendimento da queda dos objetos e, de maneira geral, do movimento dos objetos próximos da superfície terrestre. Desde que os objetos se desloquem a distâncias pequenas, sua descrição ainda se aplica nos dias de hoje. A esses movimentos damos o nome de movimento dos projéteis. Nas circunstâncias apontadas, a força gravitacional exercida pela Terra sobre eles é aproximadamente constante.

Em sua obra *Discurso Sobre Duas Novas Ciências*, Galileu estudou o movimento dos projéteis compreendendo pontos muito relevantes deste movimento. Em seu estudo são relatados quatro aspectos, sendo que o movimento ocorre num plano vertical. O movimento pode ser decomposto em duas componentes:

- a) movimento uniforme (com velocidade constante), ao longo de um plano horizontal (normalmente o eixo “ x ”);
- b) movimento uniformemente variado (com aceleração constante) ao longo de um eixo na vertical (normalmente “ y ”).

Os itens acima são válidos desprezando a resistência do ar. Trata-se, portanto, de uma aproximação. A variável resistência do ar depende da velocidade do objeto e da sua geometria. Particularmente falando de movimento de setas, devido a sua forma construtiva, é considerado uma boa aproximação desprezar a resistência do ar.

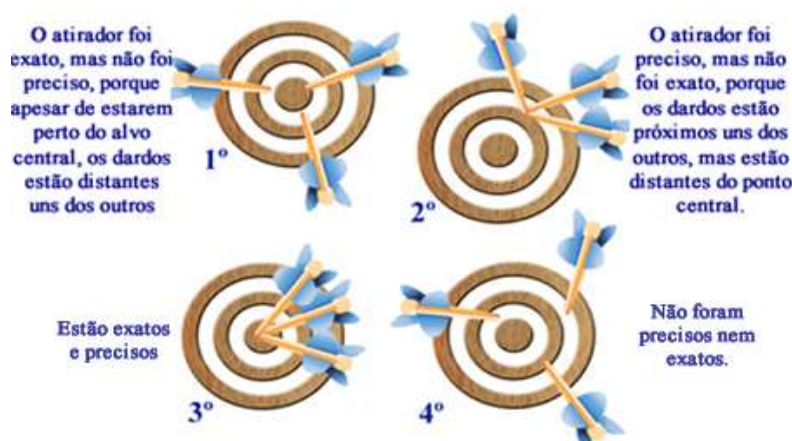
2.3 Precisão e Exatidão

Conforme Lima Junior (2012), o valor verdadeiro de uma grandeza física experimental em algumas situações pode ser considerado o objetivo final do processo de medição. Desta forma, o valor verdadeiro pode ser chamado valor alvo. Uma das maneiras de avaliar a qualidade do resultado de uma medição é fornecida pelo conceito de exatidão, que se refere à proximidade da medida com seu valor alvo. Conforme Silva (2006), pela metrologia o conceito de exatidão refere-se ao grau de concordância de uma medida com seu valor alvo, quanto mais próxima do valor verdadeiro correspondente, mais exata é a medida.

Mas como considera Lima Junior (2012), outra qualidade considerada importante de uma medida experimental é seu grau de precisão, que refere-se à dispersão entre medidas repetidas sob as mesmas condições. Medidas precisas são menos dispersas, de modo que quando repetidas, elas tendem a fornecer os mesmos resultados o que não precisam necessariamente ser resultados próximos do valor alvo. Conforme Silva (2006), a precisão ou reprodutibilidade, apresentando resultados semelhantes quando são repetidos diversas vezes e nas mesmas condições, refere-se somente ao grau de dispersão de uma medida.

Com isso diferente da exatidão, a avaliação da precisão de uma medida não leva em consideração o valor verdadeiro. É possível visualizar na Figura 5 a diferença entre a exatidão e a precisão.

Figura 5 - Exatidão e precisão



Fonte: Lima Júnior (2012)

Como se pode observar na Figura 5, a exatidão e a precisão são qualidades bastante diferentes, sendo assim é possível que o resultado de uma medição seja

exato e preciso, exato e impreciso, inexato e preciso ou inexato e impreciso.

O conceito de exatidão e precisão pode ser utilizado em dois momentos bem distintos neste trabalho. Primeiramente na verificação das medidas dos projéteis e também na análise dos resultados para comprovação ou não dos objetivos estabelecidos através dos testes de tiro.

Como foi antecipado no início deste texto, exatidão e precisão são aspectos diferentes, mas fundamentais, que precisam ser levados em consideração quando desejamos avaliar a qualidade do resultado de uma medição.

2.4 Tolerâncias Geométricas

Com o desenvolvimento de pesquisas recentes no campo da metrologia e no sistema de tolerâncias, é possível produzir dentro dos conceitos mais exigentes de produção de acordo com as necessidades dos clientes. Para isso é necessário integrar desenho, engenharia e fabricação debaixo do mesmo teto (WECKERMANN, 2008).

As tolerâncias geométricas e dimensionais precisam estar indicadas e quantificadas nos projetos das peças, pois com todos os avanços tecnológicos é impossível obter superfícies perfeitas. De acordo com Agostinho et al, (1977), para atingir um conceito de intercambialidade e funcionalidade de uma peça ou conjunto, a dimensão, forma e até mesmo o acabamento superficial precisam estar definidos e fabricados dentro das especificações.

Segundo Rosas (1983 apud DA SILVA, 2001) as tolerâncias dimensionais nem sempre são suficientes para garantir a funcionalidade das peças mecânicas, principalmente quando existe uma elevada precisão. Geralmente estas peças dispõem de elementos geométricos ligados entre si, que durante sua fabricação ficam desviados da situação ideal.

Para que não haja comprometimento na funcionalidade de peças deverão ser aplicadas tolerâncias às mesmas, podendo estas ser de forma, de orientação, de posição e de batimento. Este conjunto de tolerâncias são denominadas de tolerâncias geométricas (ROSAS,1983).

No Brasil a norma que estabelece os princípios gerais para a indicação das tolerâncias geométricas é a NBR 6409. De acordo com esta norma, tolerâncias de forma e de posição precisam ser indicadas quando necessárias durante o processo

de fabricação, para garantir a intercambialidade e os requisitos funcionais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997).

Ainda de acordo com a NBR 6409 (1997), ao se indicar uma tolerância de forma ou posição, não se condiciona um processo particular de fabricação ou até mesmo de medição. Desvios de forma são considerados os graus de variações das superfícies reais em relação aos sólidos que os definem.

Durante a fabricação de peças é impossível produzir peças perfeitas, mas para a tolerância de forma deve-se entender o elemento de referência como tal. As superfícies sempre apresentarão irregularidades e ondulações, mesmo que sejam imperceptíveis ou pareçam completamente lisas (KÖNIG, 1981, apud BEZERRA, 1998).

Na Tabela 2 estão descritas algumas tolerâncias que foram utilizadas na elaboração deste trabalho.

Tabela 2 - Tolerâncias geométricas

Tipo da tolerância	Descrição das tolerâncias
Tolerância de cilindricidade	O campo de tolerância é limitado por dois cilindros coaxiais, afastados de uma distância "t".
Tolerância de circularidade	O campo de tolerância é limitado na seção de medição por dois círculos concêntricos, afastados de uma distância "t"
Tolerância de coaxialidade de um eixo	O campo de tolerância é limitado por um cilindro de diâmetro "t", cuja linha de centro coincide com a linha de referência, se o valor da tolerância for precedido pelo símbolo \emptyset
Tolerância de batimento circular radial	O campo de tolerância é limitado, em qualquer plano perpendicular à linha de centro, por dois círculos concêntricos, afastados de uma distância "t", cujos centros coincidem com a linha de referência

Fonte: Adaptado de NBR 6406 (1997)

2.5 Aço Inoxidável

Considerando que o projétil estudado neste trabalho é fabricado em aço inoxidável, faremos uma abordagem sobre este tipo de material, falando de suas características, composição, classificação e empregabilidade.

O termo aço inoxidável é atribuído a um grupo de aços que tenham em sua composição uma quantidade mínima de 10,5% de cromo tornando-o muito resistente a corrosão. Além do cromo, a liga é composta basicamente de ferro e carbono, onde este último pode variar de 0,03% a 1%. Quando pretende-se melhorar uma propriedade específica, outros elementos como o níquel, molibdênio, cobre, titânio, nitrogênio, alumínio, nióbio e silício são acrescentados (ALLENSTEIN, 2007).

Como já mencionado anteriormente, o principal elemento do aço inoxidável é o cromo, sendo este responsável pela resistência a corrosão. De acordo com Barbosa et al (2003), o cromo forma camadas muito finas e aderentes de óxido de cromo (Cr_2O_3) na superfície do material tornando-o protegido dos efeitos corrosivos.

Os aços inoxidáveis podem ser divididos em ferríticos, martensíticos e austeníticos. Estes últimos são os mais comuns. Apresenta resistência a corrosão mais elevada e não podem ser endurecidos através do tratamento térmico (VILARES METALS, 2019).

Os aços inoxidáveis austeníticos são ligas não-magnéticas de ferro-cromo-níquel contendo tipicamente 8% de níquel, com baixo teor de carbono. Apresentam boas propriedades mecânicas, boa soldabilidade, trabalhabilidade a frio e resistência à corrosão. Podem ser endurecidos por deformação e, neste estado, são ligeiramente magnéticos. As adições de elementos de liga como o molibdênio e a redução do teor do carbono melhoram sua resistência à corrosão.

Os aços inoxidáveis austeníticos possuem como principais características a alta taxa de encruamento, boa resistência mecânica, alto limite de resistência a tração e um elevado módulo de ruptura, o que o torna de difícil usinabilidade. Outro fator prejudicial na usinagem é a baixa condutividade térmica. Essa característica faz com que o calor gerado durante a usinagem se concentre nas regiões de cisalhamento, o que eleva muito a temperatura de corte (SHAO et al.,2007; CHUMBINHO; ABRÃO,2002; PARO et al.,2001; GENARI et al ,1999).

De acordo com Machado; Da Silva (2004), a usinabilidade pode ser definida como sendo uma grandeza descrita pela dificuldade ou a facilidade em usinar os materiais.

Como exemplos de aplicação para o aço inoxidável 304 pode-se destacar a utilização na indústria farmacêutica, alimentícia, petroquímica, hospitalar, de bebidas, papel, óleo e gás e na indústria aeroespacial. Pode-se citar como peças, a fabricação para tubulações, condutores de água pluviais, tanques de fermentação de cerveja, implantes dentários, equipamentos para leiteria, entre outros (KLOECKNER METALS, 2019).

O material empregado para a fabricação dos projéteis para tiro esportivo - modalidade carabina ar seta é o aço inoxidável AISI 304, da classe dos austeníticos. Apresentam uma estrutura cúbica de face centrada (CFC) e possui baixo teor de carbono em sua composição, cerca de 0,08% além de 17% de cromo e 8% de níquel (OLIVEIRA, 2004). A Tabela 3 apresenta a composição química do aço inoxidável 304.

Tabela 3 - Composição Química Aço Inoxidável 304 (% em peso)

C máx	Mn máx	Si máx	P máx	S máx	Cr	Ni
0,08	2,00	1,00	0,045	0,03	18 a 20	8 a 12

Fonte: ARINOX (2019)

Segundo Kloeckner Metals (2011), os aços inoxidáveis austeníticos apresentam propriedades mecânicas com valores de resistência à tração podem atingir 530 a 770 Mpa, limites de escoamento de 240 a 350 Mpa, dureza Rockwell-B 75 a 85 e uma taxa de alongamento de 50 a 65%.

2.6 Processos de Usinagem

Existem inúmeros processos de usinagem. Neste trabalho foram realizados experimentos utilizando os processos de usinagem por torneamento, furação e retificação. Desta maneira apenas serão apresentadas informações referentes a estes processos. Ainda, levando em consideração o material a ser usinado, serão abordadas também informações referentes às características da usinagem de aços inoxidáveis.

Como operações de usinagem entendemos aquelas que, ao conferir à peça a forma, ou as dimensões ou o acabamento, ou ainda uma combinação qualquer destes três itens, produzem cavaco. Definimos cavaco, a porção de material da peça retirada pela ferramenta, caracterizando-se por apresentar forma geométrica irregular. (FERRARESI, 1970, p.XXV.)

Com relação a usinagem dos aços inoxidáveis austeníticos, estes são considerados de difícil usinagem, pois durante o processo, o material sofre severo encruamento, podendo aderir na ferramenta e tem tendência de formar cavacos longos. Tem como característica apresentar baixa condutividade térmica e ter uma alta sensibilidade a tensões. (JANG et al e OUTERIO et al.),

Durante os processos de usinagem, se não houver condições adequadas de refrigeração, os aços inoxidáveis, devido ao elevado coeficiente de dilatação térmica, comparados com outros aços carbono, apresentam dificuldades em manter as tolerâncias de usinagem. (CAPUCCIO et al 1996).

2.6.1 Torneamento

Para a fabricação do projétil para tiro esportivo - modalidade carabina ar seta, o processo de usinagem mais tradicional é o torneamento. Neste subcapítulo serão apresentadas as características do processo de torneamento, com especial atenção à usinagem de peças de pequenas dimensões.

Torneamento – Processo mecânico de usinagem destinado a obtenção de superfícies de revolução com auxílio de uma ou mais ferramentas monocortantes. Para tanto, a peça gira em torno do eixo principal de rotação da máquina e a ferramenta se desloca simultaneamente segundo uma trajetória coplanar com o referido eixo. (FERRARESI, 1970, p. XXVI).

Neste processo, a máquina utilizada é o torno. Algumas variáveis presentes no processo de torneamento são: a velocidade de corte v_c (m/min), a profundidade de corte a_p (mm) e o avanço f (mm/ rot) (MACHADO et al, 2009).

De acordo com a finalidade, as operações de torneamento podem ser classificadas em torneamento de desbaste ou de acabamento. Ferraresi (1970) diz que o torneamento de desbaste confere a peça forma e dimensões próximas das finais, enquanto que no acabamento obtém-se as dimensões finais da peça com o acabamento superficial especificado.

A usinagem de peças pequenas tem como objetivo fabricar peças com dimensões reduzidas, objetivando uma melhora no acabamento superficial durante a remoção do cavaco. De acordo com Maranhão et al (2012), recomenda-se, para a usinagem de peças com dimensões reduzidas, optar primeiramente por processos de usinagens já estabelecidos como o torneamento, a retificação e o fresamento.

Seguindo os mesmos autores, é possível conferir alta qualidade superficial juntamente com a precisão dimensional e geométrica através do processo de usinagem. A desvantagem seria pela utilização de máquinas ferramentas com dimensões reduzidas, já que nestes processos há a necessidade da utilização de baixos avanços e com poucas profundidades de corte em virtude da retirada de cavacos com espessuras finas.

O manual técnico da Sandvik (2010) orienta para que antes do início da operação de torneamento de peças pequenas, seja executada a furação ou torneamento interno das castanhas, com o objetivo de aumentar a estabilidade das peças, já que o material ficará preso por elas.

Pastilhas com arestas de corte extremamente vivas demonstram uma boa performance com baixo avanço, além de gerarem baixas forças de corte. Ainda de acordo com o manual técnico da Sandvik (2010), não deve-se utilizar valores de avanço maiores que o raio da ponta. Exemplo. (Raio da ponta 0,1 mm, avanço máximo de 0,1 mm/rot.)

Sandvik (2010) apresenta alguns cuidados iniciais a serem observados na usinagem de peças pequenas. Recomenda-se nunca utilizar profundidades de corte menores que o raio da ponta, pois gerarão forças radiais altas, que podem resultar em peças com dimensões imprecisas. No caso de torneamento longitudinal, o indicado são pastilhas do tipo v que permite a utilização de grandes e pequenas profundidades de corte, com bom controle de cavacos e oferecendo excelente acabamento superficial.

Ainda de acordo com o manual técnico da sandvik (2010), o raio da ponta na pastilha é um fator chave nas operações de torneamento. Raios de ponta pequenos são ideais para profundidade de corte pequenos, reduzem as vibrações oferecendo menos resistência por parte da pastilha. Enquanto que os raios de ponta grandes são indicados para elevadas faixas de avanço, grandes profundidades de corte, ocasionando o aumento das forças radiais.

As forças radiais são aquelas que tentam empurrar a pastilha para fora da superfície de corte, transformando-se em forças axiais quando a profundidade de corte aumenta. Esta profundidade não deve ser menor do que $2/3$ do raio da ponta enquanto que o avanço deve ser metade da ponta.

2.6.2 Furação

A furação é um processo mecânico de usinagem destinado a obtenção de um furo geralmente cilíndrico numa peça, com auxílio de uma ferramenta geralmente multicortante. Para tanto a ferramenta ou a peça giram simultaneamente a ferramenta ou a peça se deslocam segundo uma trajetória retilínea, coincidente ou paralela ao eixo principal da máquina. (FERRARESI, 1970, p. XXIX)

A furação se caracteriza através do movimento de corte circular da ferramenta, onde o movimento de avanço ocorre somente na direção do eixo de rotação. A condição do processo de corte durante a furação é realizada de forma desfavorável, pois a velocidade de corte varia de zero no centro da ferramenta até a máxima na periferia, fazendo com que esta velocidade não seja uniforme (DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 1999)

A qualidade do processo de furação é definida de acordo com os erros dimensionais e geométricos, pela textura superficial e pela presença de rebarbas. Para que se obtenha uma boa precisão resultante da furação é necessário adequar o grau da afiação e a geometria da ponta da broca (TOOL AND MANUFACTURING, 1983).

Os erros de forma mais comuns observados na furação são a circularidade e a cilíndricidade. As causas para o surgimento destes erros podem ser a baixa rigidez da máquina ou a fixação inadequada da peça e/ou ferramenta. Outro erro que pode ser encontrado é o batimento, que também é influenciado pela fixação da peça e da ferramenta (SANDVIK COROMANT, 1994 e MIRANDA, 2003).

Para que o processo de furação seja bem-sucedido, a ferramenta precisa apresentar um batimento radial mínimo. O valor deverá ser menor que 0,02 mm, garantindo paralelismo e o alinhamento com a peça. Desta forma é possível alcançar bom acabamento superficial, retilineidade e tolerâncias estreitas do furo, além de prolongar a vida útil da ferramenta (SANDVIK COROMANT, 2010).

Ainda de acordo com o manual técnico da Sandvik (2010), durante a furação de aços inoxidáveis é necessário a utilização de fluidos de corte. Quando possível, é aconselhável utilizar óleo de corte puro no processo de furação.

Durante o processo de furação é bem comum ocorrerem erros na geometria dos furos. A Tabela 4 apresenta os erros relacionados a esta operação de usinagem.

Tabela 4 - Erros no processo de furação

Erros	Descrição
Erros de forma	Diâmetro não uniforme
Rebarba	Rebarba na entrada ou saída do furo
Erros de posicionamento	Deslocamento do centro do furo
Erros de circularidade	Seção circular distorcida
Erros de dimensão	Diâmetro resultante diferente da broca

Fonte: Adaptado de Sandvik (2010)

2.6.3 Retificação

A máquina utilizada no processo de retificação é chamada de retificadora, estas podem ser classificadas como planas, cilíndricas universais e as cilíndricas sem centro (center less). Normalmente esse tipo de usinagem é empregado depois de realizados outros processos de usinagem como o fresamento ou o torneamento, pois trata-se de um processo de acabamento (FUNDAÇÃO ROBERTO MARINHO, 1996)

Neste trabalho utilizou-se apenas a retificadora cilíndrica universal, para tanto, serão relatadas informações apenas deste tipo de máquina.

A retificação é um processo de usinagem por abrasão destinada à obtenção de superfícies com auxílio de ferramenta abrasiva de revolução. Para tanto, a ferramenta gira e a peça ou a ferramenta se desloca segundo uma trajetória determinada, podendo a peça girar ou não. (FERRARESI, 1970, p. XXXVII)

Segundo Felipe Jr (1996), o processo de retificação é definido como sendo um processo de acabamento, pois confere as superfícies retificadas, altas qualidades superficiais e dimensionais. A qualidade superficial também pode ser denominada como rugosidade. Diversos fatores podem influenciar na rugosidade durante o processo de retificação.

Entre estes fatores podem ser citados:

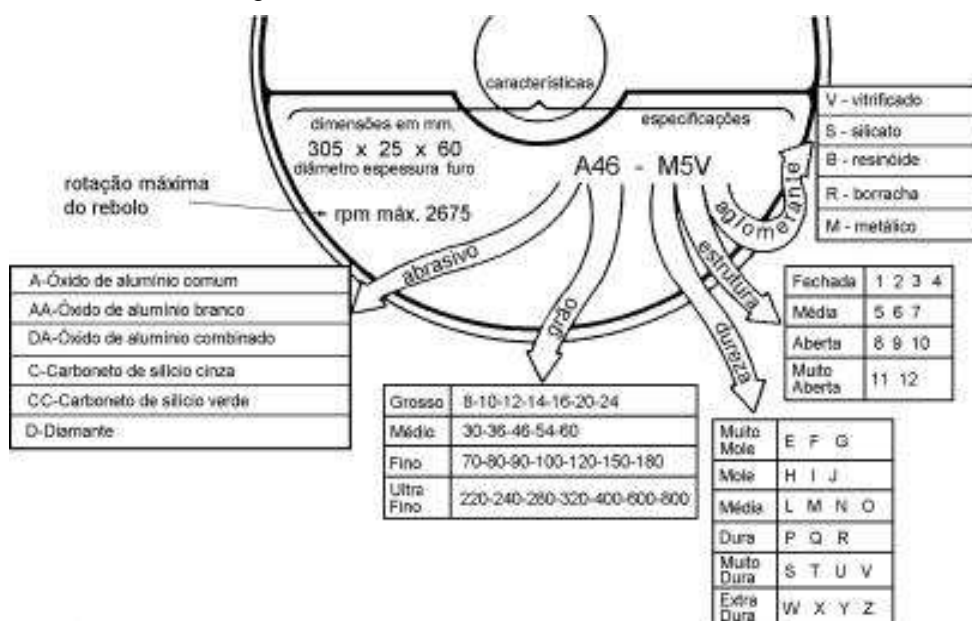
- rigidez da máquina;
- vibrações causadas durante o processo de usinagem;
- balanceamento do rebolo;
- granulação do rebolo;
- estado de afiação do rebolo;
- tipo de operação (passagem ou mergulho);
- tempo de centelhamento (spark-out).

Para que se tenha um bom resultado no processo de retificação, é fundamental a escolha correta do rebolo de corte. Conhecer as características dos rebolos e utilizá-lo corretamente em função de material que se deseja retificar, ajuda na taxa de remoção, na conservação da vida útil do rebolo e principalmente no acabamento superficial da peça.

De acordo com Diniz et al. (1999), são cinco as características dos rebolos que devem ser observados, e são apresentadas na Figura 6:

- o material do grão abrasivo, ou seja, o elemento cortante;
- o tamanho do grão;
- a dureza do rebolo;
- a estrutura do rebolo;
- o tipo de liga aglomerante.

Figura 6 - Características dos rebolos



Fonte: Fundação Roberto Marinho, 1996.

Um dos primeiros fatores que precisam ser observados na escolha de um rebolo é o tipo de grão que ele possui, pois deve haver uma afinidade entre o grão do rebolo com o material que se pretende usinar. O Tipo de grão é também chamado de abrasivo. Estes abrasivos encontrados na natureza são classificados como naturais e os obtidos através de processos industriais são chamados de sintéticos ou artificiais. Segundo Nussbaum (1988), os abrasivos naturais dividem-se em siliciosos e não siliciosos. Como siliciosos podemos citar o quartzo, a sílica, a pedra pomes, o pó vulcanizado e a doatomita. Entre os não siliciosos estão o diamante, o corindon, o esmeril e a granada. Existem ainda os abrasivos moles que englobam o feldspato, a dolomita, o óxido de cálcio (CaO), e os óxidos metálicos.

A dureza diz respeito a capacidade do rebolo em reter os grãos, evitando que os mesmos sejam arrancados. Isso está diretamente ligado ao tipo de ligante, do tamanho do grão e do espaçamento existente entre eles. Um rebolo duro retém mais os grãos enquanto que um rebolo mole tem seus grãos arrancados com facilidade. Segundo Krar (1995), a dureza ideal de um rebolo é quando os grãos se desprendem por si só durante a operação de retificação quando estão gastos, fazendo com que a operação de reafiação seja mínima.

A estrutura está ligada diretamente ao espaçamento médio dos grãos e a densidade do rebolo. Rebolos com uma estrutura fechada possuem um maior número dos grãos abrasivos na periferia do rebolo, aumentando o número de arestas cortantes, enquanto rebolos de estrutura aberta possuem lacunas maiores entre os grãos onde se alojam os cavacos reduzindo a tendência de entupimento.

O termo granulometria está diretamente ligado à uniformidade e ao tamanho do grão. De acordo com Krar (1995), rebolos com granulometria grossa são indicados para operações de desbaste, onde são feitos o corte e a limpeza. Rebolos com grãos finos são indicados nas operações de acabamento como a lapidação e o polimento. O tamanho do grão influencia diretamente na taxa de remoção do material e no esforço de corte.

O ligante ou aglomerante tem a função de manter os grãos abrasivos unidos ao rebolo até o ponto em que estes percam a sua capacidade de corte. O aglomerante deve ser resistente, suportar esforços de corte entre o ligante e o grão abrasivo, formando pontes entre as seções transversais e suportar uma energia de ligação para garantir a fixação do grão (STEMMER, 1992).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Levando em consideração as informações contidas no capítulo anterior e os objetivos deste trabalho, neste capítulo são apresentados os passos que foram seguidos para a fabricação dos corpos de prova e testes de tiro, bem como a coleta de dados.

Durante a prática de tiro ao alvo, o autor observou que os projéteis que apresentavam resultados satisfatórios no tiro também apresentavam marcas em toda a extensão do corpo de maior diâmetro. E por outro lado, os projéteis com resultados menos satisfatórios em termos de pontuação ficavam marcados apenas em alguns pontos específicos na extensão do mesmo corpo. Assim, surgiu a hipótese de que os projéteis apresentavam pequenos defeitos de fabricação que prejudicavam o seu desempenho.

O planejamento dos experimentos foi elaborado de forma que a variação dos processos de usinagem dos projéteis produzisse características diferentes na sua fabricação, permitindo identificá-las através dos testes de medição.

Com a realização dos testes práticos de tiro busca-se identificar os projéteis que apresentem melhor resultados em termos de pontuação e compará-los com os resultados das medições. Desta forma, ficaria possível propor um processo adequado para a fabricação dos projéteis.

3.1 Planejamentos Dos Experimentos

Considerando a proposta do presente trabalho, foram definidos 2 fatores com 2 níveis cada um, conforme Tabela 5 - Fatores e níveis.

Tabela 5 - Fatores e níveis

Fator	Nível 1	Nível 2
Usinagem Externa	Torneamento	Retificação
Usinagem Interna	Furação	Torneamento

Fonte: Elaborado pelo autor

Empregando-se a ferramenta estatística de planejamento de experimentos (fatorial completo) para a definição dos processos de fabricação do projétil, obteve-

se um total de 4 processos de fabricação distintos. Ainda, para análise estatística, foram feitas 3 réplicas de cada processo. Na Tabela 6 estão apresentados estes processos bem como a identificação de cada projétil.

Tabela 6 - Identificação dos processos e projéteis

Processo	Réplica	Usinagem Externa	Usinagem Interna	Identificação do Projétil
1	1	Torneamento	Furação	TF1
2	1	Torneamento	Torneamento	TT1
3	1	Retificação	Furação	RF1
4	1	Retificação	Torneamento	RT1
1	2	Torneamento		TF2
2	2	Torneamento	Torneamento	TT2
3	2	Retificação	Furação	RF2
4	2	Retificação	Torneamento	RT2
1	3	Torneamento	Furação	TF3
2	3	Torneamento	Torneamento	TT3
3	3	Retificação	Furação	RF3
4	3	Retificação	Torneamento	RT3

Fonte: Elaborado pelo autor

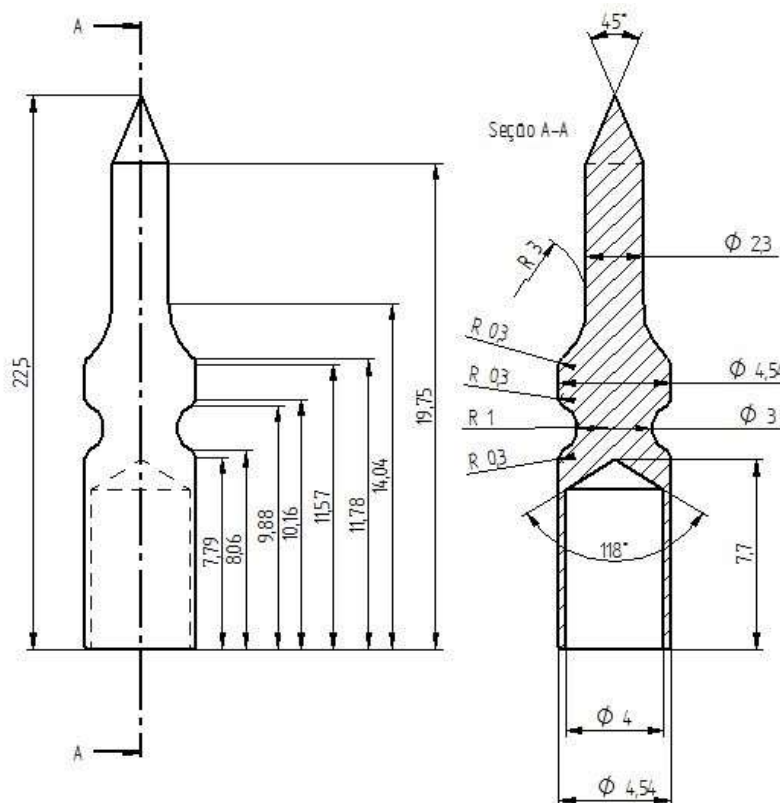
3.2 Material e Dimensões do Projétil

O material utilizado para fabricar os corpos de prova foi aço inoxidável AISI 304, com diâmetro de 4,72 mm cortados com comprimento de 500 mm. Este material foi escolhido por apresentar uma elevada resistência à corrosão, sendo esta uma condição indispensável na fabricação dos projéteis reaproveitáveis.

Outras características deste material são a densidade de 8 g/cm³, uma resistência a tração de 505 Mpa, um módulo de elasticidade de 193 GPa, Dureza Brinell de 123, Coeficiente de expansão térmica de 17.3 µm/m°C e uma Condutividade térmica de 18,7 W/m.K a 100°C.

Na Figura 7 é apresentado o desenho técnico do projétil. Em testes anteriores realizados pelo autor, este identificou que para a arma para qual seriam fabricados os projéteis o diâmetro do corpo maior deve ser de 4,535 mm, podendo ter variação de $\pm 0,004$ mm.

Figura 7 - Desenho do projétil



Fonte: Elaborado pelo autor

3.3 Máquinas de Usinagem Empregadas

3.3.1 Retificadora cilíndrica

A retífica cilíndrica utilizada é da marca Sul mecânica, modelo Raup 1250/E com rotação do rebolo de 1730rpm e rotação da peça de 150rpm.

3.3.2 Torno

O torno usado para fazer a usinagem dos corpos de prova foi um torno da marca ROMI modelo GALAXY 15 com rotação máxima de 5500 rpm e potência de acionamento de 18 KVA. Os cursos máximos da máquina são: 200 mm no eixo X;

540 mm no eixo Z. O diâmetro máximo torneável é de 280 mm.

3.4 Ferramentas de Corte

3.4.1 Rebolo

O rebolo utilizado na operação de retificação é da marca ACRE Continental com a seguinte especificação: 99C80K7V52. Com dimensões de 355,6 mm x 127 mm x 10 mm. Este rebolo é composto por um abrasivo de carboneto de silício verde, com uma granulação fina, com um grau de dureza média, também apresentando uma estrutura média e o aglomerante de sua composição é do tipo vitrificado.

3.4.2 Ferramenta para Torneiar Externo

Para as operações de torneamento nos diâmetros externos dos projéteis, foram utilizados insertos de metal duro com a descrição VCMT 160402-SM IC807. Esta ferramenta possui o formato V, com comprimento de 16 mm, uma espessura de 4,76 mm e o raio da ponta de 0,2 mm. É indicada para a usinagem de ligas resistentes ao calor como os aços inoxidáveis austeníticos e os aços duros, utilizando médias e baixas velocidades de corte.

No faceamento, o inserto utilizado foi de metal duro com descrição de TNMG 160408-TF também com as mesmas indicações da ferramenta anterior. Esta ferramenta possui o formato triangular com 16 mm de comprimento dos lados, espessura de 4,76 mm e um raio de ponta de 0,4 mm.

3.4.3 Broca de Centrar

Os furos de centro foram feitos com uma broca de centrar da marca DORMER, produzida em aço rápido e com diâmetro da ponta de 2 mm com 2,5 mm de comprimento. O corpo dessa broca tem diâmetro de 5 mm com comprimento total de 40mm.

3.4.4 Brocas Helicoidais

Para realização dos furos, foram utilizadas brocas helicoidais de aço rápido com diâmetros de 3,5 a 4,0 mm da marca LENOX-TWILL. As brocas não possuíam qualquer tipo de revestimento e sua afiação apresentava ângulos de hélice com 30° de inclinação e ângulo da ponta com abertura igual a 118°.

3.4.5 Ferramenta para Torneiar Interno

Para o processo do torneamento interno não havia disponível uma ferramenta específica para realizar esta operação. Desta maneira empregou-se uma fresa topo de dois cortes, produzida em aço rápido HSS, com diâmetro de 3 mm.

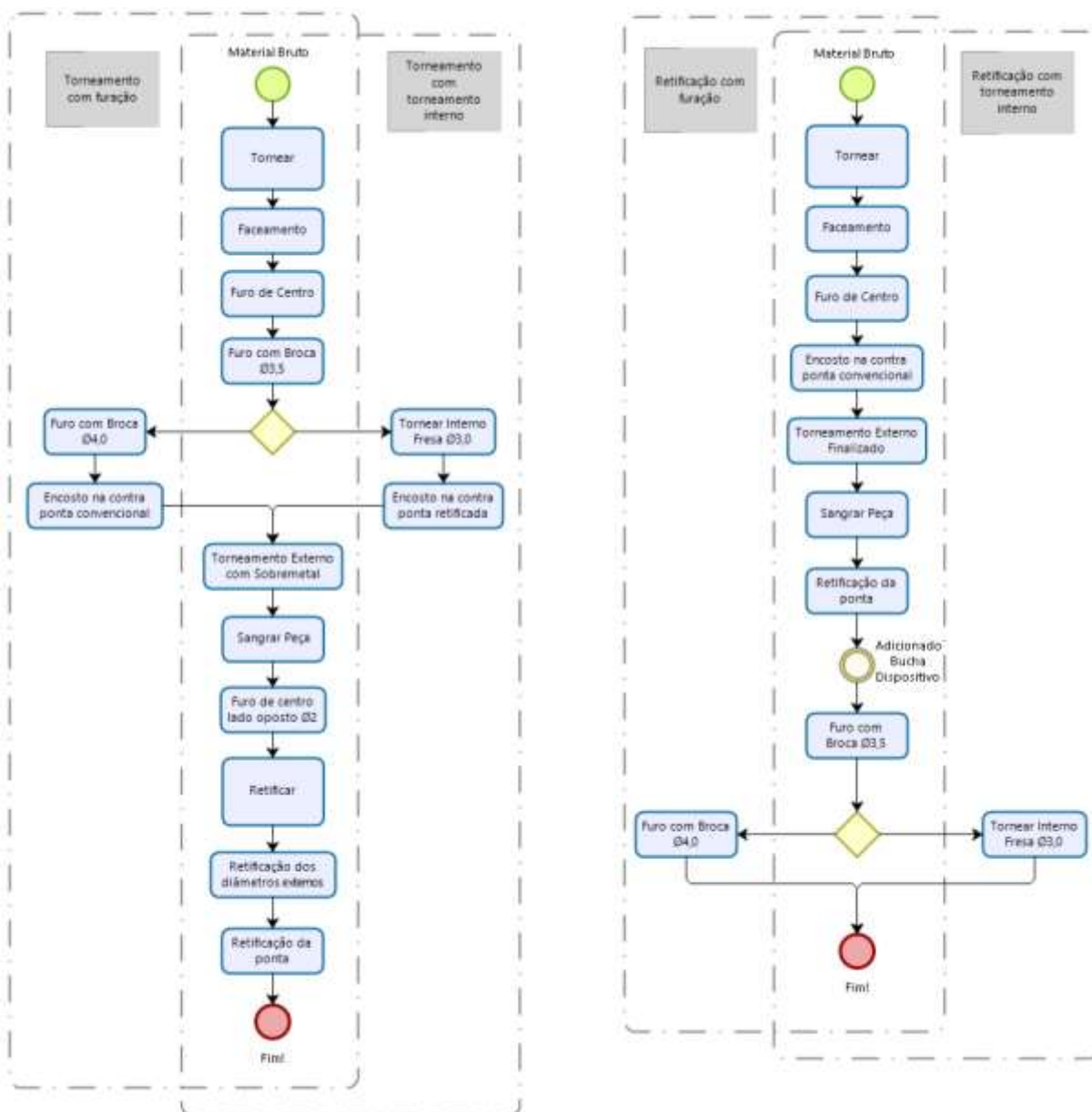
3.5 Processos de Fabricação Empregados

Todos os processos de usinagem necessários para a produção dos corpos de prova foram executados na empresa Tornearia Guido LTDA, em Jaraguá do Sul.

Os corpos de prova foram produzidos por processos de usinagem. Para a usinagem externa, foram empregados o torneamento e a retificação. Para a usinagem interna foram empregados o torneamento e a furação.

Na Figura 8 são apresentadas as sequências das operações para cada um dos processos listados na Tabela 6 (p.35).

Figura 8 - Fluxograma dos processos



Fonte: Elaborado pelo autor

Os parâmetros de corte empregados estão apresentados na Tabela 7 e na Tabela 8.

Tabela 7 - Parâmetros de corte nas operações de torneamento e furação

Etapa do Processo	Rotação (rpm)	Velocidade de Avanço (mm/rot)	Profundidade de Corte (mm)
Faceamento	2000	0,15	0,5
Torneamento Externo (Desbaste)	3000	0,05	0,2
Torneamento Externo (Acabamento)	3000	0,01	0,1
Furação de Centro	900	0,04	
Furação broca 3 mm	1600	0,04	
Furação broca 4 mm	1400	0,05	
Torneamento interno (Fresa 3 mm)	800	0,05	0,1

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 8 - Parâmetros de corte nos processos de retificação

Etapa do Processo	Rotação do Rebolo (rpm)	Rotação da Peça (rpm)	Tipo de Retificação
Retificação do diâmetro maior	1730	80	Passagem
Retificação do diâmetro menor	1730	150	Mergulho
Retificação da ponta	1730	150	Mergulho

Fonte: Elaborado pelo autor

Durante todas as operações de usinagem foi empregado o fluido de corte aplicado em forma de jato abundante.

Para realizar a operação de furação das peças torneadas, optou-se em utilizar um dispositivo com uma pinça no diâmetro de 8 mm. Nesta pinça foi colocada uma bucha de bronze, na qual foi realizada uma furação com medida de 4,535 mm. Em seguida, os corpos de prova foram fixados na bucha de bronze onde efetuou-se a furação. Esta bucha de bronze foi utilizada para evitar danos na superfície já acabada do projétil. Esta mesma bucha foi empregada também para a retificação da

ponta dos projéteis. A Figura 9 mostra este dispositivo.

Figura 9 - Bucha para fixação das peças com o corpo maior acabado



Fonte: Elaborado pelo autor

Os corpos de prova onde os furos foram acabados com uma fresa foram encaixados numa contra ponta intercambiável já retificada previamente com a medida de 4 mm (igual a medida do furo do projétil), que pode ser vista na Figura 10. Os corpos de prova onde a furação foi realizada com a broca, utilizou-se uma contra ponta cônica normal para o encosto, facilitando o torneamento dos diâmetros externos.

Figura 10 - Ponta intercambiável retificada

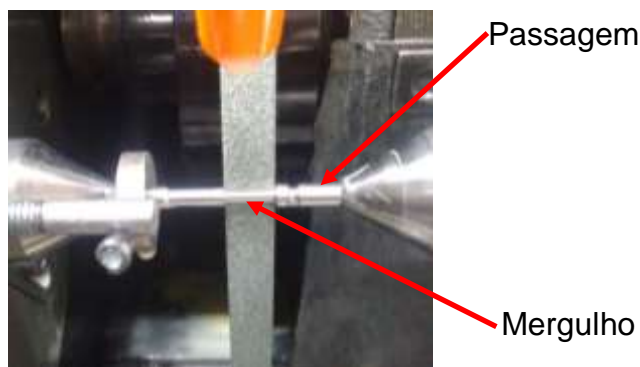


Fonte: Elaborado pelo autor

A retificação foi realizada nos dois diâmetros do corpo externo dos projéteis. No diâmetro maior que apresenta parede fina, foi realizada retificação de passagem utilizando uma profundidade de corte de 0,01 mm por passe. A retificação do diâmetro menor foi realizada através do processo de mergulho, avançando de forma lenta até atingir a medida estabelecida.

Na Figura 11 podem ser observadas as regiões onde foram executadas as operações de retificação externa nos projéteis.

Figura 11 - Regiões retificadas



Fonte: Elaborado pelo autor

Em todos os corpos de prova, independente do processo de fabricação, a ponta foi acabada através da operação de retificação, utilizando uma bucha de bronze com furação no diâmetro do corpo maior do projétil, conforme citado anteriormente.

3.6 Medições

Os trabalhos de medição foram realizados no laboratório de metrologia do Instituto Federal de Santa Catarina Câmpus Florianópolis. A temperatura do laboratório é constante e estava regulada em 20°C.

Para realizar o trabalho de medição dos corpos de prova foi utilizada uma máquina de medir forma da marca Mitutoyo, modelo Roundtest RA-1600, apresentada na Figura 12. Esta máquina possui as seguintes características:

- retitude do eixo Z(coluna): 0,2 μm /100 mm;
- paralelismo do eixo Z ao eixo de rotação: 1,5 μm /300 mm;
- retitude do eixo X (braço): 2,7 μm /140 mm;
- perpendicularidade do eixo X ao eixo de rotação: 1,6 μm /140 mm;
- força de medição do sensor: 10 a 50 Nm (1 a 5 gf);

f) faixa de detecção do sensor: $\pm 400 \mu\text{m}$ / $\pm 40 \mu\text{m}$ / $\pm 4 \mu\text{m}$.

Figura 12 - Máquina de medir forma



Fonte: Elaborado pelo autor

Na agulha do sensor foi colocada uma ponta esférica de Rubi com 1 mm de diâmetro e a força de medição utilizado no sensor foi de 30 Nm (3gf).

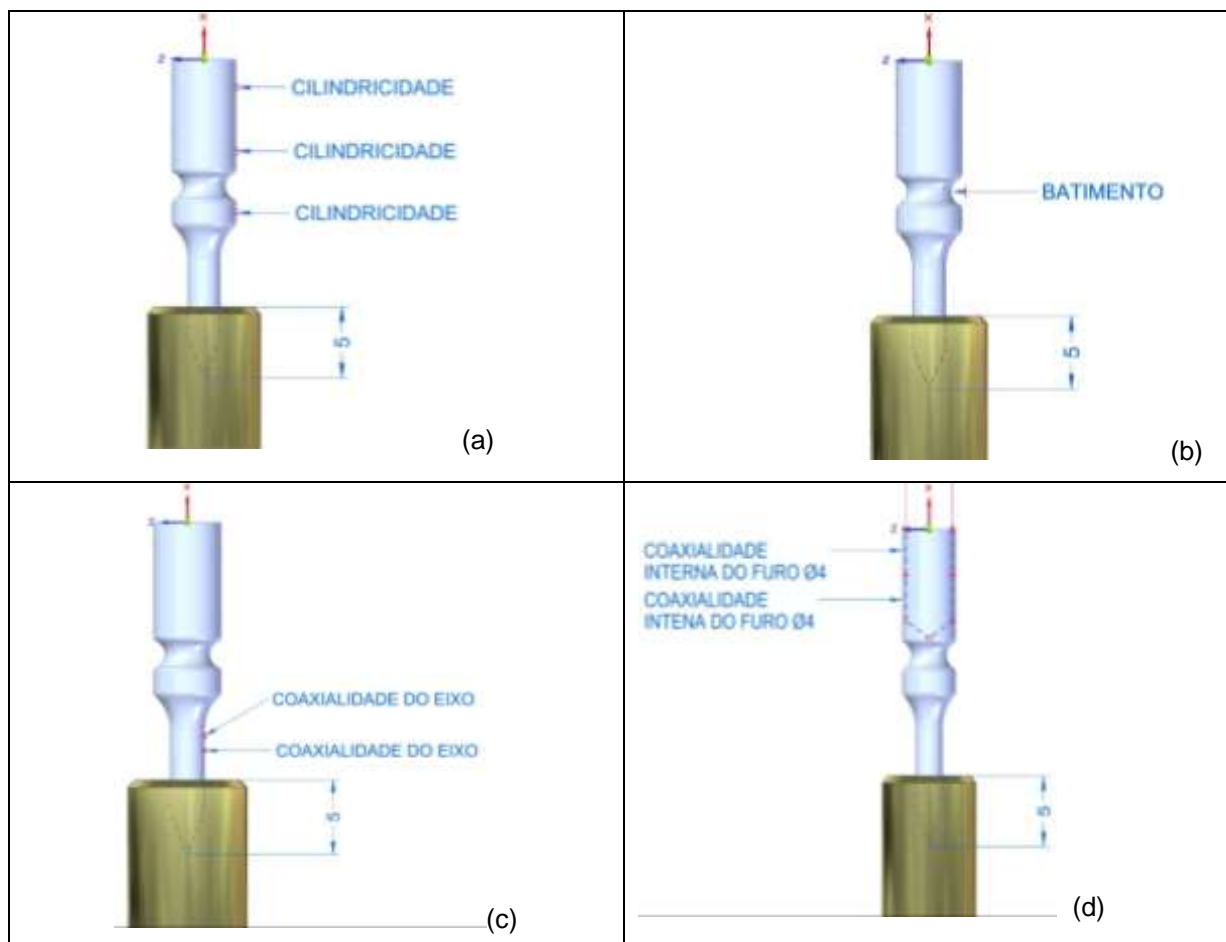
O processo de medição dos projéteis consistiu em fixar as peças de modo que possibilitasse à máquina efetuar toques nos pontos pré-estabelecidos. Os movimentos para as operações de medição foram definidos através de programação CNC em software dedicado. O mesmo software é responsável pela coleta dos dados de medição, bem como a apresentação dos resultados das medições.

As medições foram realizadas com o objetivo de verificar a cilindricidade, a coaxialidade e o batimento dos corpos de prova. Foram determinados alguns pontos de referência na realização das medições e através da programação, estes pontos de contato sempre se repetiram em todos os corpos de prova.

Foram realizadas as seguintes medições:

- a) cilindricidade do corpo com 4,535 mm de diâmetro (Figura 13 (a));
- b) batimento entre o corpo 4,535 mm de diâmetro e canal de extração (Figura 13 (b));
- c) coaxialidade entre o corpo 4,535 mm de diâmetro e corpo com 2,35 mm de diâmetro (Figura 13 (c));
- d) coaxialidade entre o corpo 4,535 mm de diâmetro e furo (Figura 13 (d)).

Figura 13 - Pontos de medição



Fonte: Elaborado pelo autor

Para facilitar a fixação das peças junto à placa de fixação da máquina, foi confeccionada uma pinça especificamente para prender estas peças de tamanho reduzido. Esta pinça pode ser vista na Figura 14. Ela possui um furo central com profundidade de 5 mm e com medida de 0,1mm menor que o diâmetro da ponta do projétil. O fundo do furo serviu como encosto da peça.

Figura 14 - Fixação da peça para medição



Fonte: Elaborado pelo autor

Também foi realizada a medição do diâmetro maior dos projéteis. Esta medição foi realizada com um micrômetro externo digital da marca DIGIMESS, IP 40 com capacidade de medição de 0-25 mm e resolução de 0,001 mm.

3.7 Inserção das Cerdas

Para a inserção das cerdas, os projéteis foram enviados para um profissional que executa este tipo de atividade. Esta etapa não foi levada em consideração nas análises, tendo em vista que não se teve controle sobre ela.

3.8 Testes Práticos de Tiro

Para dar confiabilidade nos testes práticos de tiro foi utilizada uma arma que apresenta desempenho satisfatório nesta modalidade de tiro. A arma utilizada é da marca CZ, não possuindo modelo, sendo fabricada na antiga Tchecoslováquia.

Na realização dos testes práticos de tiro para analisar o resultado dos corpos de prova, utilizou-se uma morsa fixada em uma coluna de concreto com quatro parafusos. Para facilitar a fixação da arma na morsa, foram preparados dois blocos de alumínio com dimensões de 200 mm x 40 mm x 20 mm com um canal fresado nos dois blocos para que se pudesse prender a arma através do cano. A Figura 15 mostra o formato destes blocos.

Figura 15 - Blocos para fixação da arma



Fonte: Elaborado pelo autor

Com a intenção de verificar se o projétil era lançado sempre com a mesma velocidade pela arma, fez-se o uso de um cronógrafo balístico da marca Anschutz, modelo CHRONO-02. O equipamento mede velocidades entre 6 a 500 m/s, possui

erro de medição $\leq 1\%$ a 250 m/s e com capacidade de memorização de 250 medições.

O aparelho foi colocado a uma distância de 5 cm em relação a ponta do cano. Desta maneira o projétil passou por dentro do aparelho para que este pudesse fazer a leitura da velocidade no momento do disparo. O conjunto da fixação e a colocação do cronógrafo é apresentada na Figura 16.

Figura 16 - Fixação da arma e posicionamento do cronógrafo



Fonte: Elaborado pelo autor

Para carregar os projéteis na arma, foi necessário dobrar todo o conjunto do mecanismo para que não houvesse movimentação do cano, como pode ser observado na Figura 17.

Figura 17 - Posição para inserir o projétil a arma



Fonte: Elaborado pelo autor

Para o registro dos resultados dos disparos foi utilizado um alvo eletrônico da marca MEYTON ELETRONIK modelo ESTA-Pro. Este alvo eletrônico é composto

por um dispositivo metálico vazado por onde os projéteis precisam passar para que sejam registrados. O equipamento registra a posição de passagem do projétil através de uma cortina de lasers que fazem a leitura precisa do ponto passagem.

Os dados são registrados e apresentados através de uma interface onde pode-se verificar imediatamente a posição de cada disparo, bem como de um conjunto de disparos. A Figura 18 (a) abaixo mostra o alvo eletrônico e a Figura 18 (b) a interface com os resultados registrados.

Figura 18 - Alvo eletrônico



Fonte: Elaborado pelo autor

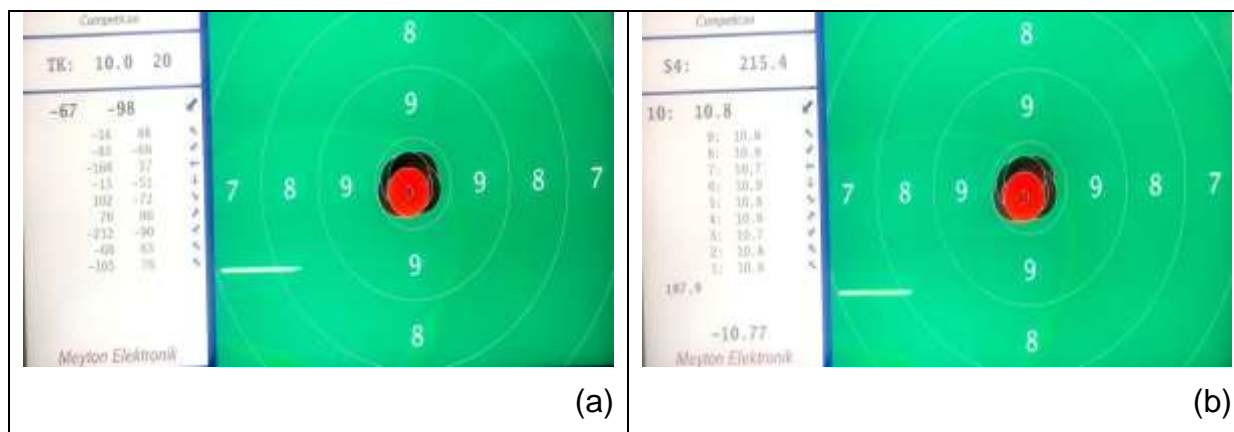
O alvo eletrônico foi colocado a uma distância de 7 metros em relação ao ponto de disparo. Esta distância foi escolhida, pois é equivalente a medida padronizada no regulamento das competições desta modalidade.

Para a realização do ensaio foi convencionado efetuar um total de 20 disparos para cada projétil.

Foram coletados através do alvo eletrônico os seguintes dados de cada disparo:

- a) os dados de coordenadas cartesianas em relação ao centro do alvo (Figura 19 (a));
- b) os dados de pontuação (Figura 19 (b)).

Figura 19 - Exemplo de dados coletados



Fonte: Elaborado pelo autor

Logo após o alvo eletrônico foi colocado uma estrutura de madeira com uma borracha de 5 mm de espessura servindo de batente e facilitando a retirada dos projéteis.

Os projéteis foram retirados com auxílio de uma ferramenta específica para esta função, conforme Figura 4. Esta é encaixada no canal presente no corpo da seta, formando uma alavanca e retirando o projétil do batente.

O software Minitab 18 foi empregado para realizar a análises estatísticas dos dados obtidos. Estas análises foram feitas com o intuito de verificar se os processos apresentam diferenças significativas entre eles.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta etapa do trabalho serão apresentados os resultados obtidos através das medições, avaliando a geometria dos corpos de prova, o valor do diâmetro maior dos projéteis e também os resultados obtidos nos testes práticos de tiro.

4.1 Tolerâncias Geométricas

Estes resultados foram obtidos através dos ensaios realizados na máquina de medir formas que avaliou as tolerâncias geométricas de cilindricidade, do batimento, da coaxialidade do furo e da coaxialidade da ponta.

4.1.1 Diâmetro do Corpo Maior

Os resultados das medições do diâmetro maior dos corpos de prova são apresentados na Tabela 9.

Os resultados das medições mostraram que o diâmetro maior dos corpos de prova ficou dentro de uma faixa estreita de medidas, gerando um resultado de acordo com o que se buscava durante a fabricação dos mesmos. Conforme os dados das médias dos processos, os valores para o diâmetro em questão ficaram dentro dos limites esperados, quais eram $4,535 \pm 0,004$ mm.

Desta maneira, acredita-se que é possível realizar a usinagem do perfil externo dos projéteis através de qualquer um dos processos empregados neste trabalho, sem diferença significativa nas dimensões.

Tabela 9 - Diâmetros medidos

Identificação do Projétil	Diâmetro (mm)	Média do Processo (mm)
TF1	4,534	4,533
TF2	4,530	
TF3	4,535	
TT1	4,535	4,534
TT2	4,532	
TT3	4,534	
RF1	4,529	4,532
RF2	4,533	
RF3	4,533	
RT1	4,534	4,535
RT2	4,535	
RT3	4,536	

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.2 Cilindricidade

Os dados das medições de cilindridade do corpo maior estão apresentados na Tabela 10.

Observando-se os resultados obtidos, pode-se notar que os melhores resultados com relação a esta característica geométrica estão nos processos em que os corpos de prova foram retificados. Isto reforça o que disse Felipe Jr (1996) que a retificação por definição é um processo de acabamento das peças, que confere a elas, qualidades dimensionais com baixas tolerâncias.

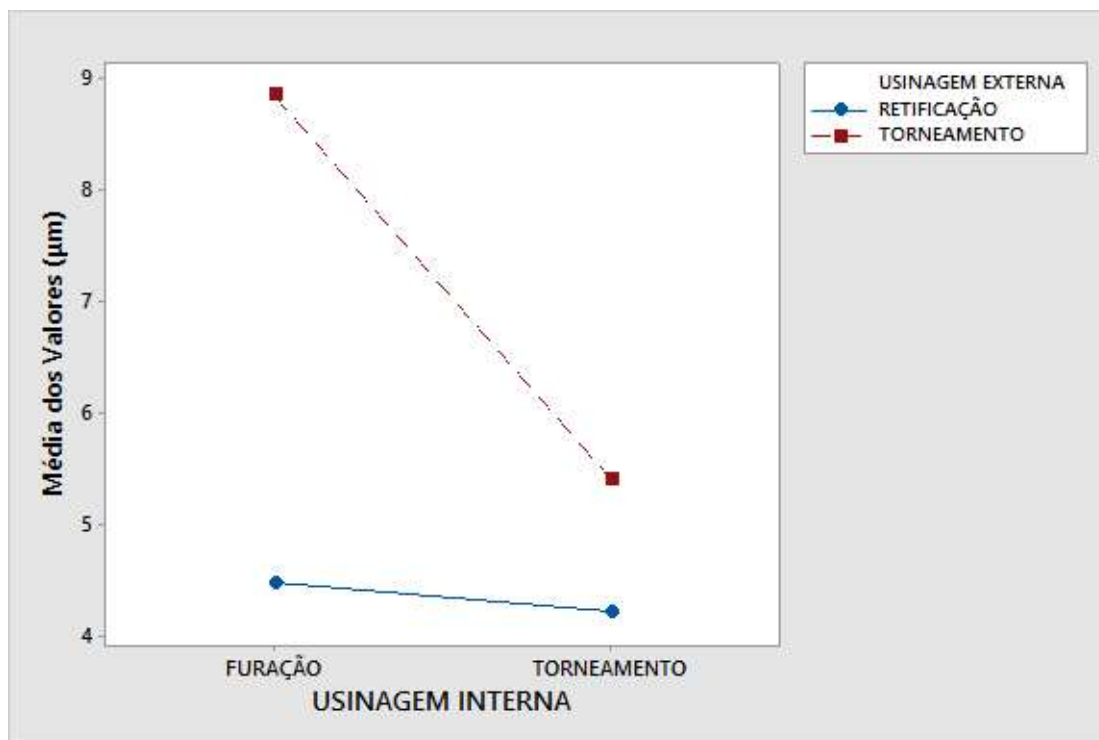
Observando o gráfico de interação da Figura 20 pode-se observar que os corpos de prova que foram torneados tanto externa quanto internamente, também apresentaram resultados satisfatórios de cilindridade.

Tabela 10 - Valores de cilindridade

Identificação do Projétil	Cilindridade (μm)	Média (μm)
TF1	7,652	8,850
TF2	12,84	
TF3	6,059	
TT1	6,255	5,398
TT2	5,387	
TT3	4,553	
RF1	3,878	4,463
RF2	5,593	
RF3	3,92	
RT1	4,226	4,203
RT2	4,568	
RT3	3,815	

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 20 - Gráfico de interação dos fatores sobre a cilindridade



Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados menos satisfatórios se apresentaram aos projéteis torneados e a furação realizada com a broca. Acredita-se que isto pode ter ocorrido devido a pouca espessura da parede na região onde está localizado o furo.

4.1.3 Batimento

Na Tabela 11 estão os dados das medições de batimento.

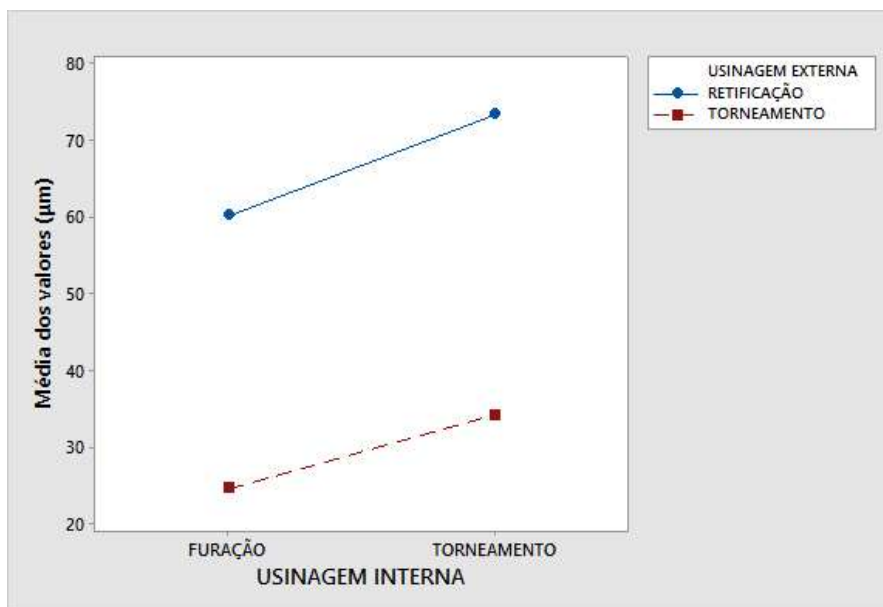
Tabela 11 - Valores de batimento

Identificação do Projétil	Batimento (μm)	Média μm
TF1	17,964	24,554
TF2	30,844	
TF3	24,854	
TT1	37,441	34,054
TT2	20,956	
TT3	43,764	
RF1	86,219	60,086
RF2	69,258	
RF3	24,782	
RT1	73,189	73,310
RT2	20,755	
RT3	125,986	

Fonte: Elaborado pelo autor

Observando os dados da Tabela 11 e o gráfico da Figura 21, encontram-se os melhores resultados para o batimento nos corpos de prova torneados e a furação realizada com a broca, seguidos dos projéteis torneados no perfil externo e com torneamento interno. O fato dos corpos de prova com torneamento externo apresentarem um resultado superior aos retificados se deve em função desta operação ser realizado em uma única etapa, enquanto que o perfil externo dos projéteis retificados foi produzido em duas etapas.

Figura 21 - Gráfico de interação dos fatores sobre o batimento

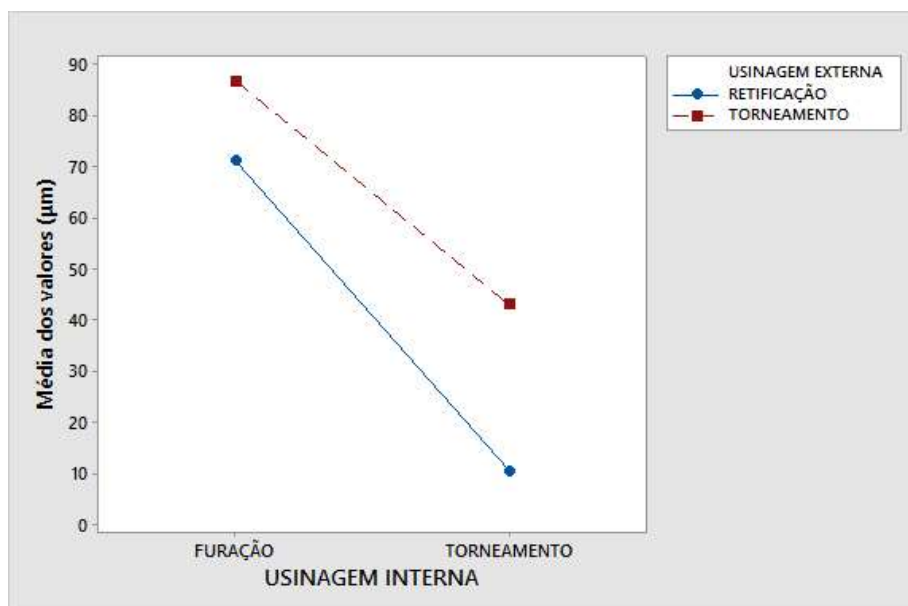


Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.4 Coaxialidade do Furo

A coaxialidade do furo, tendo como referência o diâmetro externo do projétil mostrou resultado melhor quando a furação foi realizada através do torneamento interno. Como pode ser observado na Tabela 12 e no gráfico da Figura 22, a furação realizada com a broca resultou em valores bem mais elevados, independentemente se o corpo externo foi torneado ou retificado.

Figura 22 - Gráfico de interação dos fatores sobre a coaxialidade do furo



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 12 - Valores da coaxialidade do furo

Identificação do Projétil	Coaxialidade do Furo (μm)	Média (μm)
TF1	78,983	86,593
TF2	81,776	
TF3	99,019	
TT1	23,878	42,983
TT2	40,465	
TT3	64,605	
RF1	68,247	71,032
RF2	58,642	
RF3	86,206	
RT1	12,036	10,343
RT2	9,746	
RT3	9,247	

Fonte: Elaborado pelo autor

Estes valores mais elevados se devem ao fato de que quando a furação é realizada com o emprego de brocas, os furos normalmente apresentam desvios ao longo do eixo. Conforme está descrito no manual técnico da Sandvik com relação aos erros mais comuns durante o processo de furação, estão os erros de posicionamento. Existe ainda uma piora no resultado quando o processo é realizado em duas etapas como é o caso do torneamento externo, onde foi acabado todo o contorno externo, depois a peça foi fixada no dispositivo com bucha para efetuar a furação.

4.1.5 Coaxialidade da Ponta

Os dados referentes as medições da coaxialidade da ponta estão apresentados na Tabela 13 e no gráfico da Figura 23.

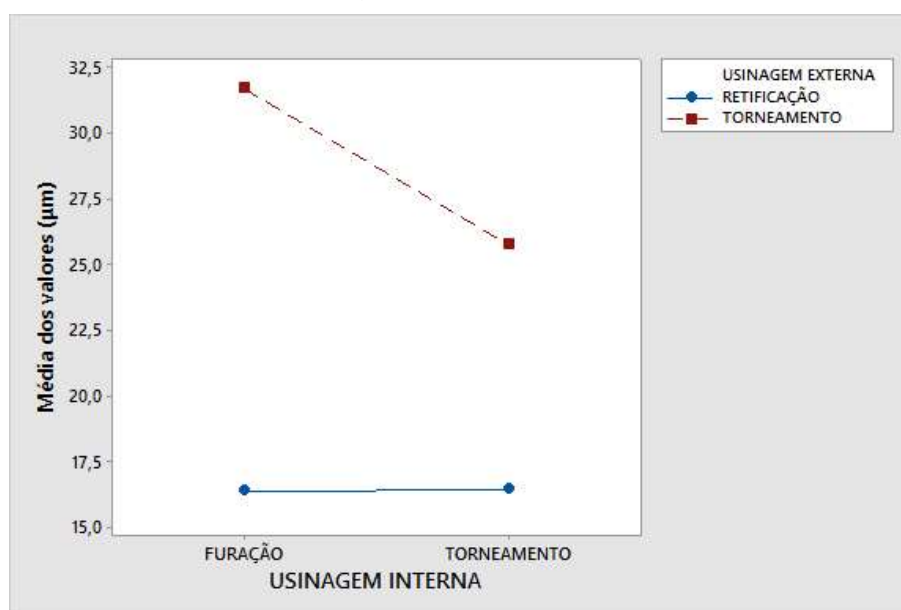
Tabela 13 - Valores da coaxialidade da ponta

Identificação do Projétil	Coaxialidade da Ponta (μm)	Média (μm)
TF1	10,473	31,709
TF2	63,024	
TF3	21,631	
TT1	23,872	25,764
TT2	22,353	
TT3	31,068	
RF1	18,81	16,360
RF2	17,876	
RF3	12,396	
RT1	20,84	16,419
RT2	10,213	
RT3	18,204	

Fonte: Elaborado pelo autor

O corpo de prova com a descrição de TF2 apresentou um resultado muito deferente em relação aos outros projéteis medidos, o que pode ser causado por um erro não identificado no momento da realização das medições.

Figura 23 - Gráfico de interação dos fatores sobre a coaxialidade da ponta



Fonte: Elaborado pelo autor

Os projéteis que foram retificados na parte externa do corpo apresentaram os melhores resultados para a coaxialidade da ponta em relação ao corpo de diâmetro maior. Como esta região do projétil aparentemente não sofre interferência da furação, os resultados encontrados indicam que existe apenas a diferença relacionada ao processo da fabricação do perfil externo. Projéteis retificados obtiveram resultados melhores na coaxialidade de ponta do que os projéteis torneados externamente.

4.2 Testes Práticos de Tiro

Através da realização dos testes práticos de tiro foi possível verificar a velocidade que cada projétil apresentava, bem como as coordenadas registradas pelo alvo eletrônico. Estes resultados proporcionaram fazer a análise de variância dos dados.

4.2.1 Velocidade

Os valores de velocidade registrados pelo cronógrafo para os projéteis se mantiveram bem próximos uns dos outros, com um pequeno acréscimo de velocidade para os que foram retificados. Vale ressaltar que cada corpo de prova manteve a sua velocidade praticamente constante em todos os vinte tiros de ensaio, e quando houve variação, esta foi no valor máximo de 1m/s.

Estes resultados foram bem importantes para assegurar que a arma em questão, possui a capacidade de disparar todos as setas com a mesma propulsão e não havendo interferência no resultado dos tiros.

A Tabela 14 mostra a velocidade média encontrada para cada corpo de prova.

4.2.2 Distância do Centro do Alvo

Com os resultados obtidos através do registro do alvo eletrônico foi possível calcular as médias das distâncias de cada projétil ou do processo em relação ao ponto central do alvo. Estas distâncias estão dispostas na Tabela 15, e no gráfico da Figura 24 pode-se observar a interação entre os processos

Tabela 14 - Velocidade média dos projéteis

Identificação do projétil	Velocidade (m/s)
TF1	63
TF2	63
TF3	63
TT1	63
TT2	62
TT3	63
RF1	63
RF2	64
RF3	64
RT1	62
RT2	64
RT3	62

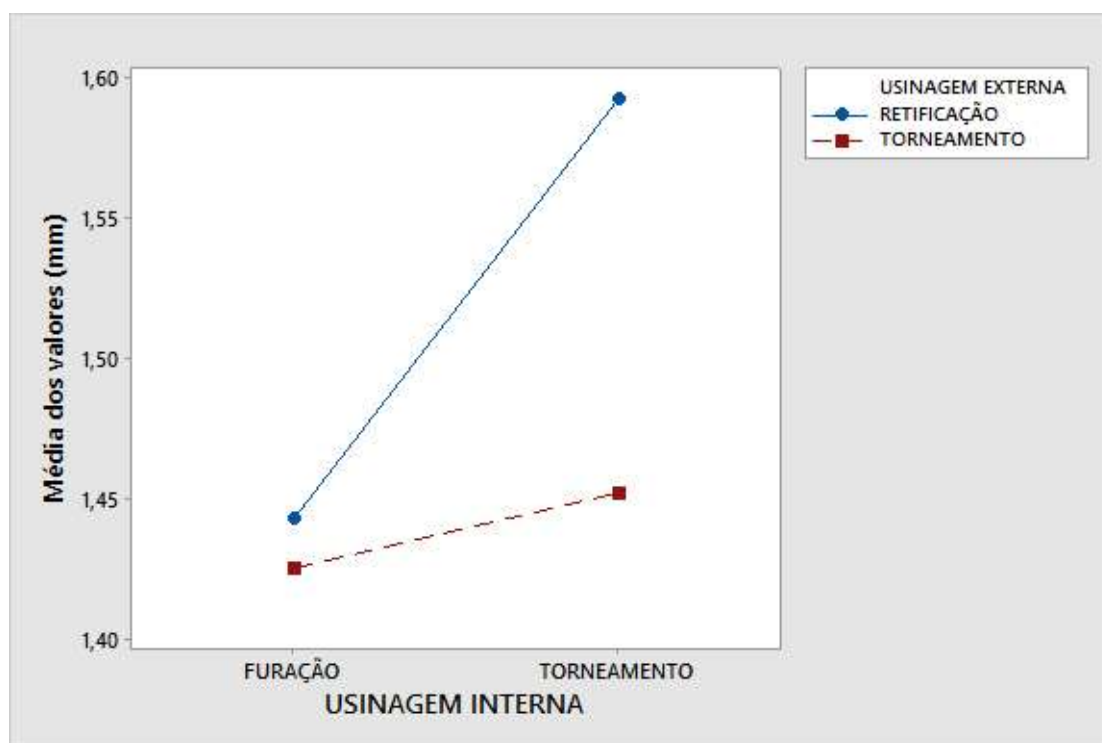
Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 15 - Valores das distâncias

Identificação do Projétil	Distância média por projétil (mm)	Média do processo (mm)
TF1	1,493	1,425
TF2	1,598	
TF3	1,184	
TT1	1,454	1,452
TT2	1,419	
TT3	1,482	
RF1	1,267	1,443
RF2	1,295	
RF3	1,766	
RT1	1,767	1,592
RT2	1,333	
RT3	1,677	

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 24 - Gráfico de interação dos fatores sobre a distância



Fonte: Elaborado pelo autor

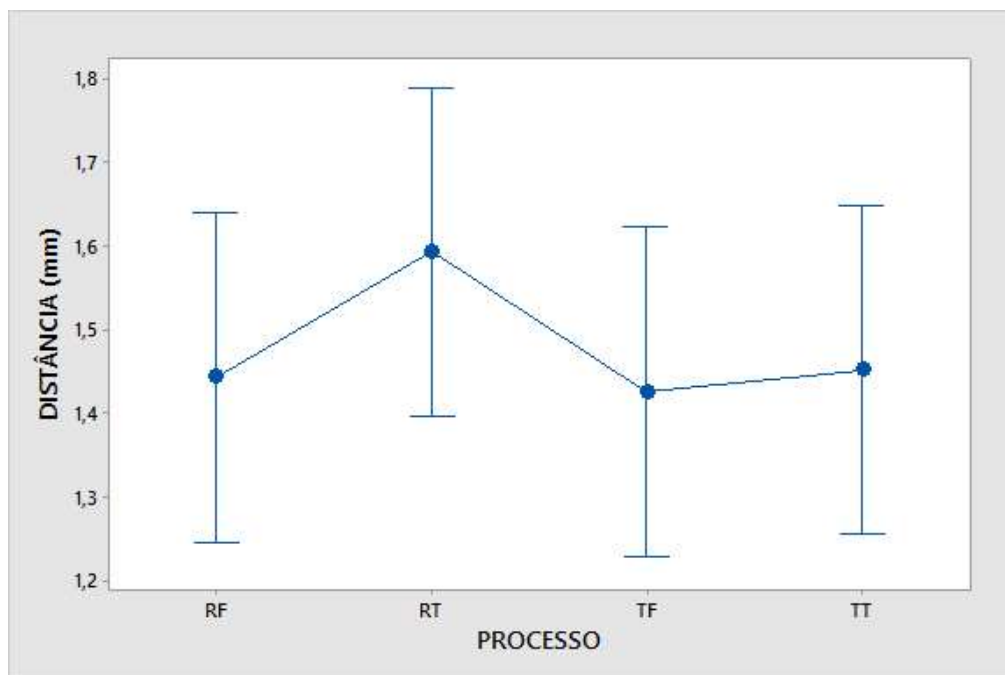
Os melhores resultados foram obtidos no processo de torneamento externo e furação realizado com brocas. Conforme Felipe Jr, (1996) citou que peças retificadas possuem melhor acabamento e tolerâncias dimensionais, acreditava-se que estas teriam melhores resultados também nos testes de tiro. Porém isto não foi observado nos testes realizados. Uma possível causa desta distorção é o método de inserção das cerdas bem como sua influência, que, conforme exposto no capítulo 3, não foi levado em consideração neste momento.

4.2.3 Análise de Variância

O resultado da análise de variância das distâncias encontradas em cada processo mostrou que não existem diferenças significativas nos processos de fabricação dos projéteis testados, já que o P-value ficou em 0,618, que é maior que 0,05, dado usado como referência para análises com confiabilidade de 95%. O resultado completo da análise de variância está no Apêndice A.

O resultado do gráfico de intervalos da Figura 25 demonstra também que não existe diferenças sob ponto de vista estatístico entre os processos testados.

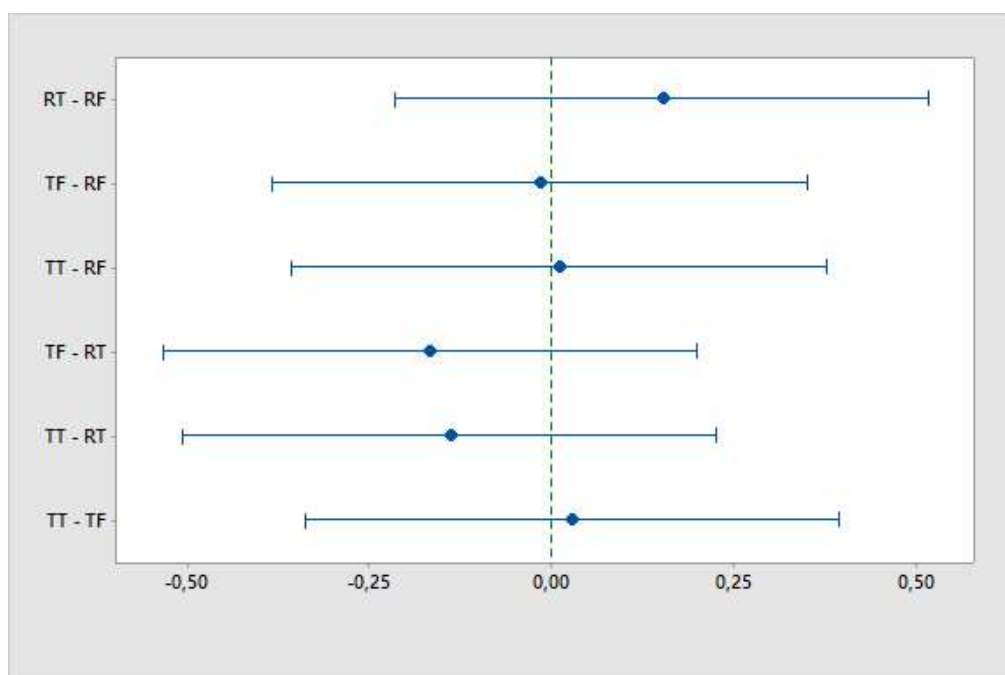
Figura 25 - Gráficos de intervalos das distâncias - por processo



Fonte: Elaborado pelo autor

Para complementar a análise estatística realizou-se o teste de Tukey a fim de validar os resultados obtidos através da análise de variância. O resultado deste teste pode ser visto na Figura 26. Como pode ser observado através do teste de Tukey, não existe diferença significativa entre os processos, confirmando o que havia sido observado pela análise de variância.

Figura 26 - Gráfico do teste de Tukey

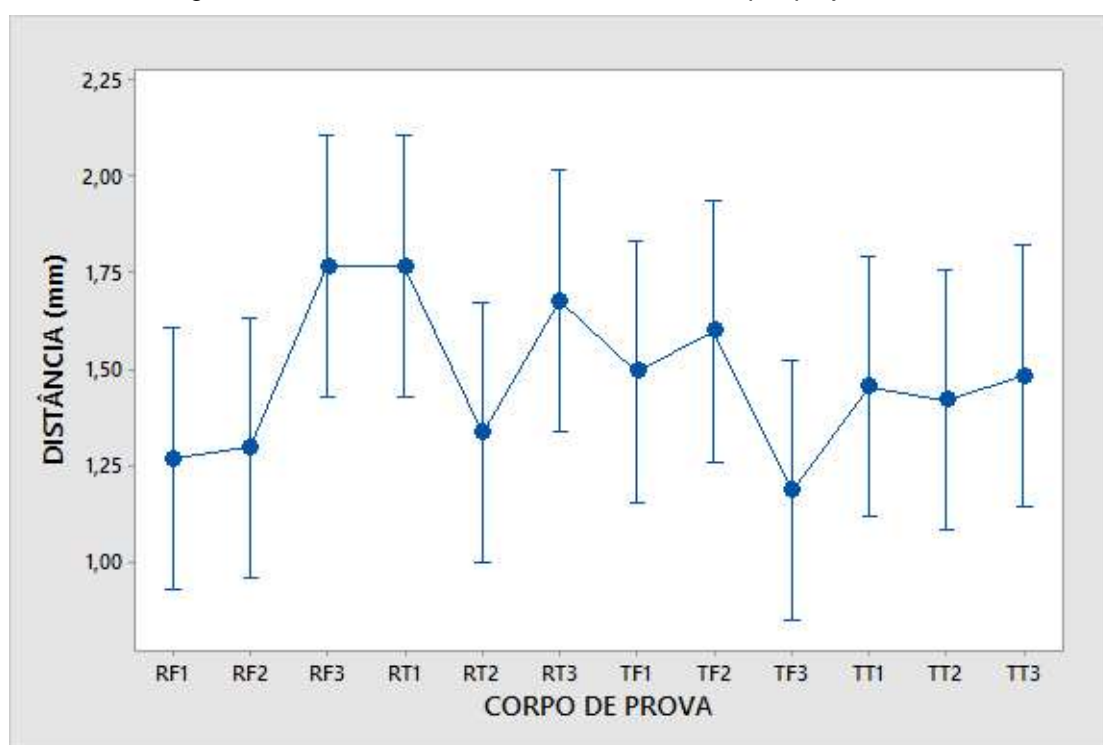


Fonte: Elaborado pelo autor

Fazendo a análise estatística dos projéteis individualmente, sem levar em consideração por qual processo foi fabricado, também não foi evidenciada diferença significativa entre eles. O resultado da análise de variância das distâncias encontradas para cada projétil mostrou que não existem diferenças significativas nos processos de fabricação dos projéteis testados, já que o P-value ficou em 0,247, que é maior que 0,05, dado usado como referência para análises com confiabilidade de 95%. O resultado completo da análise de variância está no Apêndice B.

Quando comparamos individualmente os corpos de prova, o gráfico de intervalos (Figura 27) confirma o resultado da análise de variância.

Figura 27 - Gráfico de intervalos das distâncias - por projétil



Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.4 Distâncias x Pontuação

As coordenadas obtidas nos resultados de tiro foram transformadas em distâncias relacionadas com o centro do alvo. Desta maneira foi possível conhecer o resultado da pontuação que cada projétil produziu.

Para relacionar os dados obtidos com a prática do tiro esportivo, a partir dos dados da Tabela 16 e da Tabela 17, foram gerados os gráficos de dispersão da Figura 28 e da Figura 29, referente aos tiros do projétil com a menor média de

distância e aos tiros do projétil com a maior média de distância respectivamente.

Tabela 16 - Dados de distância do projétil TF3

Disparo	Coordenada X (mm)	Coordenada Y (mm)	Distância (mm)	Pontuação
1	-0,529	-0,621	0,816	10,8
2	0,002	-0,411	0,411	10,9
3	-0,048	-0,561	0,563	10,8
4	0,192	0,859	0,880	10,8
5	0,622	-0,451	0,768	10,8
6	0,432	-0,451	0,625	10,8
7	1,202	1,119	1,642	10,6
8	0,082	-1,731	1,733	10,6
9	0,652	-0,551	0,854	10,8
10	0,272	0,969	1,006	10,7
11	-1,279	0,779	1,498	10,6
12	0,432	0,099	0,443	10,9
13	1,132	-0,881	1,434	10,7
14	-1,079	-0,701	1,287	10,7
15	-0,038	0,969	0,970	10,8
16	0,092	1,109	1,113	10,7
17	1,832	0,109	1,835	10,6
18	-1,209	0,779	1,438	10,7
19	0,382	-1,091	1,156	10,7
20	-3,139	0,659	3,207	10,3
MÉDIAS			1,184	10,715
PONTUAÇÃO TOTAL				214,3

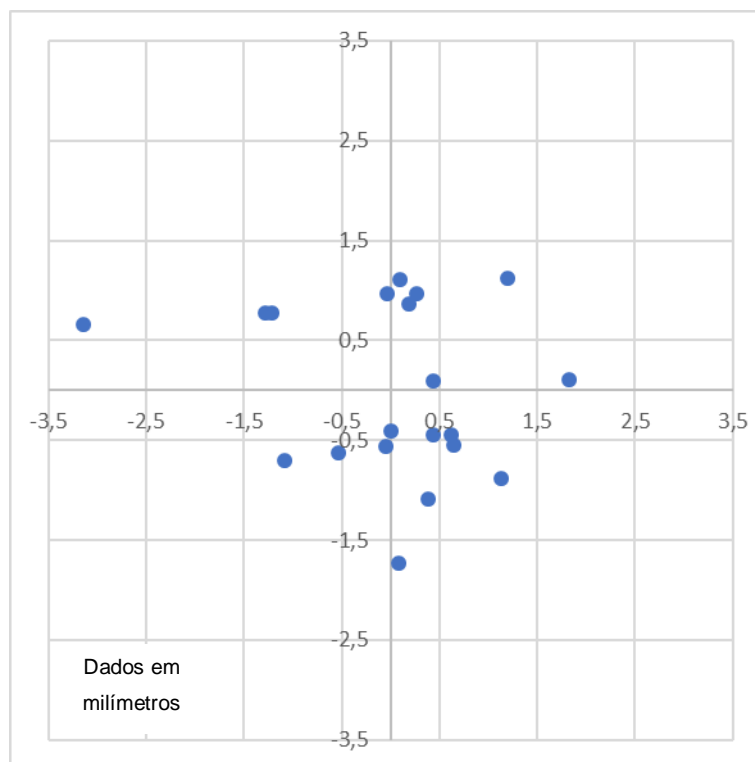
Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 17 - Dados de distância do projétil RF3

Disparo	Coordenada X (mm)	Coordenada Y (mm)	Distância (mm)	Pontuação
1	0,333	-2,780	2,800	10,4
2	-0,397	2,260	2,295	10,5
3	0,073	-1,400	1,402	10,7
4	-0,097	0,900	0,905	10,8
5	0,873	-2,340	2,498	10,4
6	0,803	-0,640	1,027	10,7
7	-0,097	3,120	3,122	10,3
8	-0,887	-1,020	1,352	10,7
9	0,113	1,760	1,764	10,6
10	-0,597	0,880	1,063	10,7
11	-1,717	0,850	1,916	10,6
12	0,123	0,270	0,297	10,9
13	-0,987	1,230	1,577	10,6
14	0,823	0,310	0,879	10,8
15	-3,227	1,750	3,671	10,2
16	0,813	0,890	1,205	10,7
17	1,743	-2,050	2,691	10,4
18	0,273	-1,970	1,989	10,6
19	0,693	-0,810	1,066	10,7
20	1,343	-1,210	1,808	10,6
MÉDIAS			1,766	10,595
PONTUAÇÃO TOTAL				211,9

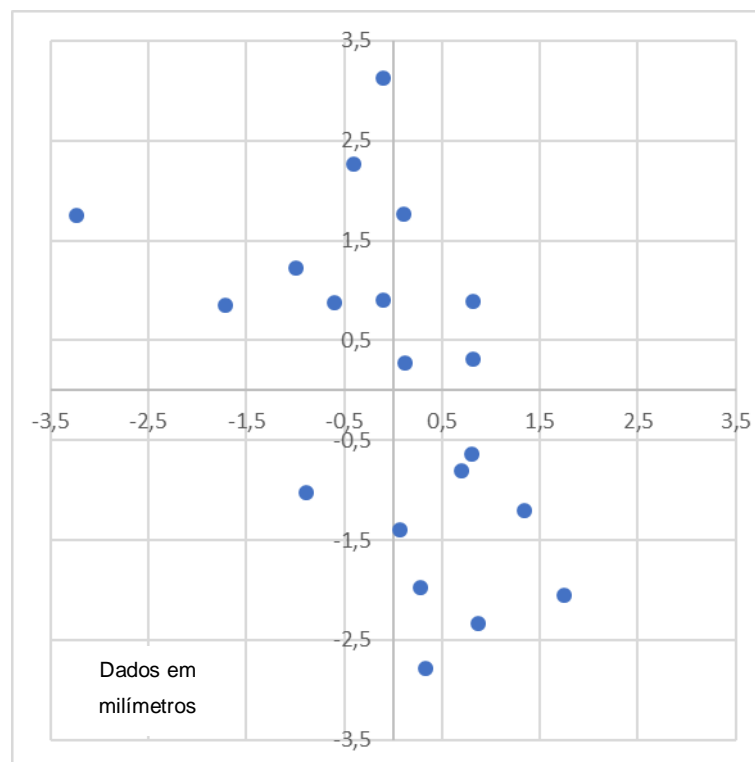
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 28 - Gráfico de dispersão dos disparos do projétil TF3



Fonte: Elaborado pelo autor

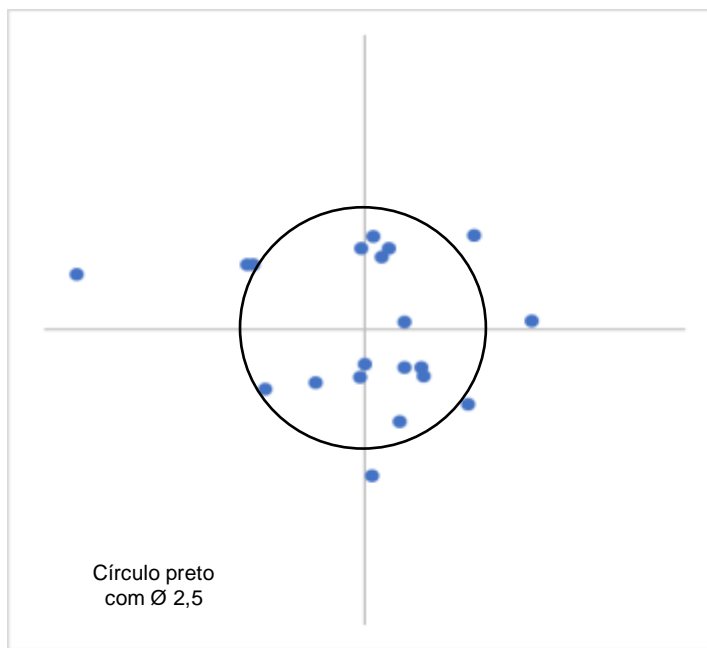
Figura 29 - Gráfico de dispersão dos disparos do projétil RF3



Fonte: Elaborado pelo autor

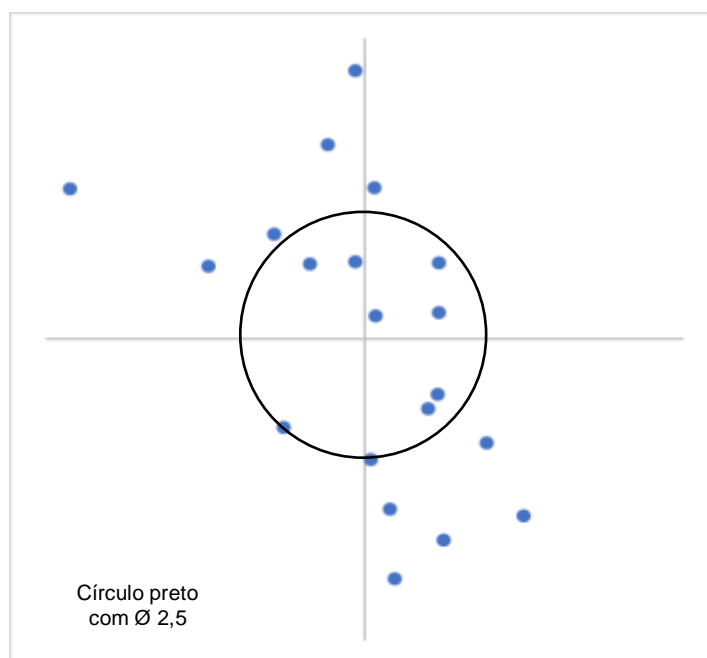
Fazendo a analogia com um alvo de competição, encontramos as imagens apresentadas na Figura 30 e na Figura 31. Nestas figuras, o círculo preto equivale ao círculo da “mosca” do alvo, ou seja, possui 2,5mm.

Figura 30 - Distribuição dos disparos em relação ao centro do alvo - TF3



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 31 - Distribuição dos disparos em relação ao centro do alvo - RF3



Fonte: Elaborado pelo autor

Se estes dados fossem o resultado de uma competição (para esta análise o erro humano será desprezado), a diferença de pontuação seria de 2,4 pontos. Com o nível das competições estaduais atualmente, esta diferença poderia levar o atleta a ser campeão (se estivesse usando o projétil TF3) ou nem estar entre os 3 mais bem colocados (se estivesse usando o projétil RF3).

Mesmo a análise estatística realizada que considera todos os projéteis “iguais”, o resultado destes projéteis em competições de alto nível pode ser muito diferente.

5 CONCLUSÃO

Observando os dados apresentados nos capítulos anteriores, pode-se concluir que:

- a) é possível fabricar projéteis com resultados satisfatórios nos testes de tiro com os processos testados;
- b) a cilíndricidade do corpo maior apresentou melhores resultados nos processos onde houve retificação;
- c) o batimento do canal apresentou melhores resultados nos processos onde a usinagem externa foi toda realizada por torneamento;
- d) a coaxialidade do furo em relação ao corpo externo foi melhor nos processos onde o furo foi executado por torneamento interno;
- e) a coaxialidade do corpo de 2,3 mm em relação ao corpo de 4,535 mm apresentou melhores resultados nos processos em que houve acabamento por retificação;
- f) de maneira geral, os projéteis que foram produzidos com os menores valores nas características geométrica apresentaram bons resultados de tiro;
- g) outros fatores não avaliados neste trabalho podem influenciar nos resultados de tiro, pois em alguns casos os melhores resultados de tiro não foram produzidos pelos projéteis com os menores valores das características geométricas;
- h) o processo que utilizou o torneamento externo com a furação foi o que apresentou melhor resultado nos testes de tiro.
- i) a seleção de projéteis para competição ainda precisa ser melhor analisada.

Considerando as informações levantadas e os dados apresentados neste trabalho, a seguir são apresentadas sugestões para trabalhos futuros:

- a) realizar um estudo sobre a influência das cerdas na fabricação e desempenho dos projéteis;
- b) fabricar projéteis através do processo de retificação de perfil;
- c) replicar testes semelhantes para outras armas;
- d) avaliar a possibilidade de substituição do material do projétil;
- e) fazer análise da influência do balanceamento no desempenho do projétil.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, O.L., RODRIGUES, A.C.S. E LIRANI, J., 1977, **Tolerâncias, Ajustes, Desvios e Análise de Dimensões**, São Paulo, Ed. Edgard Blücher, 312 p.
- ALLENSTEIN, Ângela Nardelli. **Estudo da resistência à cavitação do aço inoxidável Martensítico CA6-NM Nitretado por plasma**. 2007.
- ARINOX. **Composição do aço inox**. 2015. Disponível em: <<http://www.arinox.com.br/blog/composicao-do-aco-inox/>>. Acesso em: 15/04/2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Tolerâncias geométricas: Tolerâncias de forma, orientação, posição e batimento -Generalidades, símbolos, definições e indicações em desenho**, NBR 6409. Rio de Janeiro,1997. 19 p.
- BALDO, Nivaldo; SOARES, Bileo. **Tiro Esportivo**. 2001. Disponível em: <https://www.solbrilhando.com.br/Espportes/Tiro_Esportivo.htm>. Acesso em: 04 maio 2019.
- BARBOSA, Bruno Roberto de; TEODÓSIO, Joel Regueira; NETTO, Theodoro Antoun. **Evolução do estado de tensões residuais introduzidas por Shot Peening em aços inoxidáveis martensíticos**. 2003
- CONFEDERAÇÃO BRASILEIRA DE TIRO ESPORTIVO. **Regulamento técnico 1: regulamento técnico para todas as disciplinas de tiro**. 1 ed. 2010. 104 p. Disponível em: <http://cbte.org.br/tecnico/regulamento/issf_regulamento_geral.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2019.
- DA SILVA, R.B., 2001, **Alargamento Cônico do Ferro Fundido Nodular GGG40**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, Fevereiro de 2001.
- DINIZ A. E., MARCONDES F. C., COPPINI N. L., **Tecnologia da usinagem dos materiais**, 1ª edição, 1999, 242p.
- FEDERAÇÃO CATARINENSE DE TIRO ESPORTIVO. **Regulamento nº 1 de 2019**. Blumenau, 2019. Seção 1. Disponível em: <<http://www.fetc.com.br/regulamentos.php>>. Acesso em: 01 jun. 2019.
- FELIPE J. Jr., **Contribuição para implementação de funções inteligentes (RI) utilizando técnicas de monitoramento por emissão acústicas**, São Carlos, EESC USP, 1996, Tese de doutorado.
- FERREYRO, Maria Fernanda. **Balística**. 1ª. Edição, Buenos Aires: editorial B de F, 2007.
- FUNDAÇÃO ROBERTO MARINHO. **Telecurso 2000: curso profissionalizante mecânica: processos de fabricação**. Rio de Janeiro: Fundação Roberto Marinho, 1996. 4 v.

GARRIDO, Fernando. **Lazer e esportes no Rio de Janeiro** – RJ. In: COSTA, Lamartine da (org.). Atlas do esporte no Brasil. Atlas do esporte, Educação Física e atividades físicas de saúde e lazer no Brasil. Rio de Janeiro: Shape, 2005.

GUEDES, Sandra Paschoal Leite de Camargo. **Esporte e lazer em Joinville: memórias da Associação Atlética Tupy**. Joinville: Editora UNIVILLE, 2010. p. 334

HELAL, Ronaldo; AMARO, Fausto. **História dos Jogos Olímpicos**. 2016. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/esportes/historia-dos-jogos-olimpicos-da-antiguidade-berlim-1936-19376961>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

HÉRCULES, Hygino de Carvalho. **Medicina Legal**, 1ª Edição, São Paulo: editora Atheneu, 2005.

KLOECKNER METALS. **Manual técnico de aço inoxidável**. 2011. Disponível em: <<https://www.kloecknermetals.com.br/pdf/3.pdf>>

LIMA JUNIOR, Pedro. **O Laboratório da Mecânica**. 2012. 136 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Mecânica, Ufrgs, Porto Alegre Rs, 2012. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/fis1258/index_arquivos/TXT_01.pdf>. Acesso em: 09 maio 2019.

MACHADO, A. R.; SILVA, M. B. **Usinagem dos Metais**. 8ª ed. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2004, 257 f.

MARQUES, Gil da Costa. **Movimento dos Projéteis**. Disponível em: <https://midia.atp.usp.br/plc/plc0002/impessos/plc0002_10.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2019.

NUSSBAUM, Guillaume Ch. **Rebolos & abrasivos: tecnologia básica**. São Paulo: Ícone, 1988. 503 p.

PACIEVITCH, Thais. **O Tiro Esportivo**. 2019. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/esportes/tiro-esportivo/>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

ROSAS, N., 1983, **Tolerâncias geométricas** Apostila de treinamento de empregados da Embraer, 82 p.

SOUZA, José de. **Tiro Esportivo**. 2017. Disponível em: <<https://www.mundodacarabina.com.br/post/o-que-eu-preciso-saber-para-praticar-tiro-esportivo>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

SANTOS, José Nazareno dos; SILVA, Romero Tavares da. **Lançamento de Projétil**. 2001. 1 v. Tese (Doutorado) - Curso de Física, Ufpb, Paraíba, 2001. Disponível em: <<http://www.fisica.ufpb.br/prolicen/Cursos/Curso1/mr35lp.html>>. Acesso em: 06 maio 2019.

STEMMER, C. E. **Ferramentas de corte II**. 3. ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2005. 314 p.

STEMMER, Caspar E. **Usinagem com ferramentas com gumes de geometria indefinida.** In: STEMMER, Caspar E. Ferramentas de corte H. Florianópolis, Editora da UFSC, 1992. p. 271-313.

VILLARES METALS. **Aços inoxidáveis.** 2019. Disponível em: <<http://www.villaresmetals.com.br/villares/pt/Produtos/Acos-Inoxidaveis>>. Acesso em: 10/04/2019.

APÊNDICE A – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DISTÂNCIA X PROCESSOS

ANOVA com um fator: DISTÂNCIA versus PROCESSO

Método

Hipótese nula	Todas as médias são iguais
Hipótese alternativa	Nem todas as médias são iguais
Nível de significância	$\alpha = 0,05$

Assumiu-se igualdade de variâncias para a análise

Informações dos Fatores

Fator	NíveisValores
PROCESSO	4RB; RF; TB; TF

Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
PROCESSO	3	1,077	0,3589	0,60	0,618
Erro	236	141,962	0,6015		
Total	239	143,039			

Sumário do Modelo

S	R2	R2(aj)	R2(pred)
0,775587	0,75%	0,00%	0,00%

Médias

PROCESSO	N	Média	DesvPad	IC de 95%
RB	60	1,4425	0,7232	(1,2452; 1,6397)
RF	60	1,593	0,857	(1,395; 1,790)
TB	60	1,4247	0,6870	(1,2274; 1,6219)
TF	60	1,451	0,822	(1,254; 1,649)

DesvPad Combinado = 0,775587

APÊNDICE B – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DISTÂNCIA X PROJÉTEIS

ANOVA com um fator: DISTÂNCIA versus CORPO DE PROVA

* NOTA * Não foi possível gerar o gráfico de intervalos para o procedimento de Tukey. Os gráficos de intervalos para comparações ficam ilegíveis com mais de 45 intervalos.

Método

Hipótese nula	Todas as médias são iguais
Hipótese alternativa	Nem todas as médias são iguais
Nível de significância	$\alpha = 0,05$

Assumiu-se igualdade de variâncias para a análise

Informações dos Fatores

Fator	NíveisValores
CORPO DE PROVA	12RB1; RB2; RB3; RF1; RF2; RF3; TB1; TB2; TB3; TF1; TF2; TF3

Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
CORPO DE PROVA	11	8,221	0,7474	1,26	0,247
Erro	228	134,818	0,5913		
Total	239	143,039			

Sumário do Modelo

S	R2	R2(aj)	R2(pred)
0,768964	5,75%	1,20%	0,00%

Médias

CORPO

DE

PROVA

	N	Média	DesvPad	IC de 95%
RB1	20	1,266	0,519	(0,928; 1,605)
RB2	20	1,295	0,666	(0,956; 1,633)
RB3	20	1,766	0,863	(1,428; 2,105)
RF1	20	1,767	0,850	(1,428; 2,106)
RF2	20	1,333	0,748	(0,994; 1,672)
RF3	20	1,677	0,943	(1,338; 2,016)
TB1	20	1,493	0,634	(1,154; 1,832)
TB2	20	1,597	0,749	(1,259; 1,936)
TB3	20	1,184	0,637	(0,845; 1,523)
TF1	20	1,454	0,898	(1,115; 1,793)

TF2	20	1,419	0,575	(1,080; 1,758)
TF3	20	1,482	0,981	(1,143; 1,821)

DesvPad Combinado = 0,768964