

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO  
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**EDSON NUNES DA SILVA**

**VIABILIDADE ECONÔMICA EM PROCESSOS DE ROSQUEAMENTO UTILIZANDO  
MACHOS DE ROSCAR COM CONDICIONADOR METÁLICO**

**SÃO PAULO**

**2014**

**EDSON NUNES DA SILVA**

**VIABILIDADE ECONÔMICA EM PROCESSOS DE ROSQUEAMENTO UTILIZANDO  
MACHOS DE ROSCAR COM CONDICIONADOR METÁLICO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós – Graduação em  
Engenharia de Produção da Universidade  
Nove de Julho – UNINOVE como requisito  
para a obtenção do título de Mestre em  
Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dr. Elesandro Antonio  
Baptista

SÃO PAULO

2014

Silva, Edson Nunes da.

Viabilidade econômica em processos de rosqueamento utilizando machos de rosca com condicionador metálico./ Edson Nunes da Silva. 2014.

95f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2014.

Orientador (a): Prof. Dr. Elesandro Antonio Baptista.



São Paulo, 28 de janeiro de 2014.

**TERMO DE APROVAÇÃO**

Aluno: Edson Nunes da Silva

Título da Dissertação: VIABILIDADE ECONÔMICA DE ROSQUEAMENTO UTILIZANDO MACHOS DE ROSCAR COM CONDICIONADOR METÁLICO.

Presidente: PROF. DR. ELESANDRO ANTONIO BAPTISTA

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Elesandro Baptista", is placed over a horizontal line next to the title of the President.

Membro: PROF. DR. MARCOS VALÉRIO RIBEIRO

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Marcos Valério Ribeiro", is placed over a horizontal line next to the title of the Member.

Membro: PROF. DR. MILTON VIEIRA JUNIOR

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Milton Vieira Junior", is placed over a horizontal line next to the title of the Member.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Edizio e Antônia, a minha esposa Nana, a minha filha Carolina, aos colegas, professores e amigos que direta, indiretamente, ou por acaso contribuíram para este trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos:

- ao professor orientador Dr. Elesandro Antonio Baptista pela paciência e orientação;
- ao professor Dr. Fábio Henrique Pereira, pelos conteúdos acrescentados e correções;
- ao professor Dr. Nivaldo Lemos Coppini pelos conselhos;
- à UNINOVE pela oportunidade de aperfeiçoamento e pela bolsa integral;
- à CAPES pelo apoio financeiro por meio da bolsa CAPES - prosup II;
- à empresa Militec Brasil pelo apoio e fornecimento do condicionador metálico;
- a empresa Sandivik pelas ferramentas cedidas, ensaios e liberação de seu espaço, especialmente ao Rodrigo Andrade e ao Aldeci Santos, pela liberação dos horários, tempo e participação ativa nos trabalhos experimentais;
- ao Alex Martins pela usinagem dos corpos de prova na UNINOVE;
- ao SENAI pelo apoio, especialmente ao Nielsen da Cunha e a todos que direta, indiretamente ou por acaso ajudaram na conclusão deste trabalho;
- à Villares Metals pela doação dos materiais na pessoa do Engenheiro Raphael Mesquita.

## RESUMO

Nas indústrias manufatureiras em geral a fabricação de rosca internas de pequenos diâmetros é uma tarefa corriqueira e, por vezes, a última operação de usinagem a ser realizada. Atualmente a ferramenta de usinagem denominada macho de roscar é praticamente o único recurso para a fabricação de rosca interna de pequenos diâmetros. Devido às limitações intrínsecas a sua aplicação, são poucos os avanços tecnológicos obtidos nos últimos anos quando comparados com outros processos de fabricação por usinagem. Os recentes avanços limitam-se, em geral, ao tipo de recobrimento do material, aos tipos de ângulos de corte aplicados em macho de roscar e a adoção do metal duro como material da ferramenta. Com o intuito de contribuir com o tema, o presente trabalho fez uma análise da viabilidade econômica da operação de rosquear com machos de roscar após a aplicação de um condicionador metálico, que é um líquido sintético cuja principal função é reduzir o atrito entre os metais, verificando a relação custo x benefício de tal procedimento. Para isto, foi adotada uma peça padrão com 37 rosca e o fim de vida de cada macho foi determinado por meio do uso de um calibrador passa-não-passa ou por quebra catastrófica. Foram analisadas duas condições de trabalho, sendo a primeira a condição normal e a segunda com a aplicação do condicionador metálico na superfície do macho. Foram aplicadas técnicas estatísticas no planejamento de experimentos para a verificação da confiança de cada ensaio. Os resultados obtidos demonstram aumento da vida na operação de roscar com machos de roscar, redução dos custos produtivos e uma relação custo x benefício superior quando utilizado o condicionador metálico.

**Palavras-Chave:** usinagem; viabilidade econômica; fabricação; rosqueamento.

## ABSTRACT

In the machining industries in general to manufacture small internal threads is a trivial task and often the last operation to be performed. Currently the machining tool called tapping tool is practically the only resource for manufacturing small internal threads. Due to the limitations intrinsic to its application, there are few technological advances in recent years compared to other manufacturing processes for machining. Recent advances are limited to, in general, the type of coating material, the type of cutting angles applied in machine tools and adoption as carbide tool material. In order to contribute to the topic, this study aims to make an analysis economic viability of the operation with tapping tools after applying a metal conditioner on its surface, which is a synthetic liquid whose primary function is to reduce the friction between metals, checking the cost / benefit relationship of this procedure. For this, was used a workpiece with 37 threads each and the end of the tool's life was determined by a non-pass caliper or broken down. Two conditions were analyzed, the first being the normal condition and the second with the application of the metal conditioner on the surface of the tool. Statistics techniques were applied to verify the reliability of each test. The test results demonstrate increased tool's life in threading operation with tapping tools, reducing production costs and a higher cost-benefit relation when used metal conditioner.

**Key words:** machining; economic viability; manufacturing; thread.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 - Macho de roscar.....</b>	<b>6</b>
<b>Figura 2 - Tipos básicos de macho e suas respectivas aplicações.....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 3 - Exemplo de desgastes em machos de roscar sem revestimento.....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 4 - Exemplo de desgastes em machos de roscar com revestimento .....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 5 - Curva Normal.....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 6 - Exemplo de ditribuição das frequências dos dados.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 7 - Exemplo de ditribuição das frequências dos dados (otimizado).....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 8 - Centro de torneamento CNC Multus B300W.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 9 - Macho de corte e suas principais dimensões .....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 10 - Mandril porta macho .....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 11 - Dimensões básicas do mandril porta macho .....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 12 - Broca helicoidal.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 13 - Desenho do corpo de provas .....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 14 - Exemplo de calibrador tampão de rosca.....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 15 - Distribuição das frequências dos dados na condição 1.....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 16 - Distribuição das frequências dos dados na condição 2.....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 17 - Custos mínimos e máximos por rosca em cada condição .....</b>	<b>66</b>

## **LISTA DE QUADROS**

<b>Quadro 1 - Metodologias de avaliação de desempenho empregadas nos artigos pesquisados .....</b>	<b>24</b>
<b>Quadro 2 - Distribuição de frequências.....</b>	<b>38</b>
<b>Quadro 3 - Distribuição de frequências (otimizado).....</b>	<b>41</b>
<b>Quadro 4 - Características dos machos utilizados nos ensaios .....</b>	<b>46</b>
<b>Quadro 5 - Outras características dos machos utilizados nos ensaios .....</b>	<b>46</b>
<b>Quadro 6 - Dimensões básicas do mandril porta macho .....</b>	<b>48</b>
<b>Quadro 7 - Composição química do corpo de provas .....</b>	<b>50</b>
<b>Quadro 8 - Distribuição de frequências na condição 1 .....</b>	<b>59</b>
<b>Quadro 9 - Distribuição de frequências na condição 2.....</b>	<b>61</b>

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1 - Equação de vida de Taylor .....</b>	<b>26</b>
<b>Equação 2 - Coeficiente da equação de Taylor .....</b>	<b>26</b>
<b>Equação 3 - Constante da equação de vida de Taylor .....</b>	<b>27</b>
<b>Equação 4 - Velocidade de corte de mínimo custo .....</b>	<b>27</b>
<b>Equação 5 - Velocidade de corte de máxima produção .....</b>	<b>28</b>
<b>Equação 6 - Intervalo de confiança para a média da população .....</b>	<b>32</b>
<b>Equação 7 - Média da população para um intervalo de confiança .....</b>	<b>32</b>
<b>Equação 8 - Desvio padrão.....</b>	<b>32</b>
<b>Equação 9 - Variância amostral .....</b>	<b>33</b>
<b>Equação 10 - Regra de Sturges.....</b>	<b>33</b>
<b>Equação 11 - Tamanho de cada classe .....</b>	<b>33</b>
<b>Equação 12 - Número de réplicas .....</b>	<b>34</b>
<b>Equação 13 - Hipótese nula .....</b>	<b>35</b>
<b>Equação 14 - Hipótese alternativa .....</b>	<b>35</b>
<b>Equação 15 - F teste .....</b>	<b>36</b>
<b>Equação 16 - Hipótese nula para a média .....</b>	<b>37</b>
<b>Equação 17 - Hipótese alternativa para a média .....</b>	<b>37</b>
<b>Equação 18 - Cálculo T teste.....</b>	<b>37</b>
<b>Equação 19 - Regra de Sturges (resolução) .....</b>	<b>38</b>

<b>Equação 20 - Tamanho de cada amostra (resolução).....</b>	<b>38</b>
<b>Equação 21 - Regra de Sturges (resolução de outro exemplo).....</b>	<b>40</b>
<b>Equação 22 - Tamanho de cada amostra (resolução de outro exemplo) .....</b>	<b>40</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 - Exemplo de coleta de dados para planejamento do número de ensaios .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 2 - Exemplo Teste-F: duas amostras para variância (calculado no excel) .....</b>	<b>35</b>
<b>Tabela 3 - Exemplo Teste-T: duas amostras presumindo variâncias diferentes (calculado no excel) .....</b>	<b>37</b>
<b>Tabela 4 - Intervalos de confiança para a primeira condição (exemplo) .....</b>	<b>39</b>
<b>Tabela 5 - Número de ensaios necessários para os intervalos de confiança para primeira condição (exemplo) .....</b>	<b>40</b>
<b>Tabela 6 - Intervalos de confiança para a primeira condição otimizada (exemplo) .....</b>	<b>42</b>
<b>Tabela 7 - Número de ensaios necessários para os intervalos de confiança para a condição otimizada (exemplo) .....</b>	<b>42</b>
<b>Tabela 8 - Número de roscas realizadas por macho na condição 1 .....</b>	<b>55</b>
<b>Tabela 9 - Número de roscas realizadas por macho na condição 2 .....</b>	<b>55</b>
<b>Tabela 10 - Teste-F: duas amostras para variâncias (calculado no excel) .....</b>	<b>56</b>
<b>Tabela 11 - Teste-T: duas amostras presumindo variâncias equivalentes (calculado no excel) .....</b>	<b>58</b>
<b>Tabela 12 - Intervalos de confiança para a condição 1 .....</b>	<b>60</b>
<b>Tabela 13 - Número de ensaios necessários para os intervalos de confiança .....</b>	<b>61</b>
<b>Tabela 14 - Intervalos de confiança para a condição 2 .....</b>	<b>62</b>

<b>Tabela 15 - Número de ensaios necessários para os intervalos de confiança .....</b>	<b>63</b>
<b>Tabela 16 - Quantidade média de rosca produzidas macho e custos .....</b>	<b>64</b>
<b>Tabela 17 - Quantidade máximas e mínimas de rosca produzidas .....</b>	<b>66</b>
<b>Tabela 18 - Custos máximos e mínimos de rosca produzidas .....</b>	<b>66</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$C_2$	soma das despesas com mão de obra e com máquina [R\$/hora]
$C_3$	constante de custo relativo à ferramenta
CNC	Comando Numérico Computadorizado
$F_s$	valor crítico superior
$F_i$	valor crítico inferior
$h$	precisão da amostra
$h^*$	precisão desejada da amostra
$ham$	tamanho de cada amostra
$H_0$	hipótese nula para a distribuição da população
$H_a$	hipótese alternativa para a distribuição da população
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
$K$	constante da equação de Taylor
$n$	número de amostras coletadas
$n^*$	número de réplicas
pH	potencial Hidrogeniônico
$S$	desvio – padrão da amostra
$S_1^2$	variância amostral da primeira condição

$S_2^2$	variância amostral da segunda condição
$T$	vida da ferramenta [min]
$T_1$	vida da aresta da primeira ferramenta [min]
$T_2$	vida da aresta da segunda ferramenta [min]
$t_{n-1,\alpha/2}$	percentil da distribuição $t$ de Student com $n - 1$ graus de liberdade e nível de significância $\alpha$ (bilateral)
$t_{ft}$	tempo de troca da ferramenta [min]
$\mu_1$	média popuçacional primeira condição
$\mu_2$	média populacional segunda condição
$V_c$	velocidade de corte [m/min]
$V_{c_1}$	primeira velocidade de corte [m/min]
$V_{c_2}$	segunda velocidade de corte [m/min]
$V_{cmc}$	velocidade de corte de mínimo custo [m/min]
$V_{cmxp}$	velocidade de corte de máxima produção [m/min]
$x$	coeficiente da equação de Taylor
$\bar{y}$	média da amostra
$y_i$	resultado da amostra coletada

$\alpha$  nível de significância do teste estatístico

$\alpha/2$  metade do intervalo de confiança

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Justificativas.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Problema da pesquisa .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Hipóteses e pressupostos da pesquisa .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Objetivos .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4.1 Objetivo geral .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>4</b>
<b>1.5 Estrutura do trabalho .....</b>	<b>4</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Processos de usinagem e rosqueamento com machos .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Desgastes e avarias das ferramentas de usinagem e machos de rosscar .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3 Fluido de corte nos processos de usinagem e rosqueamento com machos de rosscar .....</b>	<b>17</b>
<b>2.4 Condicionadores Metálicos .....</b>	<b>18</b>
<b>2.5 Viabilidade econômica e técnica nos processos de usinagem .....</b>	<b>20</b>
<b>2.6 Vida das ferramentas nas operações de usinagem e rosqueamento.....</b>	<b>25</b>
<b>2.7 Análise estatística de dados .....</b>	<b>29</b>
<b>3 MÉTODO DE PESQUISA .....</b>	<b>43</b>
<b>3.1 Materiais e Métodos .....</b>	<b>44</b>

<b>3.2 Procedimento de ensaio .....</b>	<b>50</b>
<b>3.3 Detalhamento sobre o ensaio de rosqueamento.....</b>	<b>51</b>
<b>3.4 Análise estatística dos dados coletados.....</b>	<b>53</b>
<b>3.5 Determinação dos custos totais dos machos.....</b>	<b>53</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>55</b>
<b>4.1 Determinação da equivalência das variâncias .....</b>	<b>56</b>
<b>4.2 Determinação do efeito do condicionador metálico nas médias .....</b>	<b>57</b>
<b>4.3 Análise estatística dos dados na condição 1 .....</b>	<b>59</b>
<b>4.3.1 Quantidade de ensaios necessários na condição 1 .....</b>	<b>60</b>
<b>4.4 Análise estatística dos dados na condição 2 .....</b>	<b>61</b>
<b>4.4.1 Quantidade de ensaios necessários na condição 2.....</b>	<b>63</b>
<b>4.5 Levantamento dos custos dos machos .....</b>	<b>63</b>
<b>4.6 Resultados gerais.....</b>	<b>67</b>
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>68</b>
<b>5.1 Propostas para trabalhos futuros .....</b>	<b>69</b>
<b>6 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>70</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Cheung e Xu (2012) devido a grande competitividade dos mercados, atualmente as empresas estão, de uma forma geral, buscando reduzir seus custos por meio das melhorias da qualidade, flexibilidade, variedade de produtos e inovação.

De acordo com Qian e Arieh (2008); Daniela *et al* (2008) para as empresas manufatureiras, o cenário não difere e, em geral, estão enfrentando um mercado competitivo em medida nunca vista anteriormente, sendo primordial ter agilidade para atender seus clientes com prazos cada vez menores, preços competitivos, produtos ou serviços de qualidade e a busca de redução de custos.

A operação de rosqueamento, especificamente a operação com uma ferramenta denominada macho de roscar, é uma solução economicamente viável para a obtenção de roscas internas de pequenos diâmetros. Trata-se de um processo muito empregado no meio fabril e é, por vezes, considerado o gargalo da produção, podendo causar paradas de linhas inteiras. Por ser, frequentemente, uma das últimas operações realizadas no produto possui alto valor agregado, pois quaisquer refugos ou retrabalhos implicam em consideráveis perdas de tempo e dinheiro (REIS *et al*, 2005; SHA *et al*, 1990).

A operação de roscar utilizando machos de roscar também é considerada uma das mais complexas operações de usinagem devido aos problemas ocasionados pelas dificuldades de remoção dos cavacos e a manutenção de uma lubrificação adequada das arestas de corte do macho (REIS *et al*, 2005).

Os recentes avanços publicados sobre o processo de rosqueamento com machos de roscar referem-se, principalmente, ao tipo de recobrimento utilizado e alterações de algumas características geométricas da região de corte do macho (DA MOTA *et al*, 2005; HECK *et al*, 2007; REIS, 2004; PEREIRA, 2010).

Em relação aos recentes avanços sobre o processo de rosqueamento com machos de roscar este trabalho visa contribuir analisando a adição de um condicionador metálico que, neste caso, é um líquido sintético cuja principal função é

reduzir o atrito entre os metais, a fim de aumentar a quantidade de roscas produzidas por cada macho.

Há também a pretensão de preencher uma lacuna observada nos trabalhos pesquisados sobre o tema: a análise da viabilidade econômica por meio da relação custo x benefício de uma determinada melhoria.

### 1.1 Justificativas

Os revestimentos obtidos por meio da aplicação de outros materiais, apesar de refletirem em um significativo aumento na vida da ferramenta, são eliminados naturalmente com o desgaste da ferramenta ou durante as afiações e, neste caso, o macho perderá a camada adicional após a realização de alguma afiação o que implica em redução de sua vida em relação ao macho novo.

Por meio da adição do condicionador metálico nas ferramentas há possibilidade, neste caso, de potencializar as recentes melhorias para aumentar a vida das ferramentas e contribuir com uma melhor relação custo x benefício na operação de rosquear com macho de roscar.

Embora os recentes trabalhos citem o alto valor agregado da operação de rosqueamento com machos de roscar, as questões financeiras e econômicas são tratadas de maneira secundária e ou superficial, dando-se maior ênfase nas questões técnicas da operação, como, por exemplo, melhorias dos materiais das ferramentas, alterações das características geométricas das ferramentas e aplicações de revestimentos de outros materiais (PEREIRA, 2010; DA MOTA *et al*, 2005; DA MOTA *et al*, 2011; CARVALHO *et al*, 2012; CAO; SUTHERLAND, 2002).

Há várias associações de fabricantes que possuem análises das quantidades de produtos fabricados em seus respectivos mercados, em função de sua importância no contexto do mercado brasileiro é citada a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2013) que no período de outubro de 2012 a

setembro de 2013, foram produzidos no mercado nacional 3,73 milhões de veículos e licenciadas 83 mil máquinas agrícolas automotrices. Considerando este cenário, ou outras possíveis aplicações, percebe-se que a utilização de condicionadores metálicos na usinagem de rosas que utilizam machos de roscar pode melhorar o desempenho da operação e sua respectiva viabilidade econômica.

## **1.2 Problema da pesquisa**

A fim de proporcionar uma maior ênfase na avaliação do custo x benefício na operação de rosqueamento com macho de roscar, especificamente no que se refere à diminuição do custo unitário da operação de rosqueamento em função do aumento da quantidade de rosas produzidas, este trabalho visa responder à seguinte questão:

A aplicação de uma fina camada de condicionador metálico nos machos de roscar promove um aumento na quantidade de rosas produzidas de modo a melhorar a relação custo x benefício da operação de rosqueamento?

## **1.3 Hipóteses e pressupostos da pesquisa**

A hipótese básica deste trabalho é:

A aplicação de condicionador metálico em machos de roscar aumenta a quantidade de rosas produzidas e tem melhor relação custo x benefício quando comparados aos machos de roscar sem a adição do referido condicionador.

## **1.4 Objetivos**

Os objetivos deste trabalho estão divididos em objetivo geral e objetivos específicos.

#### **1.4.1 Objetivo geral**

O presente trabalho objetiva analisar a relação custo x benefício da operação de rosqueamento com machos de roscar após a aplicação de um condicionador metálico.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos são:

- contabilizar o número de rosas produzidas com machos tratados com condicionador metálico e comparar ao número de rosas produzidas com o procedimento tradicional (sem a aplicação do condicionador metálico);
- analisar o custo unitário por rosa produzida com machos tratados com condicionador metálico e comparar ao custo unitário por rosa produzida com procedimento tradicional (sem a aplicação do condicionador metálico).

### **1.5 Estrutura do trabalho**

No capítulo 1 é apresentada uma breve introdução sobre o tema, mostrando a importância da operação de rosqueamento nas indústrias manufatureiras e as contribuições relativas ao trabalho proposto. Também é abordada a problemática que o projeto se propõe a solucionar mediante a uma hipótese. Os objetivos e as justificativas também são apresentados neste capítulo.

No capítulo 2 é abordada a revisão bibliográfica a respeito dos processos de usinagem assim como suas possíveis análises de viabilidade técnica e econômica, destacando a relação custo x benefício, especialmente, no processo de rosqueamento com machos de roscar. A utilização de condicionador metálico como alternativa de melhoria de desempenho nas operações de usinagem e uma revisão das técnicas de análise estatística dos dados também são apresentados neste capítulo.

No capítulo 3 é descrito o método de pesquisa e o planejamento dos experimentos.

No capítulo 4 é feita a análise dos resultados do trabalho.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões do trabalho.

Por fim são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas na confecção deste trabalho.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A seguir é apresentada a revisão bibliográfica sobre os processos de usinagem assim como análise de viabilidade técnica e econômica, destacando a relação custo x benefício, especialmente, no processo de rosqueamento com machos de roscar, a utilização de condicionador metálico como alternativa de melhoria de desempenho nas operações de usinagem e a análise estatística dos dados.

### 2.1 Processos de usinagem e rosqueamento com machos

Os machos de roscar são ferramentas com filetes externos e rasgos longitudinais ou helicoidais formando arestas cortantes e sulcos para saída de cavaco. São ferramentas específicas para execução de roscas internas e podem ser utilizados manualmente, com o auxílio de desandadores, ou em máquinas como furadeiras, tornos, centros de usinagem, rosqueadeiras, dentre outras (BEZERRA *et al*, 2002; REIS *et al*, 2005; DA MOTA *et al*, 2011).

O macho para aplicação em máquina tem seu movimento de corte geralmente realizado por meio de cabeçotes rosqueadores ou com a utilização de Máquinas com Comandos Numéricos (CNC) e em relação aos tipos de machos os mesmos podem ser de corte, com a remoção de cavaco, ou laminadores em que as roscas são formadas por meio da conformação do material da peça (HAAG; AMANCIO, 2012). A ilustração do macho de roscar é mostrada na Figura 1.

Figura 1 - Macho de roscar



Fonte: Sandvik Coromant (2013)

Os machos de roscar podem fabricar diversos tipos de rosas, sendo as mais usuais as rosas de perfis triangulares. São ferramentas caracterizadas, dentre outras, por aplicações em operações de roscar internamente, passo de rosca medido pelo sistema métrico ou em número de filetes por polegada, diâmetro da parte roscada, diâmetro da haste cilíndrica indicando se o macho serve ou não para fazer rosca em furos mais profundos e sentido da rosca que pode ser direita ou esquerda (FREIRE, 1977; STEMMER, 1995; SHA *et al*, 1990).

O processo de rosqueamento com machos é complexo devido às dificuldades de remoção dos cavacos e de lubrificação das arestas de corte. Estas dificuldades podem ser agravadas por escolhas errôneas da ferramenta, condições críticas de corte e lubrificação inadequada na operação que podem ocasionar rosas fora da tolerância e ou quebra dos machos (REIS *et al*, 2005; DA MOTA *et al*, 2011).

A relação fixa e inalterável entre a velocidade de corte e o avanço é definida pelo passo da rosca e constitui outro problema para o processo, principalmente quando o furo da rosca a ser produzida não é passante. Nesses casos, os cavacos gerados costumam acumular e se compactar no fundo do furo, podendo travar o avanço do macho e ocasionar sua quebra. No rosqueamento de furos não passantes, a velocidade de corte do macho deve ser reduzida devido à necessidade de rápida reversão da rotação na conclusão da rosca (REIS *et al*, 2005).

Antes de se iniciar o trabalho com macho de roscar deve-se verificar o diâmetro do furo, pois em furos maiores que o diâmetro correto os filetes ficarão defeituosos (incompletos) e em furos menores, aumentará o atrito entre o macho e a peça, provocando o aumento do torque e a redução de sua vida devido ao aquecimento, travamento e ou quebra (SENAI, 2011; STEMMER, 1995).

Além dos defeitos relacionados com o diâmetro do furo, no processo de furação podem ocorrer outros defeitos tais como: furos com conicidade excessiva, furos abaulados, furos inclinados, erros de circularidade, dentre outros (CARVAJAL *et al*, 2011).

Uma das principais causas dos defeitos no processo de furação é a utilização de brocas que perderam a capacidade do corte, a utilização de parâmetros de furação inadequados, aliadas as altas temperaturas geradas durante o processo de furação e ao desalinhamento do eixo árvore em relação à peça e o excesso de força durante a furação (KISHORE *et al*, 2011; KUDLA, 2003; VASCONCELLOS; ARAUJO, 2011).

Estes defeitos podem afetar a qualidade da rosca e para a correta seleção dos diâmetros dos furos para a fabricação de roscas com machos de roscar devem-se consultar tabelas, catálogos de fabricantes e livros técnicos que relacionam o diâmetro da broca e a rosca que se deseja obter (SENAI, 2011; SHA *et al*, 1990).

Para Pereira (2010) deve-se levar em conta a geometria do macho roscar, tanto da ponta quanto dos canais, a fim auxiliar no direcionamento do cavaco e na adequação da resistência da ferramenta, havendo três geometrias básicas: machos de ponta helicoidal, machos de canal helicoidal e macho com canal reto.

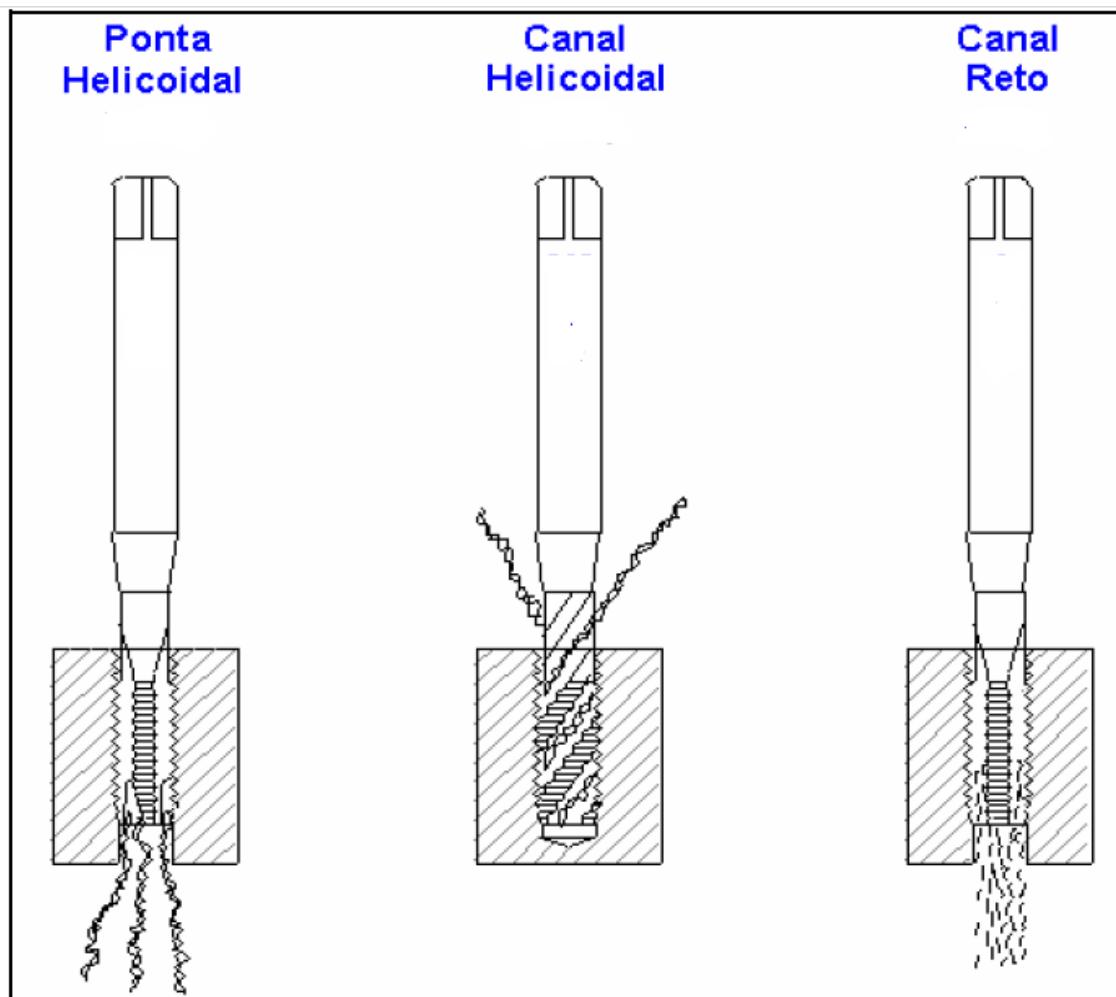
Segundo Sandvik Coromant (2013), além das características geométricas citadas por Pereira (2010) há outras geometrias como segue:

- machos de ponta helicoidal: impulsionam os cavacos para frente, melhoram a rigidez do núcleo, facilita a lubrificação das arestas cortantes e são recomendados para furos passantes;
- machos de canal helicoidal: destinam-se principalmente para rosas em furos cegos, pois transportam os cavacos para trás afastando-os das arestas cortantes e para fora do furo, evita a compactação dos cavacos nos canais ou no fundo da rosca;
- machos com canais retos: são adequados para utilização na maioria dos materiais, principalmente em aços e ferro fundido de cavacos curtos;
- machos com rosca interrompida: auxilia na diminuição do torque gerado devido ao menor atrito entre a peça e a ferramenta;

- machos com entrada somente no chanfro de guia: melhora a rigidez, porém sua aplicação se limita a uma profundidade de furo menor que aproximadamente 1,5 vezes o diâmetro do macho.

Na Figura 2 são mostrados os três tipos básicos de macho e suas aplicações citadas por Pereira (2010):

Figura 2 - Tipos básicos de macho e suas respectivas aplicações



Fonte: Adaptado de Pereira (2010)

Outra característica dos machos de roscar é o número de canais que variam entre dois, três e quatro canais, sendo que o com dois canais, em geral, possui maior espaço para armazenamento de cavacos, com quatro canais possui maior resistência e com três canais possui valores intermediários de resistência e armazenamento de cavacos (PEREIRA, 2010).

Existem basicamente dois materiais para a fabricação de machos de roscar: o aço rápido e o metal duro. Para machos de aço rápido as velocidades de corte utilizadas no processo de rosqueamento são relativamente baixas, girando em torno de 20 metros por minuto, enquanto que para os machos de metal duro há possibilidade de adoção de maiores velocidades de corte (REIS *et al*, 2005; BEZERRA *et al*, 2002).

A seguir seguem mais detalhes sobre as características dos aços rápidos e dos metais duros:

- **os aços rápido**, aços de alta liga que possuem, além do carbono, vários elementos de liga, tais como tungstênio (W), cobalto (Co), cromo (Cr), vanádio (Va), molibdênio (Mo) e boro (Bo), que são responsáveis pelas propriedades de resistência de corte a quente até 550 °C sendo que cada elemento de liga atribui características distintas ao material modificando suas propriedades mecânicas, aumentando a temperabilidade, conferindo dureza a quente, aumentando a capacidade de corte e melhorando a sua resistência ao desgaste;
- **os metais duros**, fabricados pela metalurgia do pó, são produzidos a partir de partículas duras de carbonetos de metais refratários, que são sinterizados com um ou mais elementos do ferro (ferro, níquel ou cobalto) formando um corpo de alta dureza e resistência à compressão. O metal duro se caracteriza pela elevada resistência à compressão, alta dureza, elevada resistência ao desgaste com alta resistência ao corte a quente, pois em até uma temperatura de 800°C a dureza mantém-se inalterada, as velocidades de corte podem, em geral, variar entre 50 e 500m/min, podendo ser empregadas velocidades cinquenta vezes superior a do aço

rápido, porém com resistência a flexão e tenacidade limitadas (DA MOTA *et al*, 2011; DINIZ *et al*, 2013).

De acordo com Sandvik (b) (2013) para machos de roscar construídos com aço rápido ou metal duro, para aplicação em peças de aço, as velocidades de corte recomendadas variam entre 9 m/min a 25m/min para ferramentas de aço rápido e entre 17m/min a 55m/min para ferramentas de metal duro.

Segundo Diniz *et al* (2013), a seleção criteriosa do material da ferramenta depende do material a ser usinado, processo de usinagem, condições das máquinas ferramentas, forma e dimensões das ferramentas, custo do material da ferramenta, condições de usinagem e condições da operação.

Os parâmetros de velocidade de corte utilizados no processo de rosqueamento, quando comparados às velocidades de corte utilizadas nos processos de torneamento e fresamento, são relativamente baixas, girando em torno de 20m/min. Deste modo, velocidades de acima de 50 m/min, são consideradas altas velocidades de corte (DA MOTA *et al*, 2005).

Dependendo do material da peça e da ferramenta, as máquinas modernas de Comando Numérico Computadorizado podem controlar as taxas de avanço e a rotação para a abertura de rosas com machos de roscar utilizando velocidades de até 180 m/min (DA MOTA *et al*, 2005).

Entretanto um dos problemas do rosqueamento em altas velocidades de corte é a quebra da ferramenta, geralmente devido ao torque excessivo e temperaturas elevadas, causadas principalmente pelo aumento do atrito gerado pelos cavacos e pela falta de lubrificação na interface cavaco/ferramenta, aumentando sensivelmente as forças de corte (FANTIN, 1992; REIS *et al*, 2005).

Outro problema do rosqueamento em altas velocidades são os erros de sincronismo, pois em muitos casos, a máquina não é capaz de manter a harmonia dos movimentos de rotação, avanço de entrada, parada no fundo da peça e inversão de rotação para saída (PEREIRA, 2010; REIS *et al*, 2005; AHN *et al*, 2003).

Para Da Mota *et al* (2011) os erros de sincronismo no processo de rosqueamento com machos de roscar aumentam de forma significativa as forças axiais e o torque, podendo causar inclusive a quebra do macho.

Para outros autores, algumas variáveis envolvidas no processo, como a rigidez do sistema de fixação e o tipo e sistema de lubrificação, devem ser consideradas a fim da correta seleção da ferramenta e melhorias no resultado final obtido (DA MOTA *et al*, 2011; DA SILVA *et al*, 2004).

Outro fator que pode afetar a vida da ferramenta é o calor gerado nos processos de usinagem. No rosqueamento, o atrito do macho com a peça e os cavacos, juntamente com a energia gasta para deformar o material, geram grandes quantidades de calor. Este calor é um dos grandes responsáveis pelo desgaste das ferramentas, devido a dilatação térmica e ao dano térmico causado à estrutura superficial da peça (DINIZ *et al*, 2013; BEZERRA *et al*, 2002).

Em resumo, pode-se aumentar a vida das ferramentas alterando os seus materiais tanto no processo de rosqueamento como em outros processos de usinagem. De acordo com o que foi discutido, em geral, as ferramentas de metal duro é o que apresenta melhor desempenho em termos de velocidade de corte e de resistência à temperatura de trabalho e para algumas aplicações é recomendável utilizar ferramentas de aço rápido devido à sua maior tenacidade (DINIZ *et al*, 2013).

A seguir será abordado sobre o tema desgastes e avarias das ferramentas de usinagem e machos de rocar.

## 2.2 Desgastes e avarias das ferramentas de usinagem e machos de rocar

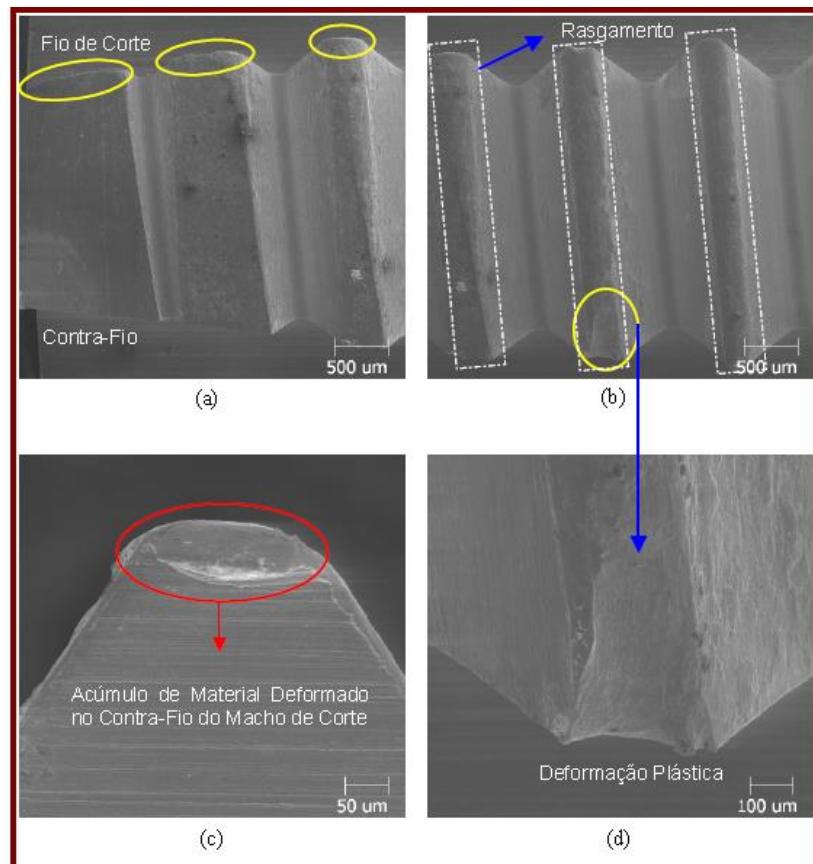
Segundo Diniz *et al* (2013), há diversos tipos de desgaste e avarias que acontecem em uma ferramenta de usinagem, sendo considerado desgaste a perda contínua e microscópica de partículas da ferramenta devido à ação de corte, e as

demais ocorrências são avarias e seus tipos são: desgaste frontal, deformação plástica da aresta de corte, lascamento, trincas e quebra.

Em geral, os desgastes e avarias observados em machos de roscar são: o lascamento de filetes sujeitos à sobrecarga, o rasgamento, que é o arrancamento da parte superior da crista de um ou mais filetes, a adesão e a abrasão. Quando utilizadas altas velocidades de corte na operação de rosqueamento pode também ocorrer desgaste por deformação plástica devido às altas temperaturas na região da interface cavaco-ferramenta (REIS *et al*, 2003; DA MOTA *et al*, 2005).

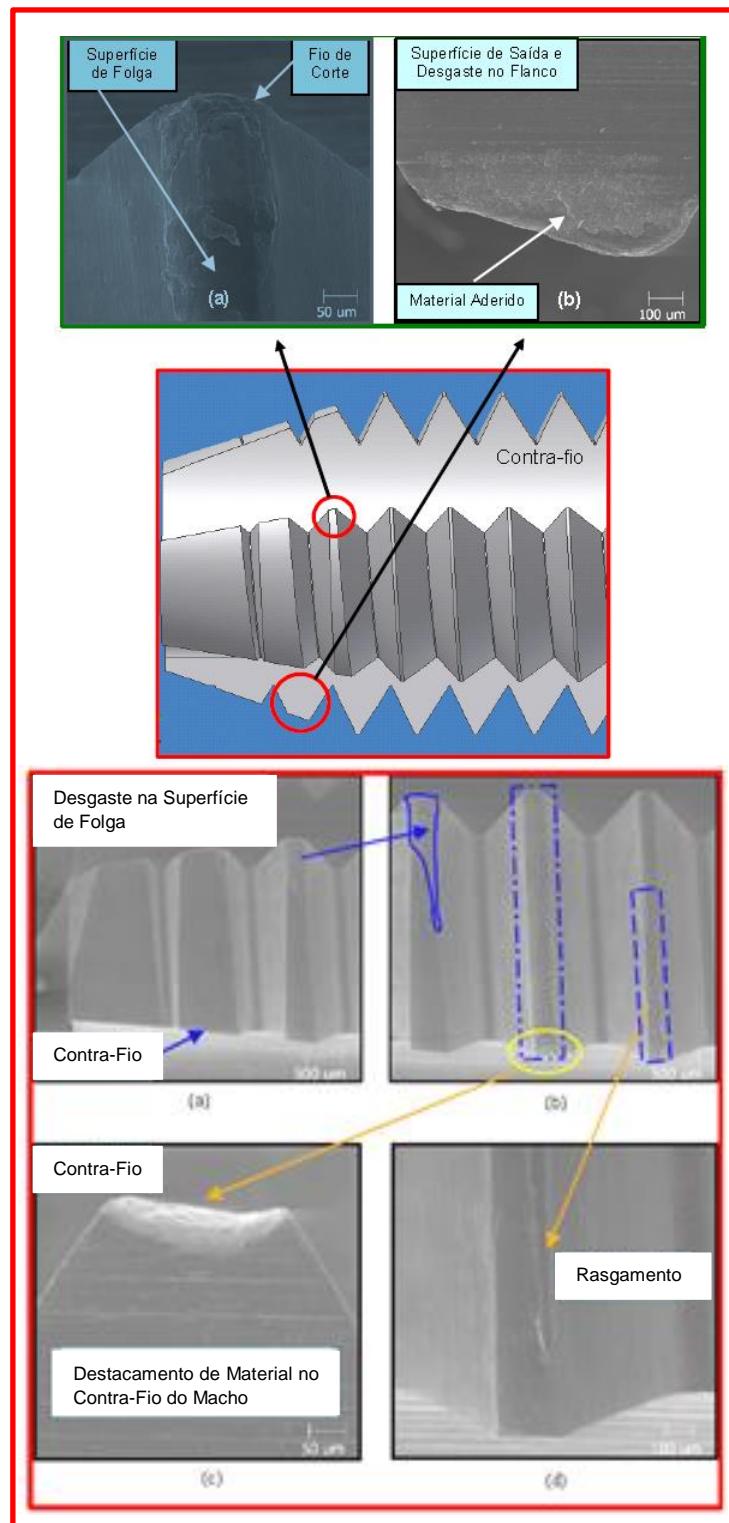
O detalhamento de alguns tipos de desgaste em machos de roscar sem revestimento e em machos de roscar com revestimento, após a execução de uma determinada quantidade de roscas são apresentados na Figura 3 e na Figura 4:

Figura 3 – Exemplo de desgastes em machos de roscar sem revestimento



Fonte: Reis *et al* (2003)

Figura 4 – Exemplo de desgastes em machos de roscar com revestimento



Fonte: Adaptado de Reis *et al* (2003)

A fim de minimizar os desgastes das ferramentas, algumas soluções encontradas foram os tratamentos e os revestimentos superficiais, que garantem maior resistência térmica, menor adesão e atrito entre a ferramenta e a peça durante a usinagem (DA MOTA *et al*, 2011; REIS, 2005).

Os primeiros estudos sobre revestimentos para ferramentas de corte são da metade da década de 1960, que na época resultaram em um método de deposição de metais como o háfnio, que participava na formação de carbonetos estáveis. Em 1969 entravam no mercado as primeiras ferramentas revestidas com TiC (carboneto de titânio) desenvolvidas pela empresa Sandvik apresentando excelentes resultados de resistência ao desgaste abrasivo, adesivo, oxidação e deformação plástica (SUR, 1976; SANTOS, 2007).

Segundo Diniz *et al* (2013) em geral a aplicação de revestimentos com um material mais resistente ao desgaste como nitreto de titânio (TiN), o carboneto de titânio (TiCN), o nitreto de titânio-alumínio (TiNAl) e o nitreto de cromo-alumínio (AlCrN) melhoraram o desempenho das ferramentas de aço rápido tais como machos, brocas, alargadores, cortadores de dentes de engrenagens e alguns tipos de fresas devido à forma e dimensões destas ferramentas e características inerentes de suas operações de usinagem.

Já para ferramentas de metal duro, o revestimento com coberturas duras objetiva, principalmente, aumentar a resistência ao desgaste da área da ferramenta que entra em contato com a peça e com o cavaco podendo-se, em muitos casos, conciliar a tenacidade do metal duro mais simples do núcleo da pastilha com resistência ao desgaste e dureza a quente do revestimento (DINIZ *et al*, 2013).

Segundo Da Mota *et al* (2005) no caso de rosqueamento com macho de rosca utiliza-se o revestimento sobre o substrato da ferramenta de corte, buscando-se conseguir uma maior resistência aos mecanismos de desgaste por abrasão e adesão e aos termicamente ativados (difusão e oxidação).

Assim como os revestimentos, a lubrificação é um importante instrumento para minimizar o desgaste das ferramentas nas operações de usinagem e para tal finalidade utiliza-se o fluido de corte (FONSECA *et al*, 2011).

As principais funções dos fluidos de corte são: refrigerar, lubrificar, proteger contra a oxidação e limpar a região da usinagem, entretanto em algumas condições de aplicação, os mesmos podem aumentar expressivamente o desgaste das ferramentas, além de causarem danos aos operadores e ao meio ambiente (ZEILMANN, 2003).

Segundo Diniz *et al* (2013) a correta seleção do fluido depende do material a ser usinado, do tipo de operação, da ferramenta utilizada e do material da ferramenta.

Quando analisada a influência do fluido de corte nos processos de rosqueamento, há dificuldades do fluido remover o cavaco da região usinada devido à complexidade inerente da operação (REIS *et al*, 2005).

Segundo Kamruzzaman e Dhar (2009) a utilização de fluidos de corte, geralmente traz melhorias na vida das ferramentas e torna-se mais fácil manter as tolerâncias apertadas e manter as propriedades da superfície da peça de trabalho sem danos. No entanto, em alguns métodos convencionais de aplicação de fluidos de corte há uma diminuição em sua eficácia devido ao aumento da velocidade de corte e das dificuldades do fluido penetrar adequadamente nas interfaces da peça e da ferramenta. Além disso, muitas vezes em usinagem de alta produção o fluido de corte pode causar falhas prematuras na ferramenta de corte por fratura ou devido aos choques térmicos.

No caso de rosqueamento com machos de roscar a altas velocidades de corte, em geral, utiliza-se o fluido de corte para auxiliar na redução do desgaste da ferramenta, dissipar o calor da peça e da máquina, auxiliar no escoamento dos cavacos e remover os resíduos de corte remanescente na peça e na máquina. Na maioria dos casos há necessidade de grande quantidade de fluido de corte devido às altas temperaturas desenvolvidas na região de corte (BEZERRA, 2002; DA MOTA *et al*, 2005).

No próximo capítulo será discutido com mais detalhes a utilização do fluido de corte nos processos de usinagem e rosqueamento com machos de roscar.

### **2.3 Fluido de corte nos processos de usinagem e rosqueamento com machos de roscar**

Diversos autores apontam para o elevado custo do descarte do fluido de corte que aumentou substancialmente devido às legislações ambientais mais resistentes o que, em geral, ocasionam aumentos dos custos de produção, porém em diversos casos a lubri-refrigeração é essencial para a obtenção das qualidades superficiais requeridas e custo x benefício adequado ao processo (BRAGA *et al*, 2002; KAMRUZZAMAN; DHAR, 2009; BRANDÃO; COELHO, 2009).

Segundo Zeilmann (2003); Ueda e Sanchez (2011); Zeilmann *et al* (2006) há algumas alternativas para minimizar a quantidade de fluido de corte nas operações de usinagem, como por exemplo, a técnica de Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL) e usinagem com jato de refrigeração de alta pressão, técnicas pelas quais há bons resultados quando comparados, principalmente, a usinagem sem qualquer tipo de lubrificação e em alguns casos a técnica MQL mostrou-se com melhores resultados que a aplicação abundante de fluido de corte.

Um dos argumentos da utilização da técnica MQL é a tendência mundial de redução e/ou eliminação de fluidos na usinagem devido a problemas ambientais, com operadores, pois o contato com a pele pode causar irritações da pele ou até mesmo câncer (TAWAKOLI *et al*, 2009; TAWAKOLI *et al*, 2010).

Apesar do interesse acadêmico com diversos trabalhos sobre a técnica MQL, principalmente pelo rótulo ecológico, alguns pontos não estão totalmente solucionados ou esclarecidos como, por exemplo, a pulverização de partículas de óleo no ambiente local exigindo que a máquina seja totalmente fechada com guardas de proteção e que também possua um bom sistema de exaustão com controle de emissões de partículas (DINIZ *et al*, 2013; DA SILVA *et al*, 2007; NAND; DAVIM, 2009).

Segundo Klauberg (2009) no caso do processo de rosqueamento com macho de roscar, utilizando MQL, não foi comprovado estatisticamente melhorias no desempenho da operação quando em comparação com o método tradicional de utilização do fluido de corte.

Para Brandão e Coelho (2009) a utilização de MQL na operação de rosqueamento com machos de roscar promove maior temperatura na interface peça x ferramenta quando em comparação com o método tradicional de utilização do fluido de corte.

Para Weinert *et al* (2004) pode utilizar a técnica de MQL nas operações de rosqueamento utilizando baixas velocidades de corte, desde que o material a ser usinado seja de aço com baixos teores de carbono ou de alumínio.

A seguir será abordado sobre os condicionadores metálicos.

## 2.4 Condicionadores Metálicos

Vários autores citam a diminuição do atrito como um dos fatores de aumento da vida útil da ferramenta (DA MOTA *et al*, 2011; REIS, 2005; BEZERRA *et al*, 2002).

A ciência que estuda o movimento relativo entre duas superfícies metálicas quando estas entram em contato devido ao atrito denomina-se tribologia e uma das maneiras de diminuir os efeitos do desgaste é a introdução de lubrificante com baixa taxa de cisalhamento entre as superfícies (SALES *et al*, 2011).

De acordo com Demétrio (2012) uma maneira de diminuir o desgaste entre duas superfícies é a inserção de uma camada lubrificante líquida ou sólida entre duas superfícies e, dependendo da aplicação, a lubrificação sólida é a que apresenta maiores vantagens em relação à diminuição do atrito, pois uma vez formada a camada de lubrificante, haverá a possibilidade de presença entre as partes em contato.

Outra vantagem do lubrificante sólido em relação ao lubrificante líquido é em relação à temperatura de operação que pode estender a faixa de 1000°C, mantendo o coeficiente de atrito relativamente baixo (DA CUNHA, 2012).

A combinação de lubrificantes sólidos e líquidos, em alguns casos, podem trazer benefícios em relação ao atrito e ao desgaste, pois há possibilidade de ocorrer a sinergia de propriedades dos mesmos (SILVÉRIO, 2010).

Embora na maioria das aplicações tribológicas são utilizados lubrificantes líquidos e ou graxas para diminuir o atrito e o desgastes da superfícies em contato, pode-se utilizar o lubrificante sólido também em aplicações de baixas temperaturas, baixa pressão ou vácuo e pressões extremas de contatos (SILVÉRIO, 2010).

Os produtos químicos que são propositadamente adicionados a um óleo para melhorar suas propriedades são chamados aditivos, que por sua vez, podem mudar as propriedades de um lubrificante e são essenciais para o seu desempenho global. Eles também auxiliam nas características específicas do lubrificante como a tendência à corrosão, formação de espuma, oxidação, coagulação, desgaste, atrito e outras propriedades (SANTANA *et al*, 2010).

Já os condicionadores metálicos podem ser empregados quando se deseja diminuir o atrito, proteger a peça contra intempéries, servir de metal base para outro material de maior resistência ou melhores propriedades e, em alguns casos, auxiliam na diminuição da fadiga dos metais (DOS ANJOS, 2012; KRIONI, 2012).

Há um condicionador de metais, Militec-1, que é um líquido sintético de coloração dourada, similar a alguns óleos sintéticos em termo de viscosidade, não se tratando de um aditivo de óleo, pois não contém melhoradores do índice de viscosidade, não altera a composição físico-química e nem o intervalo de troca do óleo (MILITEC, 2014).

Ainda segundo Militec (2014) o condicionador metálico Militec-1 pode ser aplicado puro ou ser adicionado a qualquer tipo de óleo ou graxa de origem mineral ou

sintética podendo ser aplicado em equipamentos diversos e em aplicações de usinagem e ferramentas de corte nas operações de torneamento.

No próximo tópico será abordado o tema viabilidade econômica e técnica nos processos de usinagem.

## 2.5 Viabilidade econômica e técnica nos processos de usinagem

A análise de viabilidade econômica e financeira busca identificar quais são os retornos monetários esperados de um dado investimento (ZAGO *et al*, 2009).

Há várias formas de verificação da viabilidade econômica, uma muito comum é a verificação da viabilidade da implantação de uma melhoria por meio da avaliação dos custos diretos envolvidos no processo, uma vez que os demais custos são comuns para as diferentes condições como por exemplo, adicionar o custo de uma determinada melhoria e verificar se os ganhos de produção e ou produtividade compensam os gastos adicionais testadas (BAPTISTA, 2004; COPPINI; BAPTISTA, 1998).

No caso da viabilidade técnica, é aquilo que faz referências e obedecem as características tecnológicas, de inovação e de qualidade envolvidas em um determinado processo que devem ser avaliados a fim melhorar a competitividade junto a seus concorrentes (MOREIRA, 2008).

Podem ser avaliados de forma técnica outros indicadores diretos e/ou indiretos, como por exemplo, o tempo de disponibilidade de máquina, a redução do número de ferramentas consumidas, o aumento de produtividade, a redução do tempo de *SETUP*, o aumento de produção, etc (REIS; ALVES, 2010; MIRANDA *et al*, 2010).

A qualidade do produto e as questões ambientais também podem ser analisadas de forma técnica ou econômica, pois segundo Martins *et al* (2005) a melhoria contínua da qualidade traz redução de custos e consequentes vantagens competitivas.

De acordo com Larson e Martinsen (2010) e Luz *et al* (2006) as questões ambientais e de sustentabilidade estão sendo debatidas e o aumento da eficiência e da produtividade pode ser uma importante contribuição para as melhorias das questões ambientais por meio de uma fabricação sustentada, aumento da performance e ao mesmo tempo uma menor utilização de recursos e necessidade de investir em novos equipamentos.

A análise da viabilidade técnica e econômica visa proporcionar diferenciais de competitividade entre as empresas de um determinado mercado que devem ser analisadas e formuladas para a qualidade dos produtos ou serviços, flexibilidade, variedade de produtos e inovação enquanto que os custos devem ser reduzidos a fim de proporcionar vantagens competitivas em relação a seus concorrentes (MARTINS *et al*, 2005; LUIZA *et al*, 2009; MAIA *et al*, 2010; CHEUNG; XU, 2012).

Tanto na verificação da viabilidade técnica quanto na verificação da viabilidade econômica há necessidade de um indicador de desempenho que pode, por exemplo, ser avaliado por intermédio de um experimento. Segundo Montgomery (2008) um experimento é um teste ou uma série de testes na qual são feitas mudanças propositais nas variáveis de entrada (fatores controláveis) de um processo ou sistema que permitam observar e identificar as razões para mudanças observáveis na resposta do sistema.

As avaliações econômicas e técnicas são datadas mesmo antes da revolução industrial e do surgimento do paradigma fordista-taylorista, no início do século XIX, época em que as decisões eram baseadas em informações sobre o custo por hora da transformação da matéria-prima em produtos acabados, particularizadas por departamentos e indivíduos a fim de medir a eficiência do processo e comparar o desempenho produtivo de cada funcionário. Estas informações eram usadas para estipular metas e eventuais ganhos adicionais (TEZZA *et al*, 2010).

Em meados do século XIX, foi desenvolvida uma nova medida de desempenho: o índice operacional, que correlacionava o índice de despesas operacionais com a receita para medir a eficiência dos gerentes locais e a lucratividade dos negócios. As

informações dos indicadores de desempenho eram utilizadas por fábricas de produtos sob encomenda para determinar os produtos mais rentáveis e os preços de venda. Ainda no século XIX, Frederick W. Taylor fundou a administração científica, que substituía os métodos empíricos pelos científicos, para a obtenção de medidas e avaliações mais precisas (TEZZA *et al*, 2010; MOREIRA, 2008).

A partir de 1960, com o movimento da qualidade, as empresas iniciaram o emprego de indicadores focados em qualidade e em outras categorias internas, como a velocidade e flexibilidade, ao lado do custo, como fatores importantes para o sucesso, tornando indicadores financeiros tradicionalmente utilizados menos relevantes (TEZZA *et al*, 2010).

Em 2010, somente nos EUA foram gastos anualmente 300 bilhões de dólares com o processo de usinagem, portanto a busca pela redução dos custos produtivos encontrou ressonância na comunidade acadêmica e nas indústrias de manufatura (PEREIRA, 2010).

Nos sistemas de produção, usualmente, a verificação do desempenho de qualquer melhoria aplicada ao processo é realizada por meio da análise da relação custo x benefício, verificando se o valor do investimento da alteração proposta é viável financeiramente (CAUCHICK; COPPINI, 1996) e segundo Bruni e Fama (2004); Horngren *et al* (2004) a alocação dos custos fornecem informações necessárias para decisões estratégicas e operacionais das empresas e auxiliam na determinação do lucro, controle de operações e demais recursos.

As avaliações dos indicadores econômicos e técnicos visam proporcionar vantagens competitivas em relação aos concorrentes e para tanto podem estabelecer uma ou mais estratégias competitivas como, por exemplo, obter vantagem competitiva comercializando produtos de alta qualidade, obter um menor custo por meio de técnicas de projeção de demandas, dentre outras. As estratégias competitivas devem ser transferidas para a manufatura, especialmente nos mercados competitivos (MARTINS *et al*, 2005; MOREIRA, 2008).

Para Luiza *et al* (2008) uma empresa é competitiva em um determinado mercado, quando se consegue alcançar, em um nível aceitável, alguns indicadores econômicos, tais como: volume de negócios, lucro, participação de mercado comparável ou superior à de outras empresas concorrentes atuando no mesmo mercado.

Segundo Ahuja (2012) para manter a competitividade no ambiente de negócios adversos dos dias atuais exige-se uma profunda compreensão das dinâmicas dos processos de produção. A intensa competição global vem diminuindo as barreiras comerciais e está cada vez mais difícil para as empresas manter sua participação de mercado. A globalização das economias de mercado exige esforços concentrados de todos os setores da empresa para manter uma vantagem competitiva sustentável.

As empresas sabem que são competitivas quando há avaliação dos indicadores de desempenho sejam eles os custos envolvidos, a qualidade do produto, a produtividade, o número de peças produzidas, dentre outros, e para tanto, há necessidade de medições que devem ter um nível de confiança adequado (MACEDO, 2013; HAGUENAUER, 2012), ou seja, as medições dos indicadores de desempenho devem ser o mais preciso possível a fim de evitar distorções nos resultados finais e assim obter uma relação x custo benefício favorável.

Lacerda *et al* (2011) fizeram uma busca pela literatura especializada sobre a gestão estratégica de organização, quando analisados na visão de seu desempenho, selecionando 41 artigos dos 331 alinhados por títulos e apresentam seis critérios de análises e potencialidades sobre o tema, dentre eles a necessidade de mensuração dos indicadores de desempenho, permitir conhecer o perfil atual, sua monitoração e aperfeiçoamento.

Dos diversos trabalhos pesquisados, todos eles não apresentam indicadores de desempenho econômico. A avaliação da relação custo x benefício das melhorias para o aumento da vida útil dos machos de roscar são tratadas de forma secundária ou superficial dando-se mais ênfase as avaliações técnicas tais como: tribologia, tipificação e análise dos desgastes das ferramentas, influência dos diversos tipos de fluidos de

corte no desgaste dos machos entre outros, conforme Quadro 1 no qual descreve as principais metodologias de desempenho técnico dos artigos pesquisados.

Quadro 1 - Metodologias de avaliação de desempenho empregadas nos artigos pesquisados

<b>Metodologia de avaliação de desempenho técnico</b>	<b>Fontes pesquisadas</b>
Comparação do número de peças produzidas	(AGAPIOU, 1994; AHN <i>et al</i> , 2003; ZEZERRA <i>et al</i> , 2002; CAO, 2002; DA MOTA, 2005; DA MOTA <i>et al</i> , 2011; HAAH; AMANCIO, 2011; KLAUBERG, 2009; REIS, 2004; REIS <i>et al</i> , 2005; RAMJI; MURTHY; KRISHMA, 2010; SAHIN, 2009).
Comparação dos desgastes das ferramentas nas diversas condições	(AGAPIOU, 1994; REIS, 2004; REIS, 2005; DA MOTA <i>et al</i> , 2005; CARVALHO <i>et al</i> , 2012; DA MOTA <i>et al</i> , 2013; DA SILVA <i>et al</i> , 2004; HECK <i>et al</i> , 2007; KRIONI, 2012).
Quantidade do número de peças defeituosas	(AGAPIOU, 1994; DA MOTA <i>et al</i> , 2005; DA MOTA <i>et al</i> , 2011; SOUZA <i>et al</i> , 2013).
Otimização de parâmetros de corte	(BAPTISTA; COPPINI, 1998; BAPTISTA; COPPINI, 2007; GRIVOL, 2007).
Diminuição do tempo de <i>setup</i>	(REIS; ALVES, 2010; MIRANDA <i>et al</i> , 2010).
Comparação dos torques e das forças axiais nas diversas condições	(PEREIRA, 2010; VASCONCELOS; ARAUJO, 2011).
Comparação da quantidade de peças utilizando diversos meios de lubrificação	(BRAGA <i>et al</i> , 2002; BRANDÃO; COELHO, 2009; DA SILVA <i>et al</i> , 2007; FONSECA <i>et al</i> , 2011; KLAUBERG, 2009; NAND; DAVIM, 2010; SHARMA; DOGRA; SURI, 2009; TAWAKOLI <i>et al</i> , 2009; TAWAKOLI, HADAD; SADEGUI, 2010; WEINERT <i>et al</i> , 2004; ZEILMANN, 2003; ZEIMANN <i>et al</i> , 2006).

Fonte: O autor

Conforme o Quadro 1, todos os artigos pesquisados, que utilizaram processos de usinagem, adotaram os fatores técnicos como indicadores dos resultados de seus trabalhos e, em geral, fixaram os parâmetros de processos para obter uma maior confiabilidade dos resultados.

Uma das razões da adoção da fixação dos parâmetros de processo é devido à possibilidade de monitorar as forças e potências de corte, que segundo Diniz *et al* (2013) é de fundamental importância no dimensionamento do motor da máquina-ferramenta, pois afetam a potência necessária para o corte, a capacidade de obtenção de tolerâncias apertadas, a temperatura de corte e o desgaste da ferramenta.

Para Reis *et al* (2005) para a operação de rosqueamento as potências de corte e a forças de corte podem ser monitoradas indiretamente via análise de sinais de parâmetros elétricos (corrente, tensão e potência).

Outra razão para a fixação dos parâmetros de processo é para a obtenção e possível comparação da vida da ferramenta, pois conforme Souza *et al* (2013) e Sahin (2009) de um modo geral, a medida avaliada em uma ferramenta é sua vida que por sua vez é o tempo no qual ela efetivamente trabalha entre duas afiações sucessivas ou a troca da aresta de corte do inserto.

Outro meio desenvolvido para o monitoramento dos machos de roscar é a avaliação da temperatura da interface peça x macho (BRANDÃO; COELHO, 2009).

## 2.6 Vida das ferramentas nas operações de usinagem e rosqueamento

Nas operações de acabamento, o fim de vida de uma ferramenta de corte pode ser definido quando não há possibilidade de se obter tolerâncias apertadas ou o acabamento requerido na superfície usinada da peça (SOUZA, 2013). A vida de uma ferramenta de corte pode ser representada pela Equação (1), a chamada Equação de Vida de Taylor (DINIZ *et al*, 2013).

$$T = K \cdot V_c^{-x} \quad (1)$$

onde:

$T$  = vida da ferramenta [min.];

$K$  = constante da equação;

$V_c$  = velocidade de corte [m/min.];

$x$  = coeficiente.

Para obter resultados mais precisos, os valores de  $x$  e  $K$  devem ser levantados por meio de ensaios (YANG *et al*, 2002), cuja a metodologia utilizada para determinar estes valores consiste na adoção de uma velocidade de corte ( $V_{c_1}$ ); adoção de um critério de final de vida medido em minutos; adoção de uma segunda velocidade de corte ( $V_{c_2}$ ) com variação aproximada para mais ou para menos de 20% e com os mesmos parâmetros de processos utilizados na ( $V_{c_1}$ ) medir a vida de ( $V_{c_2}$ ) em minutos e, com os dados obtidos com confiança estatística, calcular o coeficiente da Equação de Vida de Taylor ( $x$ ) utilizando a Equação 2 e a Equação 3 ambas derivadas da Equação 1 (BAPTISTA, 2004; BAPTISTA; COPPINI, 2007; GRIVOL, 2007; DINIZ *et al*, 2013).

$$x = \frac{\log\left(\frac{T_1}{T_2}\right)}{\log\left(\frac{V_{c_2}}{V_{c_1}}\right)} \quad (2)$$

Em que para a Equação 2 tem-se:

$T_1$  = vida da aresta da primeira ferramenta [min.];

$T_2$  = vida da aresta da segunda ferramenta [min.];

$V_{c_1}$  = primeira velocidade de corte [m/min.];

$V_{c_2}$  = segunda velocidade de corte [m/min].

Para a Equação 3 tem-se:

$$K = T_1 \cdot V_{c_1} = T_2 \cdot V_{c_2} \quad (3)$$

De acordo com Thirumalai e Senthilkumaa (2012), os parâmetros de usinagem e a geometria da ferramenta são fatores importantes para a definição e determinação de um modelo para a obtenção da condição otimizada na usinagem de uma peça e sua avaliação pode ser de forma técnica ou econômica.

Uma das formas de obter uma relação custo x benefício favorável é determinar os melhores parâmetros de processo, tais como a velocidade de corte, avanço e profundidade de corte, e algumas destas funções são essenciais no processo de usinagem a fim de minimizar o custo de produção, melhorar a rugosidade da superfície, diminuir a força de corte, diminuir o desgaste da ferramenta e do flanco da ferramenta (THIRUMALAI; SENTHILKUMAA, 2012; FILHO, 2004; RAMJI *et al*, 2010).

Um dos principais parâmetros de usinagem é a velocidade de corte e pode ser otimizada por meio de cálculos da velocidade de mínimo custo, conforme Equação 4 e da velocidade de máxima produção conforme Equação 5, velocidades estas que constituem o Intervalo de Máxima Eficiência – IME (BAPTISTA, 2004; BAPTISTA; COPPINI, 2007; GRIVOL, 2007; DINIZ *et al*, 2013).

A velocidade de mínimo custo é calculada conforme Equação 4:

$$V_{cmc} = \sqrt[x]{\frac{C_2 \cdot K}{60 \cdot (x-1) \cdot C_3}} \quad (4)$$

sendo:

$V_{cmc}$  = velocidade de corte de mínimo custo [m/min];

$C_2$  = soma das despesas com mão de obra e com máquina [R\$/hora];

$C_3$  = constante de custo relativo à ferramenta.

A velocidade de máxima produção é apresentada conforme Equação 5:

$$V_{cmxp} = \sqrt{\frac{K}{(x-1).tft}} \quad (5)$$

sendo:

$V_{cmxp}$  = velocidade de corte de máxima produção [m/min];

$tft$  = tempo de troca da ferramenta [min].

A forma mais econômica de determinar o fim de vida nas operações de rosqueamento com machos de roscar é utilizando um calibrador passa - não passa ou quando ocorrer falha catastrófica da ferramenta (REIS *et al*, 2003; DA MOTA *et al*, 2005; DA MOTA *et al*, 2013).

Segundo Diniz *et al* (2013) o custo por peça na condição de máxima produção, em alguns casos específicos, não difere significativamente da condição de mínimo custo e deve-se adotar, para estes casos, o regime de máxima produção como condição otimizada exceto quando o valor da ferramenta é muito significativo no processo.

A seguir são apresentadas algumas possibilidades de análise estatística dos indicadores de desempenho.

## 2.7 Análise estatística de dados

Conforme Montgomery (2008) e Gil (2002) antes da realização do experimento é recomendável realizar o planejamento do experimento que deve ser baseado numa metodologia estatística. O experimento desempenha um papel importante na comercialização de tecnologia, desenvolvimento de novos produtos, desenvolvimento e melhorias nos processos de manufaturas.

O conhecimento necessita estar comprovadamente resultando em melhorias e para isto necessita ser mensurado (LACERDA *et al*, 2012; CHEN, 2008). Para o dimensionamento do número necessário de ensaios de um determinado experimento há necessidade do conhecimento prévio de alguns conceitos estatísticos a fim de uma confiança estatística aceitável que é geralmente de 95% (MONTGOMERY, 2008; GIL, 2002; MONICO *et al*, 2009).

Dentre estes conceitos prévios estão o intervalo de confiança que é o intervalo de valores que contém a média da população, e a precisão que se refere ao tamanho do intervalo, que deve ser adequado para se tirar conclusões da média populacional (CHWIF; MEDINA, 2010).

Ainda sobre nível de confiança adequado, conforme Montgomery e Runger (2003) o coeficiente de confiança determina o quão prováveis é a estimativa de um determinado intervalo. Por exemplo, um instrumento de medição pode ter sua repetitividade aferida analisando as medidas obtidas por operadores diferentes ou pode-se determinar o intervalo mínimo e máximo do peso de uma determinada matéria prima a fim de determinar o intervalo mínimo e máximo do número de peças produzidas.

A distribuição das variáveis aleatórias pode ser aproximada por um modelo probabilístico conhecido e encontrado em pacotes comerciais, tais como: distribuição estatística Normal, distribuição estatística Beta, distribuição estatística Erlang, distribuição estatística Exponencial, distribuição estatística Gama, distribuição estatística Lognormal, distribuição estatística Poisson, distribuição estatística Triangular,

distribuição estatística Uniforme e Weibull por meio de testes de aderência (CHWIF; MEDINA, 2010).

Segundo Chwif e Medina (2010) utiliza-se inicialmente, como regra prática, a distribuição de parâmetro mais intuitivo, após escolhida a distribuição há necessidade de uma análise de sensibilidade do modelo frente a esta distribuição. Isto pode ser realizado por meio dos testes de aderência, em que se testa a validade ou não da hipótese nula:

$H_0$ : o modelo é adequado para representar a distribuição da população.

Em confronto com a hipótese alternativa:

$H_a$ : o modelo não é adequado para representar a distribuição da população.

Segundo Montgomery (2008), os testes de hipóteses são realizados para verificar se uma hipótese é verdadeira ou falsa sobre os parâmetros de uma ou mais populações, são exemplos de testes de hipóteses:

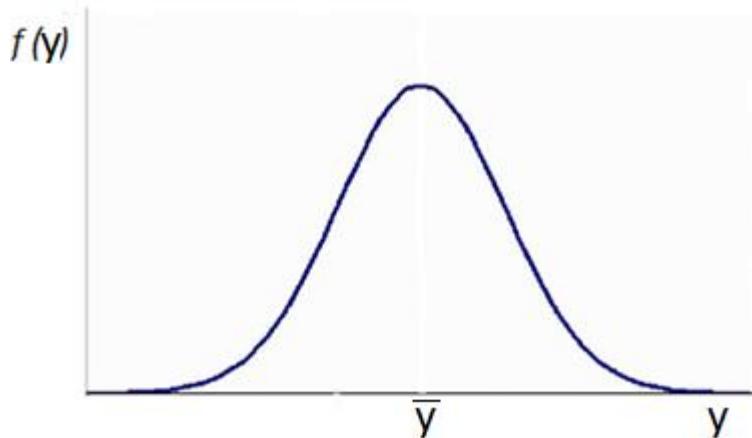
- teste de hipóteses para a média de uma população com variância conhecida;
- teste de hipóteses para a média de uma população com variância desconhecida;
- teste de hipóteses para a proporção de uma população;
- teste de hipóteses para a variância da população;
- teste de hipóteses para a diferença entre duas populações.

Podem-se aplicar os testes de hipóteses para verificação das variâncias das amostras, como por exemplo, o Teste F para verificar se as mesmas são equivalentes ou não. Este teste é realizado para posteriormente aplicar o teste T, que faz inferências sobre as médias das duas condições.

Para uma população que segue uma distribuição normal, que tem como característica de seus dados a simetria, distribuição em forma de sino e variabilidade controlada pelo desvio-padrão. É utilizada para um grande número de amostras retiradas ao acaso e sua aplicação, para amostras pequenas, não é recomendada (MONTGOMERY, 2008).

A Figura 5 apresenta a distribuição amostral para uma população que segue uma distribuição normal.

Figura 5 - Curva Normal



Fonte: Adaptado Montgomery (2008)

Uma alternativa para a aplicação de análise estatística de pequenas amostras selecionadas de uma população com distribuição normal é a distribuição *t* de Student, pois possuem valores extremos mais prováveis de ocorrer do que a distribuição normal padrão.

O intervalo de confiança para a média da população, utilizando a distribuição *t* de Student é dado por meio da Equação 6:

$$\bar{y} \pm t_{n-1, \alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

onde:

$\bar{y}$  = média da amostra, dada pela Equação 7:

$$\bar{y} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{n} \quad (7)$$

na qual:

$y_i$  = resultado da amostra coletada;

$n$  = tamanho da amostra coletada.

$t_{n-1, \alpha/2}$  = percentil da distribuição  $t$  de Student com  $n-1$  graus de liberdade e um nível de significância  $\alpha$  definido tal que o intervalo calculado tenha uma confiança estatística de  $100(1-\alpha)\%$  ou seja:

$$P\left(\bar{y} - t \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \bar{y} + t \frac{s}{\sqrt{n}}\right) = 100(1-\alpha)\%$$

$S$  = desvio – padrão da amostra, dado pela Equação 8 e Equação 9:

$$S = \sqrt{S^2} \quad (8)$$

$$S^2 = \sum \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n-1} \quad (9)$$

Segundo Chwif e Medina (2010) para descobrir a aderência dos dados pode-se construir o histograma da amostra, há diversos critérios para decidir o número de classes utilizadas dentre elas a *regra de Sturges*, conforme Equação 10:

$$A = 1 + 3,3 \log n \quad (10)$$

onde:

$A$  = número de classes.

O tamanho de cada classe  $ham$  é dado pela Equação 11 (MONTGOMERY, 2010; CHWIF; MEDINA, 2010):

$$ham = \frac{\text{amplitude da amostra}}{A} \quad . \quad (11)$$

onde:

*amplitude da amostra* = diferença entre o maior valor da amostra pelo menor valor da amostra.

Segundo Chwif e Medina (2010) é possível calcular o tamanho da amostra  $n^*$  para um determinado nível de confiança e uma precisão pré - estabelecida conforme Equação 12:

$$n^* = \left\lceil n \left( \frac{h}{h^*} \right)^2 \right\rceil \quad (12)$$

onde:

$n^*$  = número de réplicas;

$h$  = precisão da amostra;

$h^*$  = precisão desejada.

A seguir é apresentado um exemplo de aplicação estatística utilizando a distribuição  $t$  de Student, pois o número de amostras deste exemplo é relativamente pequeno.

Foram coletadas 5 amostras de um processo e após otimização dos parâmetros foram, também, coletadas 5 amostras, conforme Tabela 1. Determinar a precisão e se o número de ensaios é suficiente.

Tabela 1 - Exemplo de coleta de dados para planejamento do número de ensaios

Quantidades de peças produzidas na primeira condição	Quantidades de peças produzidas após otimização
115	208
120	215
113	219
114	226
119	230

Fonte: O autor

Resolução:

- 1) Aplica-se Teste F para verificar se as variâncias são equivalentes, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Exemplo Teste-F: duas amostras para variâncias (calculado no excel)

<b>Quantidades de peças produzidas na primeira condição</b>	<b>Quantidades de peças produzidas após otimização</b>
Média	116,2
Variância	9,7
Observações	5
GI	4
F	0,127129751
P(F<=f) uni-caudal	0,035295436
F <sub>i</sub>	0,156537812

Fonte: O autor

$$H_0 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \quad (13)$$

$$H_a = \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \quad (14)$$

onde:

$\sigma_1^2$  = variância primeira condição;

$\sigma_2^2$  = variância segunda condição.

Os valores críticos foram obtidos conforme abaixo e determinam o intervalo de aceitação da hipótese nula ( $H_0$ ).

onde:

$F_s = F_{4,4;5\%} = 6,39$  (valor obtido do excel);

$F_i = F_{1/4,4;5\%} = 0,156$  (conforme Tabela 1).

Após a obtenção dos valores críticos para verificação da equivalência das variâncias  $F_s$  e  $F_i$ , calcula-se o  $F_{teste}$  para verificar se o valor obtido está entre os valores críticos superior e inferior conforme Equação 15;

$$F_{teste} = \frac{\max(s_1^2, s_2^2)}{\min(s_1^2, s_2^2)} \quad (15)$$

na qual:

$$\max(s_1^2, s_2^2) = \text{variância máxima} = 76,3;$$

$$\min(s_1^2, s_2^2) = \text{variância mínima} = 9,7.$$

Os valores para aceitar a hipótese nula estão entre  $[0,156; 6,39]$ , como  $F_{teste} = 7,89$ , está fora do intervalo crítico, rejeita-se a hipótese nula: as variâncias são diferentes.

1) Para este caso as variâncias são diferentes e para verificar se a otimização influenciou na média dos ensaios pode-se aplicar o teste de hipóteses para a diferença entre duas populações, conforme Montgomery (2008) pode-se aplicar  $T_{teste}$  presumindo variâncias diferentes ou  $T_{teste}$  presumindo variâncias equivalentes, neste caso, aplica-se “ $T_{teste}$  presumindo variâncias diferentes”.

Os valores estão demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Teste-*T*: duas amostras presumindo variâncias diferentes  
(calculado no excel)

<i>Quantidades de peças produzidas na primeira condição</i>	<i>Quantidades de peças produzidas após otimização</i>
Média	116,2
Variância	9,7
Observações	5
Hipótese da diferença de média	0
GI	5
<i>T</i> teste	-24,93195391
<i>P</i> ( <i>T</i> <=t) uni-caudal	9,68357E-07
<i>t</i> crítico uni-caudal	2,015048373
<i>P</i> ( <i>T</i> <=t) bi-caudal	1,93671E-06
<i>t</i> crítico bi-caudal	2,570581836

Fonte: O autor

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \rightarrow \mu_1 - \mu_2 = 0 \quad (16)$$

$$H_a : \mu_1 \neq \mu_2 \rightarrow \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \quad (17)$$

onde:

$\mu_1$  = média primeira condição

$\mu_2$  = média segunda condição

Critérios de aceitação ou rejeição:

se  $T$  teste >  $T$  crítico ou  $T$  teste < - $T$  crítico, rejeita-se a hipótese nula.

$$t_{teste} = \frac{\bar{y} - \mu_0}{s/\sqrt{n}} \quad (18)$$

$T$  teste = - 24,93 (valor obtido da Tabela 2)

$T$  crítico =  $t_{n-1; 0,025\%}$

$T$  crítico = 2,57 (valor obtido da Tabela 2)

De acordo com os resultados obtidos, rejeita-se a hipótese nula e a otimização influenciou o desempenho do processo e as médias são diferentes.

- 2) Analisar a primeira condição construindo um histograma da amostra, com uma divisão de classe adequada conforme regra de Sturges a fim de verificação da aderência dos dados com a curva normal.

Baseado na Equação 10, os valores são apresentados na Equação 19:

$$\text{Resolvendo a equação tem-se } A = 1 + 3,3\log 5 = 3,3 \therefore A \approx 4 \quad (19)$$

Para que a amostra seja dividida em 4 classes, o tamanho de cada classe deve ser calculado com base na Equação 11 e adotando-se amplitude = 11 e  $A = 4$ . Os valores são apresentados na Equação 20:

$$ham = \frac{\text{amplitude da amostra}}{A} = \frac{11}{4} = 2,75 \approx 3 \quad (20)$$

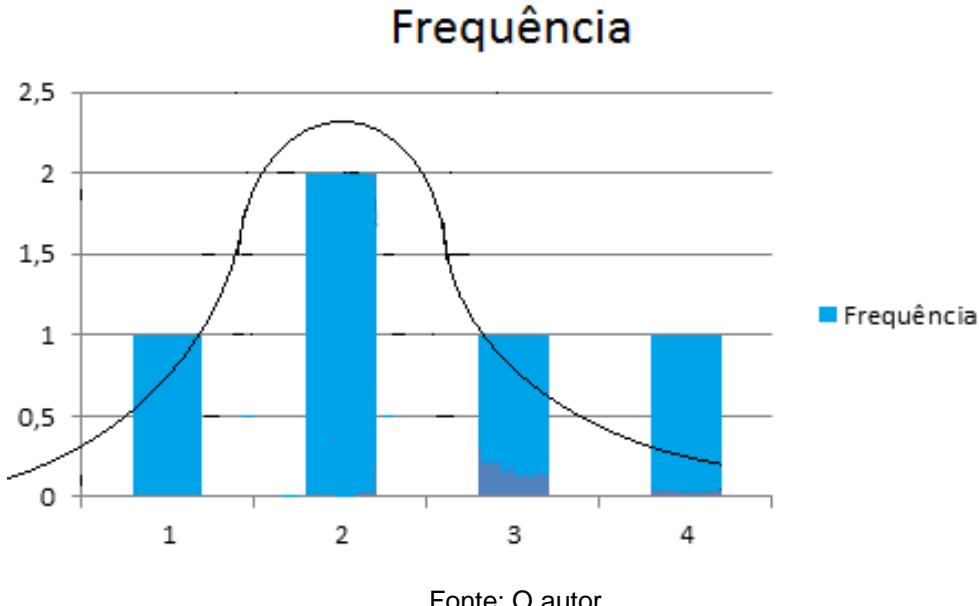
Pela análise do histograma obtido do Quadro 2 e Figura 6, os dados parecem aderir a distribuição estatística normal.

Quadro 2 – Distribuição de frequências

Classe	Frequência	Frequência acumulada
109 - 112	1	1
112 - 115	2	3
115 - 118	1	4
118 - 121	1	5

Fonte: O autor

Figura 6 – Exemplo de distribuição das frequências dos dados



Fonte: O autor

- 3) Calcular a média da amostra que é de 116,2, tomando como base a Equação 7:
- 4) Calcular o desvio padrão que é de 3,114 a partir da Equação 8 e da Equação 9:
- 5) Determinar a precisão que é dada a partir da Equação 6 e são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Intervalos de confiança para a primeira condição (exemplo)

n	Confiança 100(1- $\alpha$ )%	$\alpha$	$t_{n-1,\alpha/2}$	Precisão (metade do intervalo)	Intervalo de confiança média ( $\bar{y} = 116,2$ )
				$h = t_{n-1,\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$	
5	99%	0,01	4,6	6,40	$109,80 \leq \bar{y} \leq 122,60$
5	95%	0,05	2,78	3,87	$112,33 \leq \bar{y} \leq 120,07$
5	90%	0,10	2,13	2,97	$113,28 \leq \bar{y} \leq 119,17$
5	80%	0,20	1,53	2,13	$114,07 \leq \bar{y} \leq 118,33$
5	70%	0,3	1,19	1,66	$114,54 \leq \bar{y} \leq 117,86$

Fonte: O autor

6) Caso se desejar uma precisão melhor, por exemplo,  $h^* = 1,5$  para todos os intervalos de confiança, usa-se a Equação 12 e os resultados estão descritos na Tabela 5:

Tabela 5 – Número de ensaios necessários para os intervalos de confiança para primeira condição (exemplo)

<b><i>n</i></b>	<b>Confiança 100(1-<math>\alpha</math>)%</b>	$\alpha$	<b><i>h</i></b>	<b><i>h</i><sup>*</sup></b>	<b>Número de ensaios necessários</b>
5	99%	0,01	6,40	1,5	92 ensaios
5	95%	0,05	3,87	1,5	34 ensaios
5	90%	0,10	2,97	1,5	20 ensaios
5	80%	0,20	2,13	1,5	11 ensaios
5	70%	0,3	1,66	1,5	7 ensaios

Fonte: O autor

7) Analisar a segunda condição (otimizada) construindo um histograma da amostra, com uma divisão de classe adequada conforme regra de Sturges, com base na Equação 10, os valores são apresentados na Equação 21:

$$\text{Resolvendo a equação tem-se } A = 1 + 3,3\log 5 = 3,3 \therefore A \approx 4 \quad (21)$$

Para que a amostra seja dividida em 4 classes, o tamanho de cada classe deve ser a partir da Equação 11, adotando amplitude = 22 e  $A = 4$ , os valores são apresentados na Equação 22 :

$$ham = \frac{\text{amplitude da amostra}}{A} = \frac{22}{4} = 5,5 \approx 6 \quad (22)$$

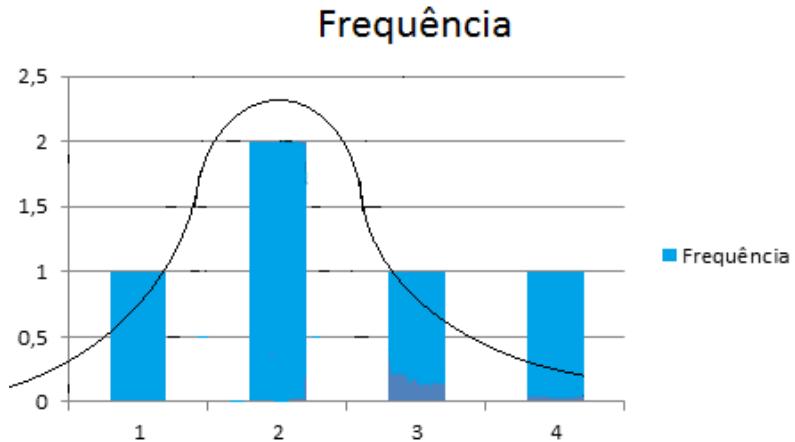
Pelo histograma obtido conforme Quadro 3 e Figura 7, os dados parecem aderir a distribuição estatística normal.

Quadro 3 – Distribuição de frequências (otimizado)

Classe	Frequência	Frequência acumulada
208 – 214	1	1
214 – 220	2	3
220 – 226	1	4
226 – 232	1	5

Fonte: O autor

Figura 7- Exemplo distribuição das frequências dos dados (otimizado)



Fonte: O autor

- 8) Calcular a média da amostra que é de 219,6 a partir da Equação 7:
- 9) Calcular o desvio padrão que é de 8,74 a partir da Equação 8 e da Equação 9:
- 10) Determinar a precisão é dada a partir da Equação 6 e são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Intervalos de confiança para a condição otimizada (exemplo)

<b><i>n</i></b>	<b>Confiança 100(1-<math>\alpha</math>)%</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>t_{n-1,\alpha/2}</math></b>	<b>Precisão (metade do intervalo)</b>		<b>Intervalo de confiança média (<math>\bar{y} = 219,6</math>)</b>
				<b><math>h = t_{n-1,\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}</math></b>		
5	99%	0,01	4,6	17,99		201,61 ≤ $\bar{y}$ ≤ 237,59
5	95%	0,05	2,78	10,87		208,73 ≤ $\bar{y}$ ≤ 230,47
5	90%	0,10	2,13	8,33		211,27 ≤ $\bar{y}$ ≤ 227,93
5	80%	0,20	1,53	5,98		213,62 ≤ $\bar{y}$ ≤ 225,58
5	70%	0,3	1,19	4,65		214,95 ≤ $\bar{y}$ ≤ 224,25

Fonte: O autor

11) Caso se desejar uma precisão melhor, por exemplo,  $h^* = 4$  para todos os intervalos de confiança baseado na Equação 12 e os resultados estão descritos na Tabela 7:

Tabela 7 – Número de ensaios necessários para os intervalos de confiança para condição otimizada (exemplo)

<b><i>n</i></b>	<b>Confiança 100(1-<math>\alpha</math>)%</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>h</math></b>	<b><math>h^*</math></b>	<b>Número de ensaios necessários</b>
5	99%	0,01	17,99	4	101 ensaios
5	95%	0,05	10,87	4	37 ensaios
5	90%	0,10	8,33	4	22 ensaios
5	80%	0,20	5,98	4	18 ensaios
5	70%	0,3	4,65	4	7 ensaios

Fonte: O autor

### 3 MÉTODO DE PESQUISA

Para este trabalho foi utilizada a metodologia de pesquisa experimental que consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis capazes de influenciá-lo e definir formas de controle e observar os efeitos que a variável produz no objeto controlado pelo pesquisador (GIL, 2002; NAKANO, 2012).

As etapas do planejamento de pesquisa implicam no desenvolvimento de uma série de passos que podem ser: formulação do problema, construção das hipóteses, seleção das variáveis, definição do plano experimental, determinação dos sujeitos, determinação do ambiente, coleta de dados, análise e interpretação de dados e apresentação das conclusões (GIL, 2010; PINHO, MONTEVECHI; MARINS, 2010).

Estão descritos no capítulo 1 deste trabalho a formulação do problema, a construção das hipóteses. Segundo Gil (2002) para a pesquisa experimental inicia-se com algum tipo de problema que deve ser colocado de maneira clara, precisa e objetiva sendo frequente haver apenas uma única hipótese, pois na seleção das variáveis devem-se considerar as condições de mensuração.

Segundo Gil (2002) a definição do plano experimental pode se dar por dois planos básicos: plano de uma única variável independente e plano fatorial.

Neste trabalho foi considerada uma única variável independente: o efeito do condicionador metálico no desempenho da operação de rosquear e para atingir este objetivo foram analisadas duas condições:

- machos com uma fina camada de condicionador metálico;
- machos com procedimento tradicional (sem o condicionador).

Todos os demais parâmetros de processo foram mantidos inalterados para as condições testadas.

Para a determinação dos sujeitos é necessária determinar com grande exatidão a população a ser estudada, a determinação do ambiente pode ser em ambiente de laboratório ou em campo, a coleta de dados é realizada mediante manuseio de determinadas condições e a observação de seus efeitos, a análise e interpretação de dados é realizada geralmente utilizando técnicas estatísticas e por fim a apresentação das conclusões deve levar em conta o que foi dito sobre o relatório da pesquisa bibliográfica (GIL, 2002).

A seguir serão apresentadas mais informações sobre os ensaios de rosqueamento com machos de rosca.

### 3.1 Materiais e Métodos

O material em bruto disponível para a confecção dos corpos de prova foram disponibilizados em barras cilíndricas de diâmetro de 50,8mm (2") o que possibilitou que a realização dos ensaios ocorresse em um torno.

A seguir são relacionados as demais máquinas, equipamentos e ferramentas utilizados nos ensaios:

- **máquina:** centro de torneamento fabricante OKUMA modelo MULTUS B300W, comando OSP-P200L, programação padrão para os ciclos de furação e rosqueamento, conforme Figura 8:

Figura 8 - Centro de torneamento CNC Multus B300W

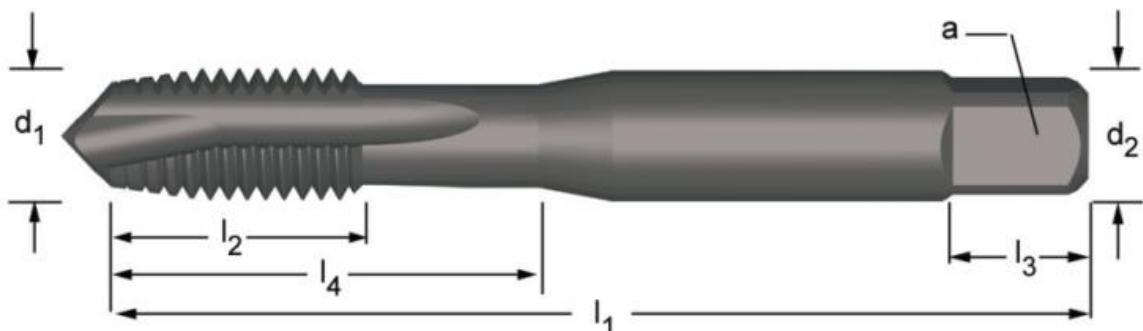


Fonte: O autor

- **ferramentas (machos de roscar):** macho M6 x1, código do fabricante EP00M6 6H, conforme DIN 376 e fabricante Sandvik.

As principais características dos machos utilizados estão descritas na Figura 9, Quadro 4 e Quadro 5, respectivamente:

Figura 9 - Macho de corte e suas principais dimensões



Fonte: Sandvik Coromant ( 2013)

Quadro 4 - Características do macho utilizados nos ensaios

Terminologia	Dimensões / Características
a	4,85 mm
$d_1$	6 mm (M6)
$d_1$	6,58 mm
$l_1$	63,5 mm
$l_2$	12,9 mm
$l_3$	-----
$l_4$	25,6 mm

Fonte: Sandvik Coromant (2013)

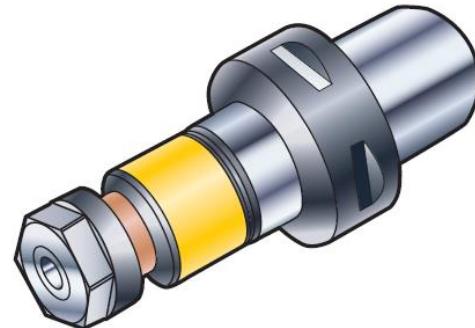
Quadro 5 - Outras características do macho utilizados nos ensaios

Terminologia	Dimensões/ Características
Nº de canais	3 canais
Ângulo de entrada	20°
Diâmetro efetivo	5,350 mm
Altura do filete	0,541 mm
Nº de filetes no chanfro	2 filetes
Ângulo de saída ou de corte	De 12° a 14°
Passo	1 mm
Diâmetro interno	4,971 mm
Ângulo da rosca	60°

Fonte: Sandvik Coromant (2013)

- **Mandril porta macho:** código do fabricante C3-391.63-20 105, porta-macho rígido com compensação microflutuante utilizado para machos M4 a M12, conforme Figura 10:

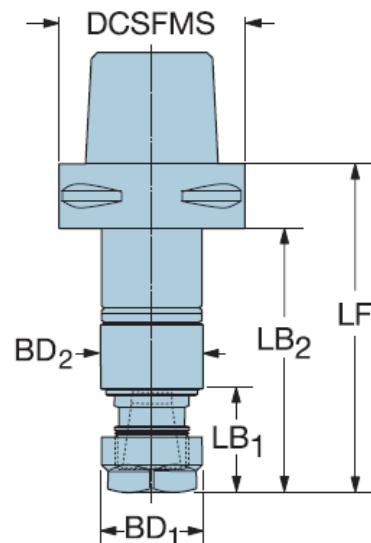
Figura 10 – Mandril porta macho



Fonte: Sandvik Coromant (2013)

As dimensões básicas do mandril porta macho estão descritas conforme Figura 11 e Quadro 6:

Figura 11- Dimensões básicas do mandril porta macho



Fonte: Sandvik Coromant (2013)

Quadro 6 - Dimensões básicas do mandril porta macho

Características	Dimensões
DCSFMS	32 mm
BD <sub>2</sub>	35 mm
BD <sub>1</sub>	34 mm
LF	105 mm
LB <sub>2</sub>	-----
LB <sub>1</sub>	40,5 mm

Fonte: Adaptado de Sandvik Coromant (2013)

- **ferramenta (broca):** broca de diâmetro de 5 mm com canais para lubrificação interna, código do fabricante R840-0500-50-A0A construída conforme NBR ISO 5419:2009, material aço rápido revestida com multicamadas TiN-TiAIN, conforme Figura 12:

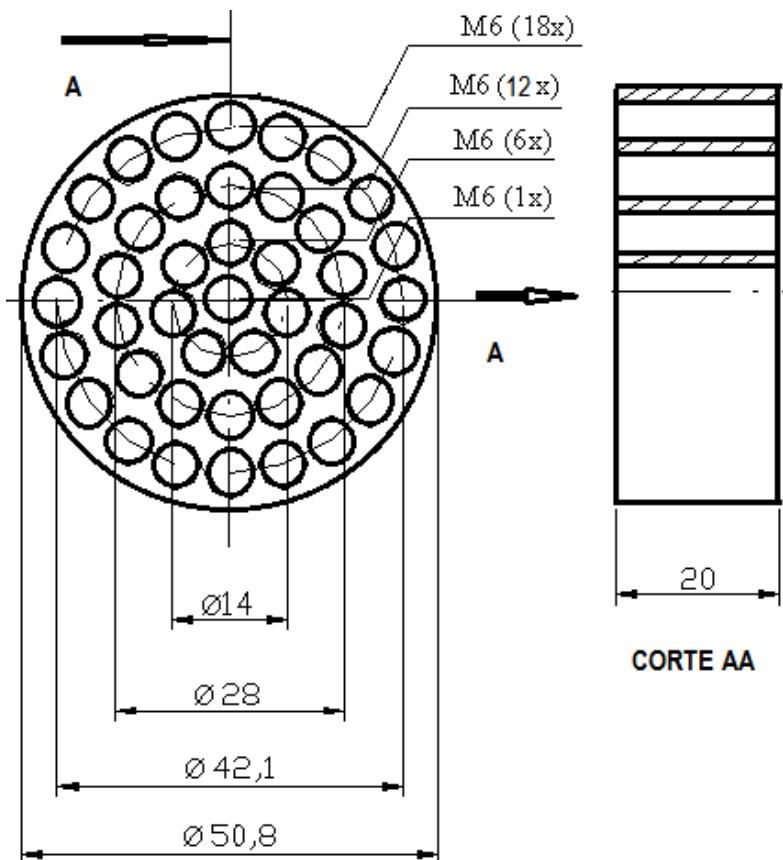
Figura 12 - Broca helicoidal



Fonte: Adaptado de Sandvik Coromant ( 2013)

- **fluido de corte:** tanto para o processo de furação quanto para o processo de rosqueamento a lubrificação com fluido de corte jato de alta pressão de 70 Bar, especificamente com o fluido de corte do fabricante Blaser Swisslube, marca Blasocut com pH entre 8,5 a 9,2 e concentração de 8 a 10%;
- **corpo de prova:** o material do corpo de prova é o aço SAE 4140, com diâmetro externo de 56mm por 20mm de largura contendo 37 furos passantes para posterior ensaio de rosqueamento, o desenho do corpo de prova e sua composição química estão descritos conforme Figura 13 e Quadro 7:

Figura 13 - Desenho do corpo de provas



Fonte: O autor

Quadro 7 - Composição química do corpo de provas

Composição química em (%)							
C	Si	Mn	S máx	P máx	Cr	Ni	Mo
0,40	0,27	0,87	0,040	0,040	0,95	-----	0,20

Fonte: Adaptado de Aço Corte (2013)

- **Calibrador passa-não passa:** para a verificação do fim da vida dos machos foi utilizado um calibrador tampão de rosca interna passa não passa M6 6H, Norma ISO 1520 (até ø 40 mm), conforme Figura 14:

Figura 14 - Exemplo de calibrador tampão de rosca



Fonte: Ferriplax (2013)

### 3.2 Procedimento de ensaio

Os ensaios foram realizados em ambiente de laboratório e a coleta de dados foi realizada mediante ensaios de rosqueamento em condições controladas a fim de determinar a quantidade de roscas usinadas em cada condição como segue:

- utilizou-se 5 machos de roscar com procedimento tradicional, denotado como “condição 1”;
- utilizou-se 5 machos de roscar com condicionador metálico denotado “condição 2”.

Os ensaios foram realizados para a obtenção da vida dos machos na condição 1 em comparação com a vida dos machos na condição 2, e aplicou-se conceitos estatísticos buscando-se obter um nível de confiança adequado dos resultados obtidos.

Neste trabalho o nível de confiança adequado foi obtido por meio do planejamento de experimentos baseado em metodologia estatística, que é a única forma objetiva de avaliação dos erros experimentais que afetam os resultados (MONTGOMERY, 2008).

Para a contabilização da vida dos machos, e a respectiva análise dos custos envolvidos, verificou-se a relação custo x benefício dos machos na condição 1 em comparação aos machos na condição 2.

A seguir será apresentado o detalhamento dos ensaios realizados.

### **3.3 Detalhamento sobre o ensaio de rosqueamento**

Segue abaixo o procedimento para a realização dos ensaios:

- primeiramente foi feito o tratamento dos machos com condicionador metálico, sendo este procedimento efetuado antes do ciclo de usinagem, consistindo em mergulhar os machos no fluido condicionador (MILITEC-1) e logo após, retirar seu excesso;
- logo após se deu o torneamento de todos os corpos de prova;
- em seguida os corpo de provas foi fixado na placa da máquina, e a fixação da broca e do macho de roscar foi realizada em seus respectivos porta-ferramentas;
- a realização dos furos foi realizada por meio de um ciclo de furação (G181), utilizando velocidade de corte de 84m/min, avanço de

0,15mm/rotação e lubrificação interna com pressão de 70 Bar, de acordo com os parâmetros especificados no catálogo do fabricante;

- a execução de ciclo de rosqueamento (G178) foi realizada com velocidade de corte de 25m/min, de acordo com os parâmetros especificados no catálogo do fabricante e lubrificação abundante;
- a identificação do último furo roscado de cada peça foi realizada a fim de controle dimensional com o calibrador passa-não-passa;
- o controle dimensional foi feito utilizando um calibrador passa-não-passa e em caso de reprovado, os furos roscados foram testados em ordem cronológica inversa, até que o último furo usinado em condições de aprovação fosse identificado, o qual passou a ser imediatamente considerado o último furo roscado para a especificação da vida da ferramenta;
- foi atribuído um número sequencial para o macho a fim de futuras análises de sua condição;
- a identificação dos corpos de provas foi realizada conforme o número sequencial atribuído ao respectivo macho e quantidade de peças usinadas;
- após o fim de vida de cada macho foi determinada a quantidade de roscas usinadas;
- a anotação do número de roscas usinadas por cada macho se deu em uma planilha para posterior análise estatística;
- após validação estatística foi realizado os cálculos e análises dos custos em cada condição, comparando-se as duas condições.

A análise estatística dos dados é descrita a seguir.

### **3.4 Análise estatística dos dados coletados**

A análise dos dados coletados no planejamento de experimentos se deu como segue:

- foi realizada a distribuição de frequências das amostras em cada condição a fim de verificação da normalidade da população;
- foram realizadas análises estatísticas para verificação das variâncias das amostras, mais especificamente o teste F, a fim de verificação de sua equivalência e aplicar posteriormente a análise estatística mais adequada para a inferência de suas médias;
- foram efetuadas análises estatísticas para verificação da similaridade das médias das duas condições testadas, mais especificamente o T teste, a fim de verificação estatística do efeito do condicionador em relação a média dos dados;
- determinação da média, desvio padrão e erro padrão da quantidade de roscas fabricadas em cada condição;
- análise estatística para a determinação do nível de confiança;
- comparação dos custos unitários em cada condição por meio de tabelas.

### **3.5 Determinação dos custos totais dos machos**

A determinação dos custos totais dos machos se deu conforme as etapas descritas a seguir:

- a determinação do custo total do macho na condição 1 se deu obtendo o preço de compra do mesmo;

- a determinação do custo total dos machos na condição 2 se deu acrescendo ao preço do macho na condição 1 o valor do condicionador, que por sua vez varia de acordo com a quantidade de roscas produzidas.

Nos próximos tópicos serão apresentados os resultados e as discussões da pesquisa.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização dos ensaios, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 8 e na Tabela 9:

Tabela 8 - Número de roscas realizadas por machos na condição 1

Nº macho	Quantidade de roscas	Média de roscas produzidas	Critério de Fim de Vida
1	222		Quebra do macho
2	346		Quebra do macho
3	395	301	Quebra do macho
4	274		Quebra do macho
5	269		Quebra do macho

Fonte: O Autor

Tabela 9 - Número de roscas realizadas por machos na condição 2

Nº macho	Quantidade de roscas	Média de roscas produzidas	Critério de Fim de Vida
6	463		Quebra do macho
7	651		Quebra do macho
8	613	628	Quebra do macho
9	814		Reprovado pelo Calibrador P/NP
10	598		Quebra do macho

Fonte: O Autor

#### 4.1 Determinação da equivalência das variâncias

Aplicação do Teste F: duas amostras para as variâncias a fim de determinar se são ou não equivalentes conforme Tabela 10:

Tabela 10 - Teste-F: duas amostras para variâncias (calculado no excel)

	<i>condição 1</i>	<i>condição 2</i>
Média	301,2	627,8
Variância	4713,7	15868,7
Observações	5	5
GI	4	4
F	0,297043866	
$P(F \leq f)$ uni-caudal	0,133322028	
F crítico uni-caudal	0,156537812	

Fonte: O autor

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \quad (13)$$

$$H_a: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \quad (14)$$

Valor crítico

$$F_s = F_{4,4;5\%} = 6,39 \text{ (valor obtido do excel)}$$

$$F_i = F_{1/4,4;5\%} = 0,156 \text{ (valor obtido do excel)}$$

Estatística de teste

$$F_{teste} = \frac{\max(s_1^2, s_2^2)}{\min(s_1^2, s_2^2)} \quad (15)$$

A variância máxima e a variância mínima correspondem aos valores de 15868,7 e 4713,7 respectivamente, conforme Tabela 7. Os valores para aceitar a hipótese nula

estão entre  $[0,156; 6,39]$ , como  $F_{teste} = 3,36$  e está dentro do intervalo crítico, portanto aceita-se a hipótese nula: as variâncias são equivalentes.

De acordo com o  $F_{teste}$  a análise estatística adequada é o Teste-  $t$  que será apresentado no próximo tópico.

#### 4.2 Determinação do efeito do condicionador metálico nas médias

O Teste  $t$  adequado para este caso é o de duas amostras presumindo variâncias equivalentes a fim de determinação do efeito do condicionador metálico no experimento.

Para a hipótese de igualdade das médias tem-se:

$$H_1: \mu_1 = \mu_2 \rightarrow \mu_1 - \mu_2 = 0 \quad (16)$$

e para a hipótese das médias serem diferentes, indicando a influência do condicionador metálico tem-se:

$$H_2: \mu_1 \neq \mu_2 \rightarrow \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \quad (17)$$

A análise estatística é apresentada conforme Tabela 11:

Tabela 11 - Teste-t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes (calculada pelo Excel)

	<i>condição 1</i>	<i>condição 2</i>
Média	301,2	627,8
Variância	4713,7	15868,7
Observações	5	5
Variância agrupada	10291,2	
Hipótese da diferença de média	0	
GI	8	
<i>T</i> teste	-5,090414831	
<i>P</i> ( <i>T</i> ≤ <i>t</i> ) uni-caudal	0,000470464	
<i>t</i> crítico uni-caudal	1,859548038	
<i>P</i> ( <i>T</i> ≤ <i>t</i> ) bi-caudal	0,000940929	
<i>t</i> crítico bi-caudal	2,306004135	

Fonte: O autor

A seguir estão descritos os critérios de aceitação ou rejeição da hipótese nula:

Critérios de aceitação ou rejeição:

se *t* teste > *t* crítico ou *t* teste < - *t* crítico, rejeita-se a hipótese nula.

$$t_{teste} = \frac{\bar{y} - \mu_0}{s/\sqrt{n}} \quad (18)$$

$$t_{teste} = -5,09 \text{ (valor obtido da Tabela 8)}$$

$$t \text{ crítico} = t_{n-1; 0,025\%}$$

$$t \text{ crítico} = 2,30 \text{ (valor obtido da Tabela 8)}$$

Portanto rejeita-se a hipótese nula e o uso do condicionador metálico influenciou o desempenho do processo e as médias são diferentes.

### 4.3 Análise estatística dos dados na condição 1

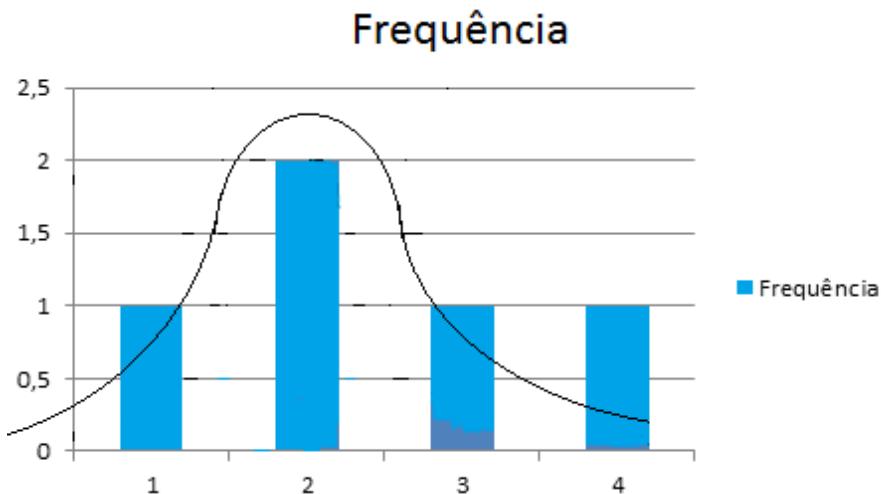
A distribuição normal é a que mais adere com a distribuição de frequências da condição 1 conforme Quadro 8 e pela Figura 15, respectivamente e o intervalo de confiança para média é construída por meio da Equação 6:

Quadro 8 – Distribuição de frequências na condição 1

Classe	Frequência	Frequência acumulada
222-266	1	1
266-310	2	3
310-354	1	4
354-398	1	5

Fonte: O autor

Figura 15 - Distribuição das frequências dos dados da condição 1



Fonte: O autor

De acordo com os dados levantados a média de rosca produzidas na condição 1 é de 301 rosca e o desvio-padrão da amostra é de 68,66.

Com estes resultados os intervalos de confiança para a condição 1 são apresentados na Tabela 12:

Tabela 12 – Intervalos de confiança para a condição 1

<b><math>n</math></b>	<b>Confiança <math>100(1-\alpha)\%</math></b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b>Precisão (metade do intervalo)</b>		<b>Intervalo de confiança média (<math>\bar{y} = 301</math>)</b>
			<b><math>t_{n-1,\alpha/2}</math></b>	<b><math>h = t_{n-1,\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}</math></b>	
5	99%	0,01	4,6	141	$160 \leq \mu_1 \leq 442$
5	95%	0,05	2,78	85	$216 \leq \mu_1 \leq 386$
5	90%	0,10	2,13	65	$236 \leq \mu_1 \leq 366$
5	88%	0,12	1,96	60,2	$240,8 \leq \mu_1 \leq 361,2$
5	80%	0,20	1,53	47	$254 \leq \mu_1 \leq 348$
5	70%	0,3	1,19	36	$265 \leq \mu_1 \leq 337$

Fonte: O autor

#### 4.3.1 Quantidade de ensaios necessários na condição 1

Adotando 20% do valor da média dos ensaios como a precisão da média dos ensaios obtém-se  $h^* = 60,2$ , valor este considerado adequado para este tipo de processo.

Para calcular a quantidade necessária de ensaios utiliza-se a Equação 12 e os resultados são apresentados na Tabela 13:

Tabela 13 – Número de ensaios necessários para os intervalos de confiança

<b><i>n</i></b>	<b>Confiança 100(1-<math>\alpha</math>)%</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><i>h</i></b>	<b><i>h</i>*</b>	<b>Número de ensaios necessários</b>
5	99%	0,01	141	60,2	28 ensaios
5	95%	0,05	85	60,2	10 ensaios
5	90%	0,10	65	60,2	6 ensaios
5	88%	0,12	60,2	60,2	5 ensaios
5	80%	0,20	47	60,2	3 ensaios
5	70%	0,3	36	60,2	2 ensaios

Fonte: O autor

Analizando-se a Tabela 12 e a Tabela 13, pode-se concluir que a condição 1 tem confiança de 88%, considerando os 5 ensaios realizados.

#### 4.4 Análise estatística dos dados na condição 2

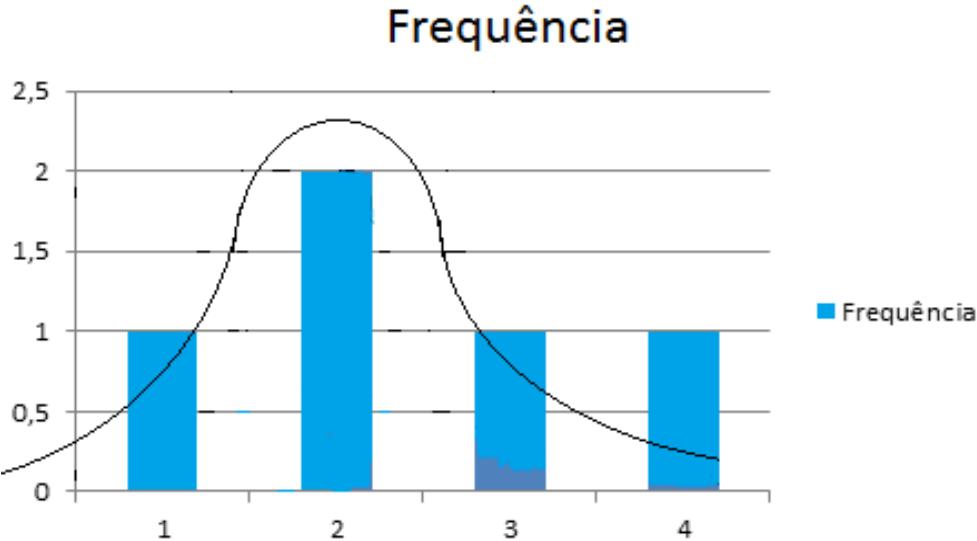
A distribuição normal é a que mais adere com a distribuição de frequências da condição 2 conforme Quadro 9 e distribuição frequências apresentadas na Figura 16 e o intervalo de confiança para média é construída por meio da Equação 6:

Quadro 9 – Distribuição de frequências na condição 2

<b>Classe</b>	<b>Frequência</b>	<b>Frequência acumulada</b>
463-551	1	1
551-639	2	3
639-727	1	4
727-815	1	5

Fonte: o autor

Figura 16 - Distribuição das frequências dos dados da condição 2



Fonte: O autor

De acordo com os dados levantados a média de roscas produzidas na condição 2 é de 628 e o desvio-padrão da amostra é de 125,97.

Os intervalos de confiança para a condição 2 estão demonstrados na Tabela 14:

Tabela 14 – Intervalos de confiança para a condição 2

$n$	Confiança $100(1-\alpha)\%$	$\alpha$	$t_{n-1,\alpha/2}$	Precisão (metade do intervalo) $h = t_{n-1,\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$	Intervalo de confiança média ( $\bar{y} = 628$ )
5	99%	0,01	4,6	259	$369 \leq \mu_2 \leq 887$
5	95%	0,05	2,78	157	$471 \leq \mu_2 \leq 785$
5	90%	0,10	2,13	120	$508 \leq \mu_2 \leq 748$
5	80%	0,20	1,53	86	$542 \leq \mu_2 \leq 714$
5	70%	0,3	1,19	67	$561 \leq \mu_2 \leq 695$

Fonte: O autor

#### 4.4.1 Quantidade de ensaios necessários para a condição 2

Adotando 20% do valor da média dos ensaios como a precisão da média dos ensaios obtém-se  $h^* = 125$ , valor considerado adequado para este processo.

Para calcular a quantidade necessária de ensaios utiliza-se a Equação 12 e os resultados são apresentados para diferentes níveis de confiança na Tabela 15:

Tabela 15 – Número de ensaios necessários para os intervalos de confiança

<b><i>n</i></b>	<b>Confiança 100(1-<math>\alpha</math>)%</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><i>h</i></b>	<b><i>h</i><sup>*</sup></b>	<b>Número de ensaios necessários</b>
5	99%	0,01	259	125	22 ensaios
5	95%	0,05	157	125	8 ensaios
5	90%	0,10	120	125	5 ensaios
5	80%	0,20	86	125	3 ensaios
5	70%	0,3	67	125	2 ensaios

Fonte: O autor

Analizando-se a Tabela 14 e a Tabela 15, pode-se concluir que a condição 2 tem confiança de 90%, considerando os 5 ensaios realizados e em relação a condição 1 possui melhor comportamento estatístico.

#### 4.5 Levantamento dos custos dos machos

Foram contabilizados apenas os custos dos machos envolvidos no processo e da aplicação do condicionador metálico utilizado, visto que o custo da hora máquina e de outros insumos envolvidos serem os mesmos para ambas as situações.

Para a determinação do custo na condição 1, utilizou-se o preço cotado junto ao fabricante do macho e para a condição dois foi acrescido o custo do condicionador como segue:

- a quantidade de condicionador utilizado em cada macho é de 0,003 litros/macho, valor obtido por intermédio de uma balança de precisão;
- o preço médio do condicionador é de R\$500,00/litro, conforme cotações realizadas junto a fornecedores do condicionador.

O preço unitário de cada macho é R\$76,98, valor obtido junto ao fabricante do macho, sendo este considerado como o custo dos machos na condição 1. Já para machos na condição 2 foi acrescido o custo do condicionador metálico, totalizando um custo unitário de R\$77,78, como segue:

- o acréscimo monetário é de R\$0,80/macho e está em função do número de rosas fabricadas;
- o valor do acréscimo monetário foi obtido por meio do quociente do preço médio do condicionador (R\$500,00) pela quantidade média de rosas produzidas na condição 2 (628 rosas), conforme Tabela 16:

Tabela 16 – Quantidade média de rosas produzidas por macho e custos

Tipos de Machos	Qtd. média de rosas produzidas por macho	Aumento médio de rosas produzidas	Custo Total por macho (R\$/macho)	Custo Unitário médio (R\$/rosca)	Redução média de custo (%)
Condição 1	301		R\$76,98	R\$0,256	
		108,1%			51,6%
Condição 2	628		R\$77,78	R\$0,124	

Fonte: O autor

Utilizando o mesmo procedimento para a determinação do aumento médio de roscas produzidas e dos custos médios em cada condição, pode-se determinar o mínimo e o máximo custo em cada condição. A confiança dos resultados da condição 1 e da condição 2 estão apresentadas na Tabela 12 e na Tabela 14.

, Segue abaixo a determinação dos custos máximos e mínimos de cada condição:

- o custo total do macho na condição 1 é de R\$76,98, sendo que este valor não se altera durante os ensaios;
- o custo total mínimo do macho na condição 2 é dado pelo quociente do valor médio do condicionador (R\$500,00) pela maior quantidade de roscas produzidas (814), adicionando um acréscimo monetário de R\$0,614 totalizando um custo total de R\$77,59;
- o custo total máximo do macho na condição 2 é dado pelo quociente do valor médio do condicionador (R\$500,00) pela menor quantidade de roscas produzidas (395), adicionando um acréscimo monetário de R\$1,266 totalizando um custo total de R\$78,25.

Os demais resultados são demonstrados no Tabela 17 e no Tabela 18:

Tabela 17 - Quantidades máximas e mínimas de roscas produzidas

Tipos de Machos	Qtd. mínima de roscas produzidas por macho	Qtd. máxima de roscas produzidas por macho	Aumento mínimo de roscas produzidas (mín.2/máx.1)	Aumento máximo de roscas produzidas (máx.2/mín.1)
Condição 1	222	395	17,2%	266,67%
Condição 2	463	814		

Fonte: O autor

Tabela 18 - Custos máximos e mínimos de roscas produzidas

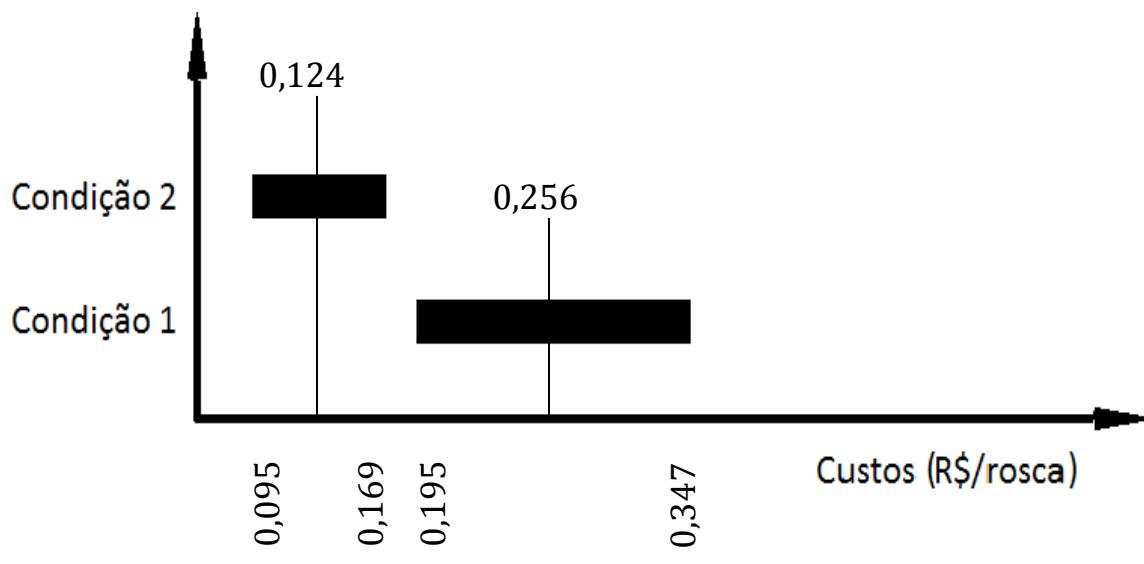
Tipos de Machos	Custo total mínimo	Custo total máximo	Custo. mínimo por roscas produzidas	Custo. máximo por roscas produzidas	Redução mínima de custos	Redução máxima de custos
Condição 1	R\$76,98	R\$76,98	R\$0,195	R\$0,347		
Condição 2	R\$77,59	R\$78,25	R\$0,095	R\$0,169	13,3%	72,62%

Fonte: O autor

De acordo com a Tabela 17 e Tabela 18, há reduções de custos em quaisquer condições de usinagem, as reduções variam entre 13,3% a 72,62%, obtendo-se assim uma relação custo x benefício favorável.

A fim de melhor visualização segue Figura 17 que apresenta os valores médios, mínimos e máximos dos custos por rosca em cada condição.

Figura 17 – Custos mínimos e máximos por rosca em cada condição



Fonte: O autor

#### 4.6 Resultados gerais

Houve aumento das quantidades de roscas produzidas e diminuição dos custos em todas as comparações da condição 2 com a condição 1;

Na condição 1 os ensaios demonstraram um nível de confiança de 88% para uma precisão de 60,2. Para a obtenção de 95% de confiança haveria necessidade de mais 5 ensaios, totalizando 10 ensaios, que não foram realizados pois não estavam programados.

Na condição 2 os ensaios demonstraram um confiança de 90% para uma precisão de 125. Para a obtenção de 95% de confiança haveria necessidade de mais 3 ensaios, totalizando 8 ensaios, que não foram realizados pelas mesmas razões descritas na condição 1.

A estabilidade estatística dos ensaios na condição 2 é superior a estabilidade na condição 1.

Houve quebra de todos os machos na condição 1 enquanto que nos machos na condição 2 apenas em 1 não houve quebra do macho o que não permite uma conclusão mais específica.

Os ganhos com a diminuição de máquinas paradas em ambiente fabril não foram avaliados.

Não foram calculados os ganhos monetários obtidos com a redução do número de trocas de ferramentas na condição 2, assim como também não foram contabilizados os ganhos com o aumento da disponibilidade da máquina, ou seja, além da redução do custo de usinagem, existem ganhos indiretos.

## 5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se afirmar que:

- os machos da condição 2 possuem relação custo x benefício melhor em todas as condições testadas do que os machos testados na condição 1, em média 51,6%;
- os machos da condição 2 produzem maior quantidade de roscas quando comparados aos machos da condição 1, em média 108,1%;
- considerando o aumento de mais de 100% da quantidade de roscas produzidas pode-se inferir que o tempo total de preparação de máquina cairá, em média, ao menos 50% devido a uma maior utilização da máquina;
- apesar de não ter sido avaliado, existem ganhos referentes a diminuição do tempo total de preparação de máquinas a relação custo x benefício se torna ainda maior;
- apesar de não ter ocorrido a quebra em um dos machos na condição 2; não foi possível analisar as questões referentes a diminuição de quebra dos machos quando utilizado o condicionador metálico nos machos de roscar,
- mesmo considerando a pior situação, em que o macho na condição 2 produziu 463 roscas, teve-se uma redução dos custos em 13,3%, quando comparado a melhor situação da condição 1 (395 roscas);
- com a precisão adotada nos ensaios (20% para mais ou para menos em relação à media das roscas produzidas em cada condição), a condição 1 apresentou 88% de confiança e a condição 2 apresentou 90% de confiança;

- A estabilidade dos ensaios na condição 2 é superior a estabilidade na condição 1, pois com os ensaios realizados a confiança da condição 1 é de 88% enquanto que a confiança da condição 2 é de 90%.

## 5.1 Propostas para trabalhos futuros

Segue abaixo algumas propostas para trabalhos futuros:

- repetir os ensaios para machos de maiores diâmetros, o que pode reduzir a quebra do macho e permitir uma análise mais completa do procedimento proposto;
- aplicar o procedimento proposto neste trabalho em outros processos de usinagem, principalmente os processos que utilizam baixa velocidade de corte.

## 6 REFERÊNCIAS

AÇO CORTE: <Disponível em [http://www.acocorteacos.com.br/download/composicao\\_quimica.pdf](http://www.acocorteacos.com.br/download/composicao_quimica.pdf)>. Acesso em: 03 nov. 2013, 20:19:39.

AGAPIOU, J.S. Evaluation of the Effect of High Speed Machining on Tapping. **Journal of Engineering for Industry – Transactions of the ASME**, v. 116, n.4, pp. 457-462, 1994.

ahn, J. H.; Lee, D.J.; Kim, S.H.; Kim, H.Y.; Cho, K.K. Effects of Synchronizing Errors on Cutting Performance in the Ultra-High-speed Tapping. **CIRP Annals - manufacturing Technology**, Coréia, vol. 52, issue 1, pp. 53-56, 2003.

AHUJA,I.S. Total quality management implementation forreducing percent process defects in a manufacturing organization. **International Journal Business Performance Management**, v. 13, n. 1, p. 1-17, 2012.

ALIAKbari,M. **Additive Manufacturing: State-of-the-Art, Capabilities, and Sample Applications with Cost Analysis.** Master of Science Thesis, Production Engineering and Management, Department of Industrial Production - KTH, 2012.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (ANFAVEA): Disponível em <<http://www.anfavea.com.br/cartas/Carta329.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2013, 22:39:39.

BAPTISTA, E. A. **Desenvolvimento de um sistema especialista para a otimização de processos de usinagem.** Santa Bárbara d'Oeste: FEAU, UNIMEP, 2004. 196f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, 2004.

BAPTISTA, E. A.; COPPINI, N. L. Otimização de processos de usinagem: uma abordagem para sistemas de fabricação flexível que foi implementada em um sistema baseado na web. **Anais...** CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO. Estância de São Pedro: ABCM; UNESP; UNICAMP; USP.v.4, p. 1-9, 2007.

BAPTISTA, E.A., COPPINI, N.L. Alternativas de otimização dos parâmetros de corte para cenários de fabricação em usinagem. **Anais...** ENEGEP'98, Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Niterói, V. 1, p.01-10, 1998.

BEWOOR, A.K.; PAWAR, M.S. Mapping macro/micro level critical links for integrating Six Sigma DMAIC steps as a part of company's existing QMS: an Indian SME case study. **International Journal Six Sigma and Competitive Advantage**, V. 6, N. 1-2, 2010.

BEZERRA, A.A.; COELHO, T.T.; SILVA, L.R.; JÚNIOR, A.B., SOTO, M. Rosqueamento em ferro fundido a alta velocidade. **Revista Máquinas e Metais**, São Paulo, v. 437, p. 142-167, jun.2002.

BRAGA, D.U.; DINIZ, A.E.; MIRANDA, G.W.A., COPPINI, N.L. Using a Minimum Quantity of Lubrificant (MQL) and diamond costed tool in the drilling of aluminum-silicon alloys. **Journal of Materials Processing Technology**, v.122 p. 127-138, 2002.

BRANDÃO, L.C.; COELHO, R.T. Temperature and heat flow when tapping of the hardened steel using different cooling systems. **Revista Chilena de Ingeniería**, v. 17 n. 2, p. 267-274, 2009.

BRUNI, A.L.; FAMÁ, R. **Gestão de Custos e Formação de Preços**. São Paulo: Atlas, 2004. 551 p.

CAO, T.; SUTHERLAND, J.W. Investigation of thread tapping load characteristics through mechanistics modeling and experimentation. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, USA, v. 42, n.14, p.1527-1538, 2002.

CARVAJAL, R.; GONZÁLEZ, P. L.; LOZANO, S. Research study of factors affecting difference between hole diameters in hybrid metal-composite drilling. **Journal of Engineering Manufacture**, v. 225, n. 7, p. 991-1000, 2011.

CARVALHO, A.O.; BRANDALO, L.C.; PANZERA, T.H.; LAURO, C.H. Analysis of form threads using fluteless taps in cast magnesium alloy (AM60). **Journal of Materials Processing Technology**, Brasil, v.212, p.1753-1760, 2012.

CAUCHICK, M.P. A.; COPPINI, N.L. **Cost per piece determination in machining process: an alternative approach**. International Journal Math and Tools Manufacture V. 36, N. 8, p. 939-946, 1996.

CHEN, C. C. An objective-oriented and product-line-based manufacturing performance measurement. **International Journal of Production Economics**, v. 112, n. 1, p.380-390, 2008.

CHEUNG, W.M.; XU, Y. Cost engineering for manufacturing:current and future research. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, p. 300-314, 2012.

DA CUNHA, J.T. **Estudo dos desgastes de rodas de pontes rolantes utilizadas em Siderurgia**. Tese de Mestrado programa de pós graduação em engenharia de minas, metalurgia e materiais – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

DA MOTA, P. R.; GONÇALVES, P.A.; REIS, A.M.; SILVA, M.B. Estudo do desempenho de ferramentas de aço-rápido revestidas no rosqueamento interno em alta velocidade de corte, **Anais...** 15º POSMEC- Simpósio de Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Uberlândia, 2005.

DA MOTA, P.R.; JUNIOR, F.G. N.; REIS, A.M.; MACHADO, A.R.; SILVA, M.B. Efeito da variação do avanço programado na máquina CNC durante o rosqueamento com machos de roscar em ferro fundido vermicular, **Anais...** 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, ABCM, 2011.

DA MOTA, P.R.; REIS, A.M.; MACHADO, A.R.; EZUGWU, E.O.; SILVA, M.B. Tool wear when tapping operation of compacted graphite iron Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: **Journal of Engineering Manufacture**, v. 227, n.11: pp. 1704-1713, sep – nov, 2013.

DANIELA, G.; LUIZA, D.; ALEXANDRU, E.; CONSTANTIN, F.; GEANINA, P. Assessment of the Competitive Management Efficiency in the Manufacturing Processes Proceedings of the 8th WSEAS **International Conference on System Science and Simulation in Engineering**, 2008.

DA SILVA, L.R.; BIANCHI, E.C.; FUSSE, R.Y.; CATAI, R.E.; FRANÇA, T.V.; AGUIAR, P.R. Analysis of surfasse integrity for Minimum Quantity Lubricant - MQL in grinding. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v.47 n.2 p.412-418, feb. 2007.

DA SILVA, L.R.; COELHO, R.T.; CATAI, R.E. Desgaste de ferramentas no torneamento com alta velocidade de corte da superliga “waspaloy”, **Metalurgia & Materiais**, v.57 n.2 p. 109-114, abr.- jun., 2004.

DEMÉTRIO, V.B. **Desenvolvimento de aços auto lubrificantes via compactação de pós granulados.** Tese de Mestrado, programa de pós-graduação em ciência e engenharia de materiais - Universidade Federal de Santa Catarina 2012.

DINIZ, A.E.; MARCONDES, F.C.; COPPINI, N.L. **Tecnologia da usinagem dos materiais.** 8. ed. São Paulo: Artliber, 244p, 2013.

DOS ANJOS, G.C.; **Utilização de matérias primas vegetais para a aplicabilidade como inibidores de corrosão.** Tese de Mestrado Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2012.

DUNLAP, C. Should you try dry? **Cutting Tool Engineering**, v.49 n.1 p.22-33, 1997.

FERRIPLAX in Calibrador Tampão de rosca: Disponível em <[http://www.ferriplax.com.br/index.php?option=com\\_content&task=category&sectionid=1&id=6&Itemid=3](http://www.ferriplax.com.br/index.php?option=com_content&task=category&sectionid=1&id=6&Itemid=3)>. Acesso em 23 jun. 2013, 17:33:00.

FILHO, F.C.L. **Análise da usinagem da madeira visando a melhoria de processos em indústrias de móveis.** Tese de Doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2004.

FONSECA, M. M.; MENEZES, P.L.M.; DE OLIVEIRA, A.S. Influência da direção de aplicação do fluido de corte na temperatura da interface cavaco-ferramenta, **Anais...** Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v.3, n.2, 2011.

FREIRE, J.M. **Tecnologia de Corte.** 1.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1977.

FREUND, E. F.; SIMON, G.A.; **Estatística Aplicada** 4.ed. São Paulo: Bookman, 2004.

GIL, C.G. **Como elaborar projetos de pesquisa**, 5.ed. São Paulo: Editora Atlas, 2010.

GRIVOL, R.F. **Implementação de Melhorias (Aperfeiçoamento) no Sistema MOS para Otimização do Processo de Usinagem.** 2007. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Barbara D'Oeste.

HAAH, C.; AMANCIO, M.R.M. estudo comparativo entre o processo de rosqueamento interno com macho de corte e o rosqueamento interno com macho laminador em ferro fundido nodular austemperado: uma abordagem das grandezas físicas. **E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial**, n. esp. Metalmecânica, p. 48-68, 2012.

HAGUENAUER, L. Competitividade: conceitos e medidas: uma resenha da bibliografia recente com ênfase no caso brasileiro. **Revista de Economia Contemporânea**, v.16, n.1, p. 146-176, 2012.

HECK, M., ORTNER, H.M., FLEGE, S., REUTER, U.; ENSIGNER, W. Analytical Investigations Concerning the Wear Behaviour of Cutting Tools Used for the Machining of Compacted Graphite Iron and Grey Cast Iron. **International Journal of Refractory Metals e Hard Materials**, 2007.

HORNGREN, C.T.; DATAR, S.M.; FOSTER, G. **Contabilidade de custos.** 11. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2004. 310 p.

KAMRUZZAMAN, M.; DHAR, N.R. Effect of High-Pressure Coolant on Temperature, Chip, Force, Tool Wear, Tool Life and Surface Roughness in Turning AISI 1060 Steel G.U. **Journal of Science**, v.22, n.4, p.359-370, abr. 2009.

KISHORE, R.A.; TIWARI, R.; RAKESH, P.K.; SINGH, I.; BHATNAGAR, N. Investigation of drilling in fibre-reinforced plastics using response surface methodology. **Journal of Engineering Manufacture**, v. 225, n. 3, p. 453-457, 2011.

KLAUBERG, A.L. **Aplicação de mínimas quantidades de fluido de corte nos processos de furação e rosqueamento interno de eixos para motores elétricos.** 2009. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

KRIONI, N.K. Frictional Properties of Metallic Surfaces Separated by a solid lubricant film at high temperature. **Russian Engineering Research**, v.32, n.1, p. 111-113, 2012.

KUDLA, L. Machining of precise multihole perforation in punch-and-die tooling plates. **Journal of Engineering Manufacture**, v. 217, n. 11, p. 1581-1587, 2003.

LACERDA, R.T. O.; Ensslin, L.; Ensslin, S.R. Contribuição estratégica de organizações quando analisadas na visão de seu desempenho. **GESTÃO.Org Revista Eletrônica da Gestão Organizacional**, v. 2, n. 9, p. 327-358, mai.-ago., 2011.

LACERDA, R.T. O.; Ensslin, L.; Ensslin, S.R. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 1, p. 59-78, 2012.

LUIZA, D.; DANIELA, G.; ALEXANDRU, E. Modeling of the Market-Manufacturing System Relationship Aiming the Product Time and Cost Estimation System 8th WSEAS **International Conference on Science and Simulation in Engineering**, 2008.

LUIZA, D.; DANIELA, G.; ALEXANDRU, E.; CONSTANTIN, F. Competitiveness based adaptive control of the manufacturing system Proceedings 8th WSEAS **International Conference on System Science and Simulation In Engineering**, 2008.

LUZ, S.O.C.; SELLITTO, M.A.; GOMES, L.P. Medição de desempenho ambiental baseada em método multicriterial de apoio à decisão: estudo de caso na indústria automotiva. **Gestão & Produção**, v. 13, n. 3, p. 557-570, set.-dez. 2006.

MACEDO, M.M. Gestão da produtividade nas empresas. **Revista Organização Sistêmica**, v.1, n. 1, p. 110- 119, Jan – Jun 2012.

MAIA, J.L., CERRA, A.L., FILHO, A.G.A. Operations and Technology Strategy Trajectories followed by automotive engine manufacturers set upBrazil. **Journal of Operations and Supply Chain Management**, v.3, n.1, p. 98 – 113, 2010.

MARTINS, P.G.; LAUGENI, F.P. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2005. 555 p.

MILITEC: Disponível em: < <http://www.militecbrasil.com.br>>. Acesso em: 22 fev. 2014, 9:19:56.

MIRANDA, R.C.; FERNANDES, B.C.; RIBEIRO, J.R.; MONTEVECHI, J.A.B.; PINHO, A.F. Avaliação da operação de *setup* em uma célula de manufatura de uma indústria de autopeças por meio da simulação a eventos discretos. **Revista Gestão Industrial**, v. 06, n. 03: p. 01-21, 2010.

MONICO, J.F. G; PÓZ, A.P.D.; GALO, M.; DOS SANTOS, M.C.; DE OLIVEIRA, L.C. Acurácia e precisão: Revendo os conceitos de forma acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 15, n 3, p.469-483, jul-set, 2009.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, R.C. **Applied Statistics and Probability for Engineers**, 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 2003. 822p.

MONTGOMERY, D.C. **Design and Analysis of Experiments**, 7 ed. New York: John Wiley & Sons, 2008. 680p.

NAKANO, D. **Métodos de pesquisa adotados na Engenharia de Produção e gestão de operações**. In: MIGUEL, P.A.C. (Coord.). **Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2. ed. São Paulo: Elsevier, 2012.

NAND, A.R.; DAVIM, J.P.A Study of drilling performances with minimum quantity of lubricant using fuzzy logic rules. **Mechatronics**, v.19, n.2, p.218-232, mar. 2009.

**PEREIRA, A.A. Análise do desgaste da ferramenta à base de Si3N4 na usinagem do ferro fundido cinzento FC 250 utilizando técnicas avançadas e de alta resolução.** Tese de Doutorado - Universidade Federal De Santa Catarina, 2010.

**PEREIRA, I.C. Análise do torque e da força axial, em diferentes condições de corte durante o rosqueamento de dois ferros fundidos cinzentos (CrCuSn e CrCuSnMo) e um ferro fundido vermicular da classe.** 2010. 113 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

PIEKARSKI, J.C.B.; CZIULIK, C. Modelo para avaliação econômica comparativa entre alternativas de sistemas de fixação com elementos roscados. **Gestão & Produção**, v. 16, n. 3, p. 450-465, jul.-set. 2009.

PINHO, A.F.; MONTEVECHI, J.A.B.; MARINS, F.A.S. Metodologia para utilização de algoritmos genéticos em modelos de simulação computacional em ambientes de manufatura. **Revista P&D em Engenharia de Produção**, v.08, n.1, p.01-05, 2010.

QIAN, L.; ARIEH, D.B. Parametric cost estimation based on activity-based costing: A case study for design and development of rotational parts. **International Journal Production Economics**, v.113, p. 805–818, 2008.

RAMJI, B.R.; MURTHY, H.N.N.; KRISHNA, M. Performance study of cryo treated HSS drills in drilling cast iron. **International Journal of Engineering Science and Technology**, v. 2, n. 7, p. 2530-2536, 2010.

REIS, A.M. **Avaliação do desempenho de diferentes materiais de ferramentas no processo de rosqueamento interno de Ferro Fundido Cinzento, por meio do monitoramento do desgaste.** Tese de Doutorado - Universidade Federal de Uberlândia 188 p., 2004.

REIS, A.M.; COELHO, G.A.B.; BARBOSA, F.Q.; SILVA, M.B. **Estudo da relação entre o sinal de potência e o desgaste da ferramenta para o processo de rosqueamento interno.** 13 POSMEC Simpósio do Programa de Pós – Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, 2005.

REIS, M.E.P.; ALVES, J.M. Um método para o cálculo do benefício econômico e definição da estratégia em trabalhos de redução do tempo de setup. **Gestão da Produção**, v. 17, n. 3, p. 579-588, 2010.

SAHIN, Y. Comparison of tool life between ceramic and Cubic Boron Nitride (CBN) cutting tools when machining hardened steels. **Journal of Materials Processing Technology**, v.209, n.7, p.3478-3489, apr. 2009.

SALES, M.H.; BRITO, L.C.; ANDRADE, P.S.; DUMONT, T.S; BRITO, J.N.; PORTES, D.F. Diagnóstico do estado de conservação de equipamentos industriais através da análise de óleo: casos de sucesso, **Anais...** XI Congresso de Engenharia Mecânica, Metalúrgica e Industrial, Porto Alegre, RS, ago. 2011.

SANDIVIK COROMANT (a): in Knowledge Threading Tapping Standard. Disponível em: <[http://www.sandvik.coromant.com/engb/knowledge/threading/tapping/choice\\_of\\_tools/standard/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/engb/knowledge/threading/tapping/choice_of_tools/standard/pages/default.aspx)>. Acesso em: 22 jun. 2013, 19:14:56.

SANDIVIK COROMANT (b): in Tap Catalogue: Disponível em <http://www.sandvik.coromant.com/ptpt/downloads/pages/search.aspx?q=Catalogues&rootsite=%5eptpt%24&applications=%5e%22threading+tools%22%24>. Acesso em: 22 jun. 2013, 20:32:39.

SANTANA, J.S.; FARIAS, A.C.M.F.; DE SANTANA, J.S.; BARBOSA, C.R.F.; MEDEIROS, J.T.N. Estudo tribológico de óleos biodegradáveis de coco e rícino através de ensaios abrasivos. **Holos**, V.4, n.26, 2010.

SANTOS, S.C.; SALES, W.F. **Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais**. Artliberltda. São Paulo: 246 p., 2007.

SENAI-SP; **Tecnologia Aplicada I**, São Paulo, 2011.

SHA, J.; NI, J.; WU, S.M. Development of a Tap Wear Monitoring Scheme Proceedings of Manufacturing International '90. Part4: **Advances in Materials and Automation**, Atlanta: GA, 1990.

SHARMA, V.S.; DOGRA, M.; SURI, N.M. Cooling techniques for improved productivity in turning. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, p. 435–453, 2009.

SILVA, L.R.; COELHO, R.T.; CATAI, R.E. Desgastes de ferramentas no torneamento com alta velocidade de corte da superliga “wapaloy”. **Metalurgia e Materiais**, p. 109-114, 2004.

SILVÉRIO, M. **Comportamento tribológico de revestimento multifuncional CrN-DIC em atmosferas de gases refrigerantes**. Tese de mestrado Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

STEMMER, C.E. **Ferramentas de corte II: brocas, alargadores, ferramentas de roscar, fresas, brochas, rebolos e abrasivos**. 2. ed. Florianópolis: UFSC, 326 p., 1995.

SOUZA, A.J.; AZAMBUJA, A.S.; MELLO, M.S.; ROSA, G.C. Análise comparativa da vida das ferramentas de corte alisadora (wiper) e convencional (standard) no torneamento de acabamento do aço SAE 4140. **Anais...** 7º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Penedo, Itatiaia – RJ – Brasil, 2013.

TAWAKOLI, T.; HADAD, M.J.; SADEGHI, M.H.; DANESHI, A.; STOCKER, S.; RASIFARD, A. An experimental investigation of the effects of workpiece and grinding parameters on Minimum Quantity Lubricant – MQL grinding. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v.49, n.12-13, p.924-932, oct. 2009.

TAWAKOLI, T.; HADAD, M.J.; SADEGHI, M.H. Investigation on Minimum Quantity Lubricant- MQL grinding of 100 Cr6 hardened steel using different abrasive and coolant-lubricant types. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v.50, n.8, p.698-708, oug. 2010.

TAWAKOLI, T.; HADAD, M.J.; SADEGHI, M.H. Influence of oil mist parameters on Minimum Quantity Lubricant- MQL grinding process. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v.50, n.6, p.521-531, jun. 2010.

TEZZA,R.; BORNIA, A.C.; VEY, I.H. Sistemas de medição de desempenho: uma revisão e classificação da literatura. **Gestão da Produção**, São Carlos, v. 17, n. 1, p. 75-93, 2010.

THIRUMALAI, R.; SENTHILKUMAAR, J.S. Multi-criteria decision making in the selection of machining parameters for Inconel. **Journal of Mechanical Science and Technology**, p.1109-1116, 2012.

UEDA, B.K.S.; SANCHEZ, L.E.A. **Análise da temperatura em um porta-ferramenta refrigerado internamente com fluido em mudança de fase**. VI Seminário da Pós-graduação em Engenharia Mecânica, UNESP, 2011.

VANDERBECK, E.J; NAGY, C.F. **Contabilidade de Custos** 11.ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

VASCONCELLOS, M. N.; ARAUJO, A. C. Análise das forças de corte no processo de furação de uma liga de aço inoxidável austenítico. **Anais...** Congresso Brasileiro de Engenharia de fabricação, 6., 2011,Caxias do Sul. Caxias do Sul: ABCM, 2011. p. 1-9.

WEINERT, K.; INASAKI, L., SUTHERLAND, J. W.; WAKABAYASHI, T. Dry Machining and Minimum Quantity Lubrication. **Manufacturing Technology**, v.3, n. 2, p. 511–537, 2004.

ZAGO, C.A; WEISE, A.D; HORNBURG, R.A. **A importância do estudo de viabilidade econômica de projetos nas organizações contemporâneas**. VI CONVIBRA – Congresso Virtual Brasileiro de Administração, 2009.

ZEILMANN, R.P. **Furação da liga de titânio Ti6Al4V com mínimas quantidades de fluido de corte**. Tese de Doutorado - UFSC, Florianópolis, 2003.

ZEILMANN, R. P.; SANTIN, R.; FINIMUNDI, A. V. Efeitos de diferentes condições de aplicação de fluidos lubri-refrigerantes no desgaste de brocas de aço rápido. **Estudos Tecnológicos**,v.2 n.1 p.26-33, jan-jun, 2006.