

**HUDSON HARUO SATO**

**APLICAÇÃO DE UM MÉTODO DE ENSAIO GEOMÉTRICO  
EM UM CENTRO DE USINAGEM**

**JARAGUÁ DO SUL, 2014**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA  
CAMPUS JARAGUÁ DO SUL – GERALDO WERNINGHAUS  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO  
MECÂNICA**

**HUDSON HARUO SATO**

**APLICAÇÃO DE UM MÉTODO DE ENSAIO  
GEOMÉTRICO EM UM CENTRO DE USINAGEM**

Trabalho de conclusão de curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos de obtenção do título de Tecnólogo em Fabricação Mecânica

Professor Orientador:  
Delcio Luís Demarchi, Esp.

**JARAGUÁ DO SUL, 2014**

Sato, Hudson Haruo

Aplicação de um método de ensaio geométrico em um centro de usinagem  
/Sato, Hudson Haruo - Jaraguá do Sul: Instituto Federal de Santa  
Catarina, 2014. 46 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo) - Instituto Federal de Santa  
Catarina. Curso superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica.  
Orientador: Delcio Luís Demarchi

1.Centro de usinagem 2.Ensaio geométrico 3.Desvio geométrico

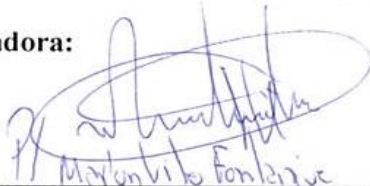
# APLICAÇÃO DE UM MÉTODO DE ENSAIO GEOMÉTRICO EM UM CENTRO DE USINAGEM

**HUDSON HARUO SATO**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Tecnólogo em Fabricação Mecânica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

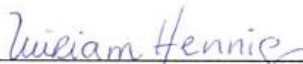
Jaraguá do Sul, 10 de julho de 2014.

**Banca Examinadora:**



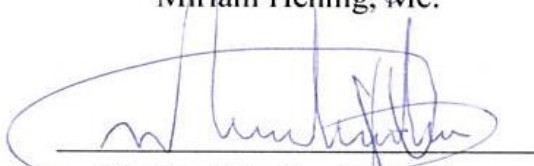
Handwritten signature of Delcio Luis Demarchi in blue ink, written over a horizontal line.

Delcio Luis Demarchi, Esp.



Handwritten signature of Miriam Hennig in blue ink, written over a horizontal line.

Miriam Hennig, Me.



Handwritten signature of Marlon Vito Fontanive in blue ink, written over a horizontal line.

Marlon Vito Fontanive, Esp.



Handwritten signature of Fernando Henrique Gruber Colaço in blue ink, written over a horizontal line.

Fernando Henrique Gruber Colaço, Me.

Este trabalho é dedicado à  
minha família, especialmente  
ao meu pai Julio Haruo Sato,  
em memória de minha mãe,  
Maria Terezinha Sato, minha  
noiva Tatiane Santos, e aos  
servidores/professores do  
IFSC - Jaraguá do Sul-  
Geraldo Werninghaus.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter tido esta oportunidade, a saúde e a disposição para percorrer este caminho.

À minha família, especialmente ao meu pai Julio Haruo Sato e minha noiva Tatiane Santos pelo apoio e incentivo.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, especialmente ao câmpus Geraldo Werninghaus de Jaraguá do Sul, em Santa Catarina, representado pelo diretor e professor Marlon Vito Fontanive, pela estrutura e apoio desde o início.

Ao professor Delcio Luís Demarchi do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina pela orientação, auxílio e apoio durante a execução deste trabalho

À professora Miriam Hennig do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina pela orientação geral.

Ao técnico de Laboratório Adriano Albino Machado do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina pelo apoio em fases do desenvolvimento desse trabalho.

E a todos servidores, mestres e professores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina pela participação direta e indireta em todas as fases da minha formação.

Meu sincero respeito e muito obrigado!

*O animal satisfeito dorme.*

Guimarães Rosa

## RESUMO

Este trabalho apresenta a aplicação de um método de ensaio geométrico em três peças usinadas em um centro de usinagem. Os ensaios geométricos são um conjunto de métodos para a verificação da exatidão de corte em máquinas-ferramenta, sendo o ensaio geométrico através da peça usinada um desses métodos.

Desta forma, foi realizada uma pesquisa sobre os fatores que influenciam a exatidão de corte das máquinas-ferramenta, assim como métodos para ensaios geométricos em máquinas-ferramenta.

Dentre outros métodos para ensaios geométricos em máquinas-ferramenta e considerando os recursos e limitações disponíveis, o método adotado através da peça usinada foi adaptado da norma NBR ISO 10791-7 (1997).

Através da aplicação desse método e da pesquisa realizada, foi possível obter os resultados das medições realizadas para os erros geométricos, além de proporcionar uma visão sobre a viabilidade em aplicá-lo.

Para concluir os objetivos, a peça adaptada da norma ISO 10791-7 (1997), foi modelada em software CAD, a fim de gerar a programação CNC através do software CAM, e assim efetuar a aplicação do método de ensaio geométrico através da peça usinada em um centro de usinagem.

Os desvios medidos entre as peças usinadas apresentaram pouca variação e um campo de tolerância estreito. Portanto, através da aplicação do ensaio geométrico através do método da peça usinada, foi possível conhecer a exatidão de corte da máquina e, a partir da necessidade da aplicação em elementos mecânicos como, por exemplo, alguns tipos de acoplamentos, é possível selecionar a máquina de acordo com a sua capacidade de precisão.

**Palavras-chave:** Centro de usinagem. Ensaio geométrico. Desvios geométricos.



## ABSTRACT

*This coursework presents the application of a method for a geometric test in three machined workpieces in a machining center. The geometric tests are a set of methods which verify the accuracy of machine cutting tools; the geometric test in a machined workpiece constitutes one of these methods.*

*Thus, research on the factors that influence the accuracy of machine cutting tools was done, as well as methods for geometric machine tool testing were performed.*

*Among the methods for geometric testing and considering the available resources and limitations, the method from the standard ISO 10791-7 (1997) was adapted.*

*By applying this method and survey, it was possible to obtain the results of the measurements for geometric errors, and provide insights into the feasibility of applying it.*

*To fulfill the objectives, the workpieces, adapted from ISO 10791-7 (1997) were modeled in CAD software, in order to generate the CNC programming by using CAM software, and thus the geometric test in a machining center was performed.*

*The deviations in the measurement of the three machined workpieces showed little variation and a narrow field of tolerance. Therefore, by applying the geometric test in these three workpieces, it was possible to know the accuracy of the cutting machine and, based on the necessity of application in mechanical elements such as some types of couplings, it is possible to select it according to its precision capacity.*

**Keywords:** *Machining center. Geometric tests. Geometric deviations.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	- Sistema de controle de Máquina-ferramenta CNC .....	18
Figura 2	- Rigidez prejudicada pela configuração da máquina. ....	20
Figura 3	- Estrutura de uma máquina ferramenta vertical com 3 eixos	20
Figura 4	- Símbolos para característica tolerada .....	22
Figura 5	- Centro de usinagem ROMI D 600 .....	24
Figura 6	- Presetter e fresa de topo .....	25
Figura 7	- Modelamento CAD da peça .....	26
Figura 8	- Estratégia de faceamento. ....	29
Figura 9	- Estratégia de usinagem para a região circular. ....	29
Figura 10	- Estratégia de fresamento para região de inclinação .....	30
Figura 11	- Simulação do furo central. ....	30
Figura 12	- Máquina de medir por coordenadas .....	31
Figura 13	- Esquema de medição. ....	32
Figura 14	- Regiões medidas. ....	32
Figura 15	- Peças usinadas para o ensaio. ....	33
Figura 16	- Gráfico do desvio de retitude .....	34
Figura 17	- Gráfico do desvio de paralelismo. ....	35
Figura 18	- Gráfico do desvio de inclinação A .....	36
Figura 19	- Gráfico dos desvios de inclinação B .....	37
Figura 20	- Gráfico dos desvios de perpendicularidade. ....	38
Figura 21	- Gráfico dos desvios de circularidade do furo central. ....	39
Figura 22	- Gráfico dos desvios de circularidade externa .....	40
Figura 23	- Gráfico dos desvios de concentricidade. ....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais tolerâncias aplicadas neste ensaio.....	23
Tabela 2 – Parâmetros de corte do estudo.....	28
Tabela 3 – Resultado das medições de retitude.....	33
Tabela 4 – Resultado das medições de paralelismo.....	34
Tabela 5 – Resultado das medições da inclinação A.....	35
Tabela 6 – Resultado das medições da inclinação B.....	36
Tabela 7 – Resultado das medições de perpendicularidade.....	37
Tabela 8 – Resultado das medições de circularidade do furo central.....	38
Tabela 9 – Resultado das medições para a circularidade externa.....	39
Tabela 10 – Resultado das medições para a concentricidade.....	40

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- CAD - Desenho assistido por computador.
- CAM - Manufatura auxiliada por computador.
- IFSC - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.
- ISO - Organização Internacional para Padronização.
- RPM - Rotações por minuto.
- SAE - Sociedade dos Engenheiros Automotivos (Society of automotive Engineers).
- V<sub>c</sub> - Velocidade de corte (m/min).

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Justificativa.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2</b>	<b>Definição do Problema.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>15</b>
1.3.1	Objetivo Geral.....	15
1.3.2	Objetivos Específicos.....	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Ensaio Geométrico.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Fatores que Influenciam os Desvios Geométricos em Máquinas-Ferramenta.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3</b>	<b>Desvios Geométricos no Fresamento.....</b>	<b>21</b>
<b>2.4</b>	<b>Desvios e Tolerâncias Geométricas.....</b>	<b>21</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1</b>	<b>Geometria da Peça a Ser Ensaada.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2</b>	<b>Usinagem dos Corpos de Prova.....</b>	<b>26</b>
<b>3.3</b>	<b>Método de Inspeção.....</b>	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>41</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>42</b>
	<b>APÊNDICE A – Desenho técnico da peça adaptada da norma ISO 10791-7.....</b>	<b>44</b>
	<b>APÊNDICE B – Programa parcial do fresamento CNC.....</b>	<b>45</b>
	<b>ANEXO A – Desenho técnico da peça com referência à norma ISO 10791-7.....</b>	<b>46</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O cenário da indústria mecânica atual busca avanço constante na performance, qualidade e confiabilidade dos sistemas mecânicos, sempre aliado à redução de custos na produção. Além da necessidade do desenvolvimento tecnológico para melhoria da qualidade, aliada à redução de custos, outros pontos são importantes tais como a alta produção de componentes, flexibilidade e confiabilidade.

Entretanto, o que é encontrado em muitos processos de fabricação são falhas, que atingem o processo em boa parcela das peças fabricadas, e os fazem operar abaixo da sua capacidade em níveis de precisão. Isso ocasiona perda de material com peças refugadas e retrabalho.

Esse problema é mais crítico no processo de usinagem do que em outros, como a fundição ou a conformação. Quando comparada a esses processos, a usinagem é um processo lento, com ocorrência de grande perda de material, e valor agregado advindo de processos anteriores, tais como a fundição e a conformação, sendo necessária a busca de alternativas para reutilização desse material para diminuir esse impacto.

Além disso, qualquer outro processo não atinge a precisão geométrica que a usinagem permite. Isso faz com que esse processo seja amplamente utilizado em casos nos quais a precisão geométrica é requisito do projeto, necessitando maior controle e atenção.

A exatidão geométrica, confiabilidade e monitoramento do processo refletem na qualidade do produto final. Assim, para aumentar a exatidão no processo de usinagem, várias melhorias são objeto de pesquisa e implementadas nas máquinas-ferramenta. Porém, vários fatores atingem negativamente o processo de usinagem e acabam prejudicando de forma direta a geometria final da peça. São fatores indesejados, que atuam nas máquinas alterando as trajetórias que foram programadas para a ferramenta e a peça.

A minimização dessas deficiências que melhoram a qualidade da peça usinada podem ser obtidas por meio da aplicação de um método para ensaio geométrico. Assim é possível a seleção correta da máquina para a produção em série, de acordo com sua exatidão de corte. Além disso, com a viabilidade da aplicação periódica desses métodos, é possível obter relatórios de ensaios geométricos a fim de promover a compensação via comando numérico computadorizado (CNC).

Dessa forma, para que essas ações possam ser realizadas, os

ensaios geométricos são de grande importância, pois a partir dos resultados obtidos, é possível adotar ações que refletem na qualidade da peça usinada.

Nesse sentido, a pesquisa está estruturada de acordo com a Resolução CEPE/IFSC Nº0119 - Normas: Trabalhos Acadêmicos, (2011) do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – IFSC e dividida em cinco capítulos sendo: o Capítulo 1, que trata da introdução e contextualização do trabalho; o Capítulo 2, que mostra a revisão bibliográfica sobre os principais assuntos relativos aos fatores que influenciam a precisão geométrica da peça usinada, envolvendo desvios geométricos e tolerâncias; o Capítulo 3, materiais e métodos, onde está descrita a metodologia para atingir os objetivos propostos, Capítulo 4, apresentação e discussão dos resultados; Capítulo 5, onde são descritas as conclusões obtidas através da aplicação do método para ensaio geométrico em um centro de usinagem.

## **1.1 Justificativa**

Quando o termo qualidade geométrica é abordado, os ensaios geométricos são de grande importância para a conformidade geométrica da peça. Através dessa conformidade, é possível selecionar corretamente a máquina-ferramenta a ser utilizada na fase do projeto e ainda adotar métodos corretivos e preventivos para aprimorar a exatidão da máquina-ferramenta, através da correção via compensação dimensional no CNC da máquina.

## **1.2 Definição do Problema**

Um sistema que não utiliza seu completo potencial produtivo, por não se atentar a certos fatores que influenciam a qualidade no processo de usinagem, gera queda no rendimento, perda do potencial produtivo e seleção incorreta da máquina-ferramenta para realização do processo.

Nesse contexto, surge a pergunta: Em que medida a condição da exatidão de corte de um centro de usinagem contribui para a melhoria da qualidade de peças usinadas?

Sendo assim, para responder a essa questão, buscou-se pesquisar métodos para ensaios geométricos, assim como estudar os fatores que influenciam os desvios geométricos em máquinas-ferramenta.

Em estudos futuros, há a possibilidade de planejar, corrigir, prevenir, monitorar e aperfeiçoar a qualidade geométrica da peça usinada.

### **1.3 Objetivos**

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Aplicar um método de ensaio geométrico em máquinas-ferramenta.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- a. Usinar três peças adaptadas da norma ISO 10791-7;
- b. Medir os desvios geométricos com o auxílio de uma máquina de medir por coordenadas;
- c. Verificar a viabilidade de aplicar o método de ensaio geométrico através da peça usinada em comparação com outros métodos como o laser de alinhamento e o laser interferométrico.



## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Ensaios Geométricos

Conforme a norma ISO 10791 (1999), os ensaios geométricos são métodos utilizados para verificar a exatidão de corte em máquinas-ferramenta. Suas características os classificam em métodos para qualificação, avaliação, aceitação, comparação, ou qualquer outro objetivo. Alguns exemplos desses métodos são: o laser interferométrico e o laser de alinhamento.

Com base na norma ISO 10791-7 (1999), o método de ensaio geométrico em máquinas-ferramenta através da peça usinada é o método que apresenta à primeira vista menor custo e facilidade de aplicação. Com base nos resultados das medições, é possível obter uma visão geral sobre a condição de exatidão de corte da máquina-ferramenta.

Segundo Sousa (2000) através dos resultados obtidos em função dos métodos de ensaios geométricos, ações preventivas e corretivas podem ser exploradas sobre a máquina ou sobre o processo.

A máquina é selecionada devidamente para fabricar peças de acordo com a sua exatidão de trabalho; os ensaios podem indicar regiões do volume de trabalho, onde os erros da máquina-ferramenta são maiores e menores. O trabalho pode ser feito nestas áreas mais favoráveis; recursos de correção de erros geométricos via CNC podem ser atualizadas com frequência, melhorando sua exatidão de trabalho e mantendo a máquina com erros sistemáticos corrigidos; com uma técnica de ensaio rápida, a máquina pode ser ensaiada aquecida, mesmo no intervalo da produção, verificando sua exatidão em um estado térmico mais realista. (SOUSA, 2000, p.80).

A compensação ou correção de erros via CNC, a partir dos dados coletados nos experimentos é possível de acordo com Rubio *et al* (2011), quando modelos matemáticos ou regressões polinomiais que representam os desvios são desenvolvidos e com isso, são gerados os fatores de correção.

A implementação desse recurso computacional desenvolve-se de maneira simplificada da seguinte forma: “definição do modelo

matemático, variáveis ou planilha externa de cálculos; criação de uma curva compensação por meio dos pontos do banco de dados; transposição da curva em uma superfície paramétrica (superfície de correção)”. (RUBIO *et al*, 2011, p.6).

A seguir serão descritos assuntos relativos à máquinas-ferramenta, fatores que influenciam os desvios geométricos.

## **2.2 Fatores que Influenciam os Desvios Geométricos em Máquinas-Ferramenta**

Para o completo entendimento dos fatores que podem influenciar os desvios geométricos na aplicação do método de ensaio geométrico em um centro de usinagem, julga-se necessário distinguir máquina-ferramenta e centro de usinagem.

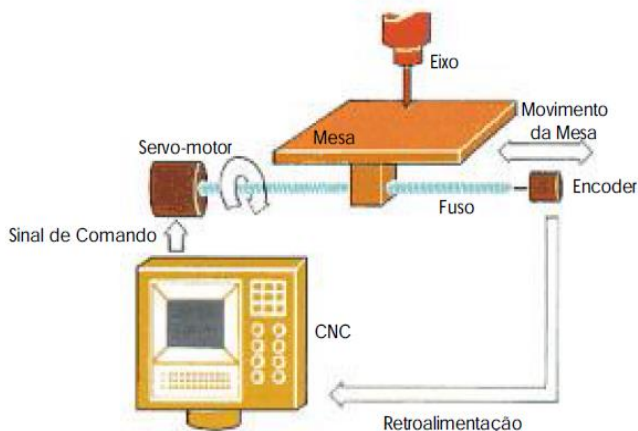
Essa distinção, de acordo com Souza e Ulbrich (2009), é obtida para uma máquina-ferramenta quando esta é munida de um armazém de ferramentas (magazine), sendo denominada centro de usinagem. Ela é definida através das seguintes características: “na própria máquina são escolhidas e trocadas as ferramentas, ferramentas e peças são posicionadas assim como a escolha da rotação, avanço e comandos de funções auxiliares”. (WITTE, 1998, p. 363).

Segundo esse autor (1998), essas operações são realizadas basicamente pelo sistema de controle do centro de usinagem. Portanto, esses centros de usinagem possuem um sistema de controle que realiza as operações através do CNC.

Dessa forma, o CNC consiste em “uma unidade de processamento de dados e controle cuja função é ler, interpretar as instruções e convertê-las em ações mecânicas da máquina”. (SOUZA; ULBRICH, 2009, p. 221).

Em relação ao tempo de processamento, o CNC pode representar uma limitação à velocidade de avanço, ou seja, “o tempo que o CNC leva para ler a informação, processar e transmitir para a máquina executar o movimento, influência na movimentação dos eixos de uma máquina”. (AGUIAR, 2012, p. 33).

A Figura 1 representa essa situação, que deve acontecer no menor tempo possível, a fim de minimizar as alterações de trajetória que causam erros geométricos na peça final.



**Figura 1- Sistema de controle de Máquina-ferramenta CNC**  
**Fonte: Souza e Ulbrich (2009, p. 219)**

Dessa forma, a capacidade de produzir peças dentro das tolerâncias fica comprometida quando há inversão de eixos.

Um problema para o CNC nas trajetórias curvas é que quase sempre há a inversão de movimento de pelo menos algum dos eixos envolvidos, e esta inversão requer que os servos motores respondam de maneira uniforme e estável aos sinais vindos do CNC. (SOUSA, 2000, p.33).

As operações em máquinas-ferramenta são influenciadas por elementos externos e internos, que ocasionam alterações térmicas na estrutura da máquina e afetam seu comportamento geométrico. BARASH; VENUGOPAL (1986 *apud*, SOUSA, 2000, p. 255) compartilha deste ponto de vista ao afirmar que “avalia-se que os efeitos térmicos sejam responsáveis por 40% dos erros em máquina-ferramenta.”

Segundo Valentina (2007), os centros de usinagem contam com diversas origens de calor tais como:

Motores de acionamento das mesas e ferramenta de corte; fusos que transmitem o movimento dos motores

às mesas da máquina; mancais que suportam o movimento de mesa e ferramentas; sistema hidráulico; o processo de corte e os cavacos que se depositam sobre a área de trabalho. Entretanto, essa estabilidade térmica, após certo tempo de operação contínua, diminui consideravelmente a variação de temperatura da máquina. (VALENTINA, 2007, p.9)

Por conta dessa influência térmica, a norma ISO 230 (1999), que também trata de ensaios geométricos em máquinas, recomenda ciclos de pré-aquecimento, para que os erros da máquina sejam medidos numa condição mais próxima de seu estado térmico normal quando em operação.

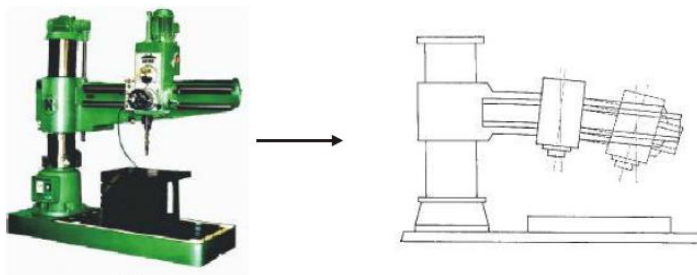
Segundo Schneider (1998), deformações elásticas podem afetar o comportamento geométrico entre a peça e a ferramenta; são esforços mecânicos estáticos e dinâmicos, ocasionados por vibrações da máquina e por vibrações na usinagem.

Dessa forma, as vibrações mecânicas na máquina e vibrações da usinagem podem ser diferenciadas como:

Vibrações mecânicas são movimentos próprios, sendo com isso independentes. Provém geralmente de partes giratórias. E vibrações na usinagem que aparecem através da força de corte da ferramenta. Elas atuam conforme a situação da usinagem transversal de tensão constante ou variável, velocidade de corte, refrigeração etc. e outros. (WITTE, 1998, p.313).

De acordo com Valentina (2007), os elementos da máquina que influenciam de maneira mais significativa o comportamento geométrico de máquinas atingem, principalmente, máquinas de grande porte, máquinas com configuração desfavorável e baixa rigidez, conforme a Figura 2.

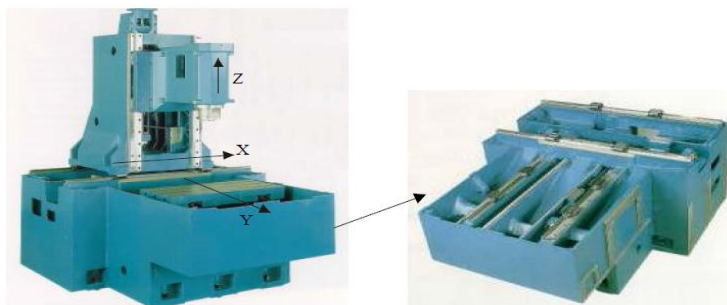
Para Sousa (2000), os desvios de retilineidade e inclinação são causados por erros na fabricação das guias. Erros de perpendicularidade são causados pelos erros de montagem, são desalinhamentos e folgas entre os componentes da máquina. As folgas causam deficiências de posicionamento dos eixos.



**Figura 2- Rigidez prejudicada pela configuração da máquina.**  
**Fonte: Witte (1998, p. 312)**

O uso normal da máquina, uma colisão ou excesso de carga, provocam alterações consideráveis no comportamento geométrico da máquina. O desgaste das guias e fusos altera a precisão de planicidade causando erros de retilidade e inclinação.

A Figura 3 ilustra a estrutura de uma máquina de três eixos. É possível observar as guias e fusos que acionam seus eixos.



**Figura 3- Estrutura de uma máquina ferramenta vertical com 3 eixos**  
**Fonte (Sousa, 2000, p.76)**

Nota-se que a influência de elementos, estrutura, fabricação e montagem de máquinas não devem influenciar de maneira significativa o erro geométrico na peça usinada em máquinas novas, pois o desgaste dos elementos como fusos e guias ainda não aconteceram. Ficam, então, a cargo dos fabricantes questões relativas à montagem e fabricação das máquinas.

### **2.3 Desvios Geométricos no Fresamento**

De acordo com Ferreira (2013), para os desvios geométricos provenientes do processo de fresamento, informações em relação às fresas de topo devem ser consideradas. As fresas de topo podem cortar em três direções de avanço, tendo arestas de corte no topo e na periferia. O ângulo de saída de uma fresa de topo influencia a potência e a formação do cavaco. Com relação ao ângulo de saída, quanto mais positivo, menores são as forças e a potência de corte, essa configuração positiva do ângulo de saída é indicada principalmente para usinagem de materiais mais macios (dúcteis).

Os ângulos em forma de hélice na fresa são importantes para que o fresamento ocorra de modo suave e gradual, alterando a força axial. “Em fresas de topo, o aumento da força e potência de corte tende a aumentar a flexão da ferramenta e por consequência, aumentar os desvios geométricos do produto usinado”. (FERREIRA, 2013, p.33).

Entretanto, para Valentina (2007), os esforços do processo de usinagem influenciam de maneira mais significativa a micro geometria da peça. Sobre as dimensões da peça, esta influência é limitada, por conta dos baixos esforços em condições de acabamento, pois são elas que definem a geometria final da peça.

### **2.4 Desvios e Tolerâncias Geométricas**

Segundo Almeida e Machado (2006), em alguns casos onde é requerida elevada exatidão, as tolerâncias dimensionais nem sempre são suficientes para garantir os requisitos de funcionalidade das peças. As medidas do diâmetro, por exemplo, não são suficientes para assegurar que um furo seja totalmente cilíndrico. Através do ensaio geométrico, é possível verificar variações nos desvios de forma, orientação e posição na peça usinada.

O limite de variação onde o desvio geométrico é aceito, é definido como tolerância geométrica. A caracterização dos desvios geométricos divide-se em duas classes sendo: “Desvios micrométricos, rugosidade superficial e macrométrico, relativo aos desvios de forma, orientação e posição”. (AGOSTINHO; RODRIGUES; LIRNI, 2009, p. 114).

Portanto, os desvios geométricos que serão abordados através da aplicação do ensaio geométrico nesse trabalho (Figura 4), podem ser definidos como: “A tolerância geométrica para um elemento, ponto, linha, superfície ou plano de simetria que limita o campo no qual a posição do elemento deve estar contida”. (ABNT NBR 6409, 1997, p.2).

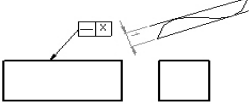
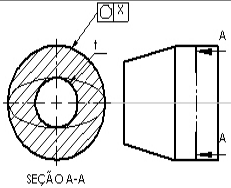
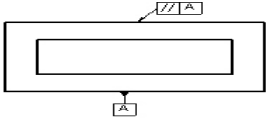
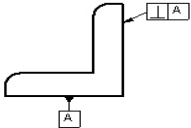
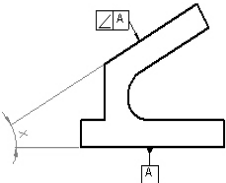
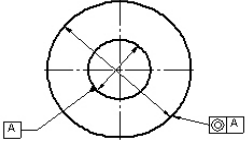
Característica tolerada		Símbolo
Forma	Retitude	—
	Circularidade	○
Orientação	Paralelismo	//
	Perpendicularidade	⊥
	Inclinação	∠
Posição	Concentricidade	◎

**Figura 4 - Símbolos para característica tolerada**  
**Fonte adaptada: ABNT NBR 6409 (1997, p. 3).**

Desta forma, a tolerância geométrica faz parte de um sistema de controle da fabricação mecânica, cujo objetivo é: “manter uma ou mais grandezas ou um processo dentro de limites pré-definidos”. (ALBERTAZZI; SOUZA, 2008, p. 6).

Essas tolerâncias geométricas são indicadas e representadas em desenhos técnicos. Seus símbolos e principais características são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 - Principais tolerâncias aplicadas neste ensaio.**

Tolerância	Especificação	Definição
Retitude de uma linha		O campo de tolerância é limitado por duas linhas paralelas afastadas de uma distância “t”.
Tolerância de circularidade		O campo de tolerância é limitado na seção de medição por dois círculos concêntricos, afastados de uma distância “t”
Tolerância de paralelismo de uma superfície		O campo de tolerância é limitado por dois planos paralelos afastados de uma distância “t” e paralelos à superfície de referência.
Tolerância de perpendicularidade de uma superfície		O campo de tolerância é limitado por dois planos paralelos, afastados de uma distância “t” e perpendiculares à superfície de referência.
Tolerância de inclinação de uma superfície em relação a uma superfície		O campo de tolerância é limitado por dois planos paralelos, afastados de uma distância “t” e inclinados em relação à superfície de referência com o ângulo especificado
Tolerância de concentricidade de um ponto		O centro de um círculo ao qual o quadro de tolerância está ligado e deve estar contido em um círculo concêntrico com o centro do círculo A

**Fonte adaptada: NBR 6409 (1997, p.2)**

Através destas definições e do método adotado para aplicação do ensaio geométrico, este trabalho busca os resultados dos desvios geométricos em uma máquina-ferramenta.



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O material escolhido para a usinagem das peças modelo utilizado na realização dos ensaios geométricos foi o aço carbono SAE 1020 com dimensões de 165 mm x 165 mm x 51,8 mm. Foram realizadas 3 repetições para cada condição. A escolha do material foi realizada com referência à norma ISO 10791-7, além de motivos econômicos, disponibilidade no mercado, e por ser bastante empregado na indústria mecânica.

O ensaio foi realizado em um centro de usinagem vertical Romi Discovery, modelo D600, equipado com o comando Fanuc 0i-MC. A Figura 5 mostra o centro de usinagem utilizado nos ensaios; a máquina foi chumbada conforme indicação do fabricante.



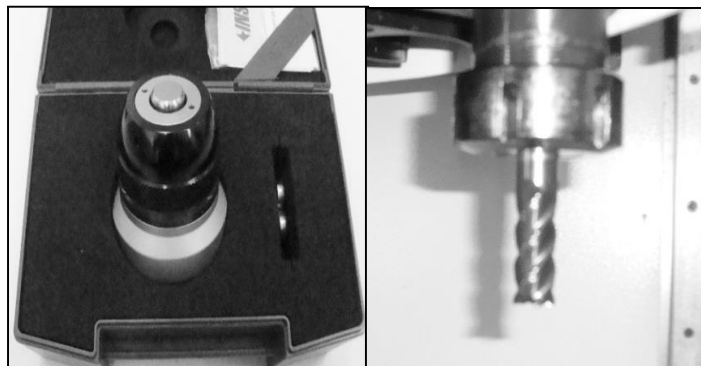
**Figura 5- Centro de usinagem ROMI D 600**  
**Fonte: o autor (2014)**

Para realizar o modelamento e o desenho técnico (Apêndice A) da peça, foi utilizado o programa CAD, Solidworks 2008 SP2.1. Para gerar o programa de fresamento (Apêndice B), foi utilizado o programa CAM, Edgcam 2012R2.

Para determinar o comprimento da ferramenta, foi utilizado o *presetter* (Figura 6a), além de dois cabeçotes para pastilhas intercambiáveis, de 50 mm de diâmetro com 4 pastilhas e 25 mm de diâmetro com 3 pastilhas.

Considerando os itens de consumo, foram utilizados uma fresa de topo em metal duro com 3 arestas de corte e 16mm de diâmetro (Figura 6b) e sete pastilhas de metal duro para a execução dos ensaios.

Além dos itens de consumo, uma morsa e encostos foram utilizados para a fixação da peça na mesa do centro de usinagem e também um paquímetro e relógio comparador.

a) *Presetter*

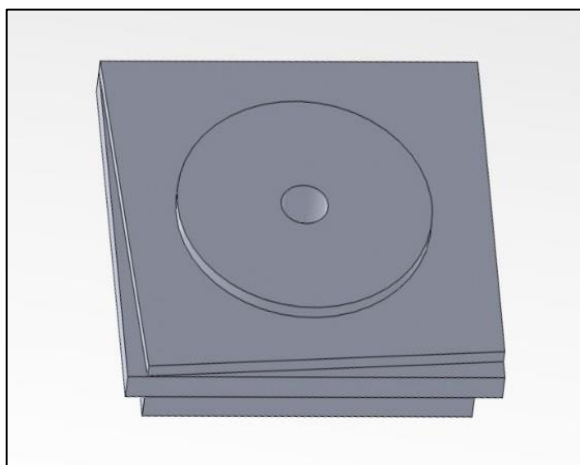
b) Fresa de topo

**Figura 6 - Presetter e fresa de topo****Fonte: o autor (2014)**

Os consumíveis na usinagem, equipamentos, acessórios e toda estrutura, exceto os blocos de aço, foram gentilmente cedidos pelo Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus Jaraguá do Sul - Geraldo Werninghaus.

### 3.1 Geometria da Peça a Ser Ensiada

Para realizar o ensaio geométrico, a geometria da peça utilizada foi adaptada (Anexo A) da norma ISO 10791-7 (1999) e modelada no software CAD que pode ser vista na Figura 7



**Figura 7 - Modelamento CAD da peça**  
**Fonte: o autor (2014)**

### 3.2 Usinagem dos Corpos de Prova

Para atingir os objetivos, foram desenvolvidos três corpos de prova, usinados com sobre metal de 0,2 mm, de acordo a norma 10791-7 (1999), a fim de satisfazer a condição de acabamento, exceto a face inferior da peça.

Para a usinagem das peças, foram realizadas três operações: faceamento, desbaste e acabamento, sendo utilizadas três ferramentas. O faceamento foi realizado utilizando um cabeçote de diâmetro 50 mm com quatro pastilhas intercambiáveis de metal duro. Para o desbaste, foi utilizado o cabeçote de diâmetro 25 mm com três pastilhas de metal duro.

Já para o acabamento, foi utilizada uma fresa de topo com diâmetro de 16 mm de metal duro, com três arestas de corte.

Para a realização do ensaio geométrico, foram definidos os parâmetros de usinagem com base no diâmetro das ferramentas, aço utilizado, além do conhecimento prévio, conforme a Tabela 2.

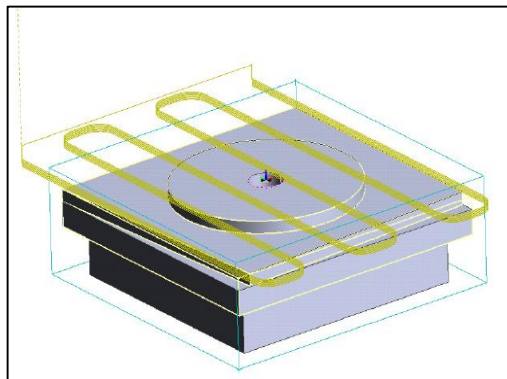
**Tabela 2 - Parâmetros de corte do estudo**

Parâmetros	Operação		
	Faceamento	Desbaste	Acabamento
Rotações por minuto	600	1200	1800
Avanço [mm/min]	500	720	320
Velocidade de corte[m/min]	95	95	90
Profundidade de corte [mm]	1	0,5	0,2
Largura de corte [mm]	50	25	16
Sobremetal (mm)	1	0,2	0,0
TolerânciaCAM (mm)	0,1	0,1	0,1
Estratégias de Usinagem	Otimizada Zig-zag	Otimizada Zig-zag	Otimizada Zig-zag
Sentido de Corte	Concordante	Concordante	Concordante
Ferramenta	Cabeçote $\varnothing$ 50mm	Cabeçote $\varnothing$ 25mm	Fresa de acabamento $\varnothing$ 16mm

**Fonte: o autor (2014)**

Para a execução do experimento, elaborou-se um estudo preliminar através da simulação no software CAM, a fim de simular as estratégias de usinagem e detectar algum problema na execução definitiva como, por exemplo, uma possível colisão.

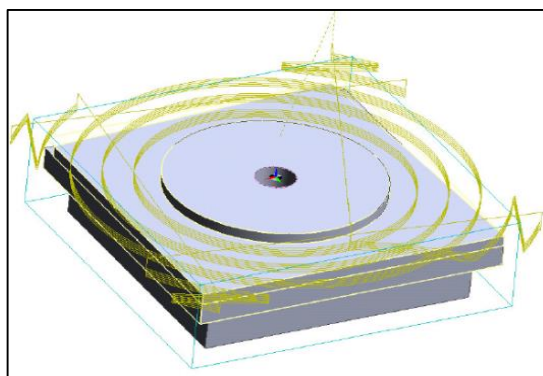
Para o faceamento da parte superior com o cabeçote de diâmetro 50 mm, foi adotada a estratégia otimizada em zig-zag, conforme a Figura 8.



**Figura 8 - Estratégia de faceamento.**

**Fonte: o autor (2014)**

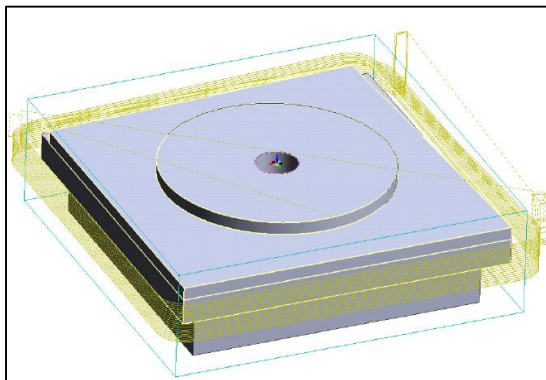
Na região circular, a estratégia de usinagem foi a mesma para o desbaste e acabamento, concordante e otimizado. O desbaste foi realizado com cabeçote de diâmetro de 25 mm, com sobremetal de 0,02 mm, acabamento com fresa de topo de metal duro com três arestas de corte e diâmetro de 16 mm. A Figura 9 ilustra a estratégia de usinagem da região circular.



**Figura 9- Estratégia de usinagem para a região circular.**

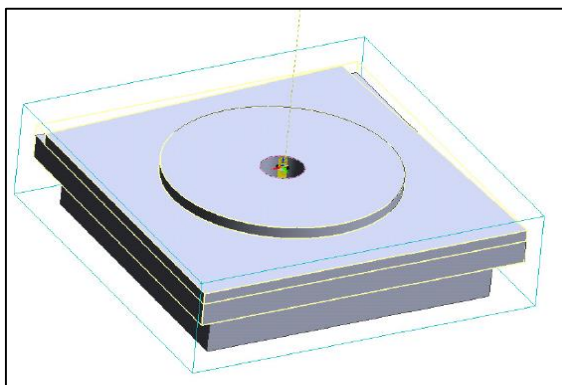
**Fonte: o autor (2014)**

A região periférica da parte superior foi desbastada com um cabeçote de 25 mm, com sobremetal de 0,02 mm e acabamento com a fresa de topo de 16 mm de diâmetro, utilizando-se o sentido de corte concordante. A Figura 10 demonstra a simulação realizada para esta região.



**Figura 10- Estratégia de fresamento para região de inclinação**  
**Fonte: o autor (2014)**

O furo central foi realizado com a fresa de topo de 16 mm de diâmetro e interpolação circular, que fornece um modelo matemático mais simples. A Figura 11 ilustra a simulação da furação central.



**Figura 11- Simulação do furo central.**  
**Fonte: o autor (2014)**

### 3.3 Método de Inspeção

A medição dos desvios geométricos na peça usinada foi realizada por meio da máquina de medir por coordenadas da marca Tesa Micro-Hite 3D, ilustrada na Figura 12.

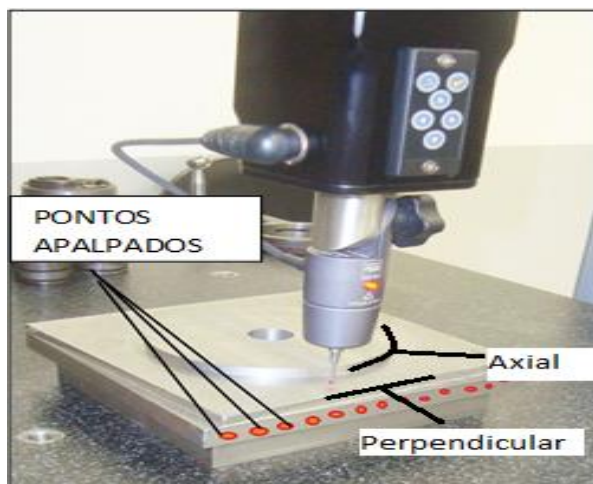


**Figura 12- Máquina de medir por coordenadas**

**Fonte: o autor (2014)**

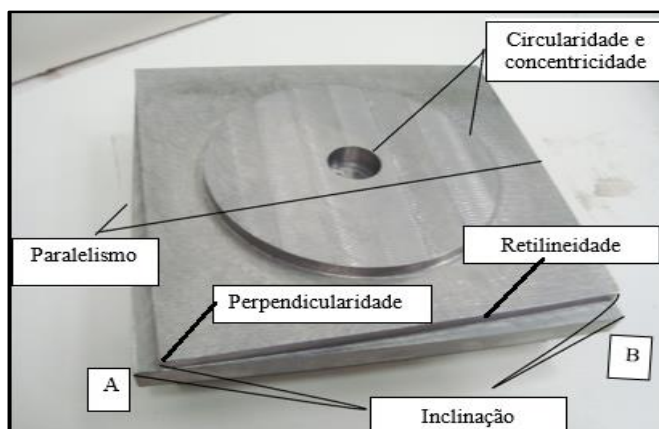
Na medição dos erros geométricos na peça usinada, o valor obtido no geral é um campo de tolerância a uma distância “ $t$ ”, conforme a norma ISO 6409 (1997). Seguiu-se a indicação da norma ISO 10791-7 (1999) para a quantidade mínima de pontos a serem apalpados, sendo o mínimo 10 pontos e executados 15 pontos para retilíneidade, perpendicularidade e paralelismo; mínimo de 15 pontos para circularidade e concentricidade, sendo executados 20 pontos.

O modo de aproximação do apalpador até a região medida foi realizada com aproximação de 2 mm até a região a ser apalpada. Posteriormente foi realizado o toque perpendicular nas regiões retilíneas e toque axial para regiões circulares. A Figura 13 exemplifica os pontos de contato do apalpador.



**Figura 13- Esquema de medição.**  
**Fonte: o autor (2014)**

As regiões medidas foram definidas diante da adaptação do modelo de peça (Anexo A) da norma ISO 10791-7 (1999), dos recursos disponíveis e objetivos propostos. São elas a circularidade do furo central, circularidade externa e concentricidade entre ambos. Retilneidade, paralelismo e perpendicularidade entre faces são exibidos na Figura 14.



**Figura 14- Regiões medidas.**  
**Fonte: o autor (2014)**



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A imagem das peças usinadas para o ensaio geométrico é mostrada na Figura 15.



**Figura 15 - Peças usinadas para o ensaio.**

**Fonte: o autor (2014)**

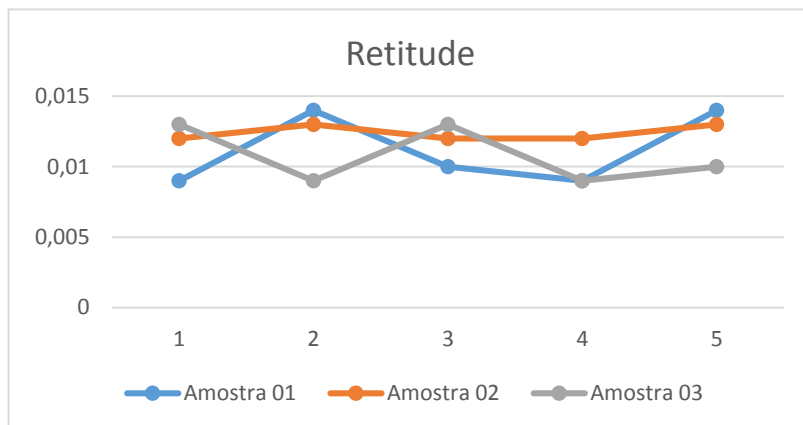
Após a conclusão da usinagem, as peças foram submetidas à medição para obtenção dos resultados. A Tabela 3 apresenta o resultado das medições realizadas nas regiões de orientação retilínea das peças.

**Tabela 3 - Resultado das medições de retitude da peça**

	Retitude (mm)					Média (mm)	Desvio Padrão (mm)
	1	2	3	4	5		
<b>Amostra 01</b>	0,009	0,014	0,01	0,009	0,014	<b>0,0112</b>	0,0025
<b>Amostra 02</b>	0,012	0,013	0,012	0,012	0,013	<b>0,0124</b>	0,0005
<b>Amostra 03</b>	0,013	0,009	0,013	0,009	0,01	<b>0,0108</b>	0,0020

**Fonte: o autor (2014)**

A Figura 16 apresenta o gráfico dos desvios de retitude das medições entre as 3 amostras medidas.



**Figura 16- Gráfico do desvio de retitude.**

**Fonte: o autor (2014)**

Para os desvios de retitude, os resultados mostram uma faixa de tolerância que oscila entre 0,009 e 0,014 mm.

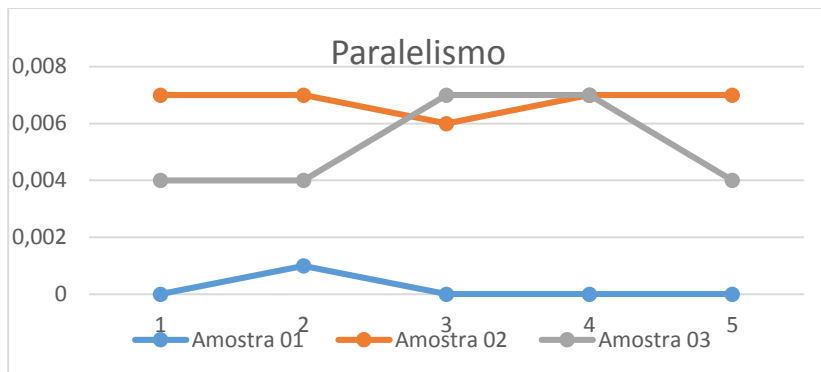
A Tabela 4 apresenta o resultado das medições realizadas para o desvio de paralelismo.

**Tabela 4- Resultado das medições de paralelismo**

	Paralelismo (mm)					Média (mm)	Desvio Padrão (mm)
	1	2	3	4	5		
<b>Amostra 01</b>	0	0,001	0	0	0	<b>0,0002</b>	0,0004
<b>Amostra 02</b>	0,007	0,007	0,006	0,007	0,007	<b>0,0068</b>	0,0004
<b>Amostra 03</b>	0,004	0,004	0,007	0,007	0,004	<b>0,0052</b>	0,0016

**Fonte: o autor (2014)**

A Figura 17 apresenta o gráfico dos desvios de paralelismo das medições entre as 3 amostras medidas.



**Figura 17- Gráfico do desvio de paralelismo.**  
**Fonte: o autor (2014)**

Os desvios de paralelismo apresentam faixa de tolerância entre 0 e 0,007mm.

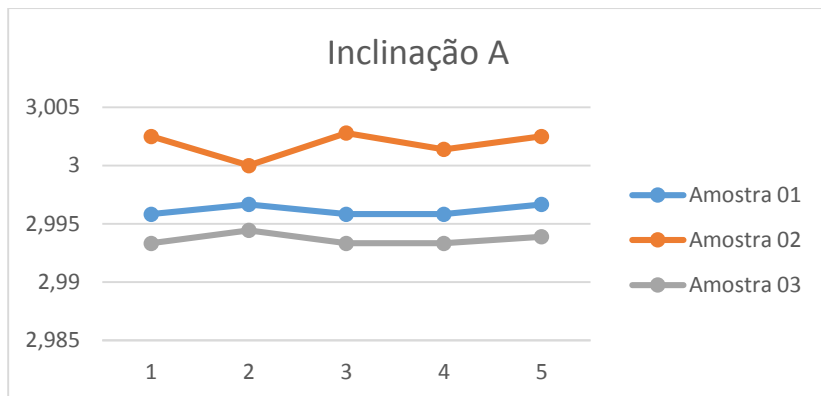
A Tabela 5 apresenta o resultado das medições realizadas para o desvio da inclinação A.

**Tabela 5- Resultado das medições da inclinação A**

	Medição da inclinação A (Graus)					Média (Graus)	Desvio Padrão (Graus)
	1	2	3	4	5		
<b>Amostr a 01</b>	2°59' 45"	2°59' 48"	2°59' 45"	2°59' 45"	2°59' 48"	<b>2°59'46"</b>	0°00'2"
<b>Amostr a 02</b>	3°00' 09"	3°00' 00"	3°00' 10"	3°00' 05"	3°00' 09"	<b>3°00'6"</b>	0°00'4"
<b>Amostr a 03</b>	2°59' 36"	2°59' 40"	2°59' 36"	2°59' 36"	2°59' 38"	<b>2°59'37"</b>	0°00'1"

**Fonte: o autor(2014)**

A Figura 18 apresenta o gráfico obtido referente aos desvios de inclinação A das medições entre as 3 amostras.



**Figura 18 - Gráfico do desvio de inclinação A.**  
Fonte: o autor (2014)

Para o desvio de inclinação denominada A os resultados apresentaram tolerância entre  $2^{\circ}.59'36''$  e  $3^{\circ}00'10''$ .

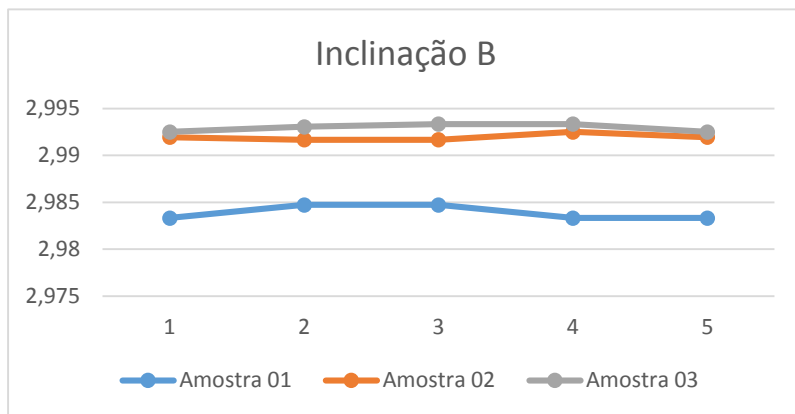
A Tabela 6 apresenta o resultado das medições realizadas para o desvio da inclinação B.

**Tabela 6- Resultado das medições da inclinação B**

	Medição da inclinação B (Graus)					Média (Graus)	Desvio Padrão (Graus)
	1	2	3	4	5		
<b>Amostr a 01</b>	2°59'00"	2°59'05"	2°59'05"	2°59'00"	2°59'00"	<b>2°59'2"</b>	0°00'2"
<b>Amostr a 02</b>	2°59'31"	2°59'30"	2°59'30"	2°59'33"	2°59'31"	<b>2°59'3"</b>	0°00'1"
<b>Amostr a 03</b>	2°59'33"	2°59'35"	2°59'36"	2°59'36"	2°59'33"	<b>2°59'3"</b>	0°00'1"

Fonte: o autor (2014)

A Figura 19 apresenta o gráfico obtido referente aos desvios de inclinação B das medições entre as 3 amostras.



**Figura 19 - Gráfico dos desvios de inclinação B**  
Fonte: o autor (2014)

A inclinação B apresentou resultados entre  $2.59^{\circ}00''$  e  $2^{\circ}59'36''$ . Da mesma maneira, houve pouca variação entre as peças usinadas.

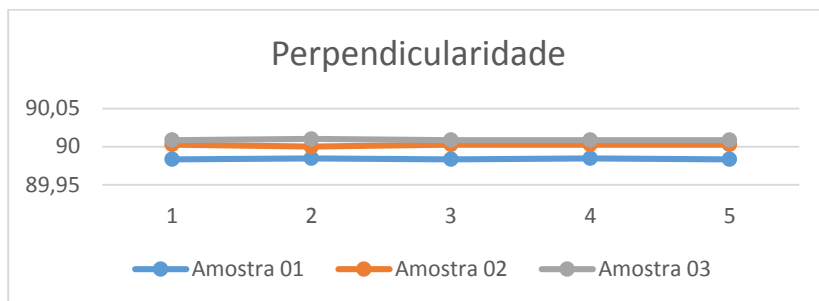
A Tabela 7 apresenta o resultado das medições realizadas para o desvio da perpendicularidade.

**Tabela 7- Resultado das medições de perpendicularidade**

	Medição da perpendicularidade (mm)					Média (mm)	Desvio Padrão
	1	2	3	4	5		
<b>Amostr a 01</b>	89°59'0 0"	89°59'0 5"	89°59'0 0"	89°59'0 5"	89°59'0 0"	89°59'2"	0°00'2"
<b>Amostr a 02</b>	90°00' 10"	90°00' 00"	90°00' 10"	90°00'1 0"	90°00' 10"	90°00'7"	0°00'4"
<b>Amostr a 03</b>	90°00'3 1"	90°00'3 6"	90°00'3 1"	90°00'3 1"	90°00'3 1"	90°00'32"	0°00'2"

Fonte: o autor (2014)

A Figura 20 apresenta o gráfico dos desvios obtidos para perpendicularidade nas medições entre as 3 amostras.



**Figura 20- Gráfico dos desvios de perpendicularidade.**  
**Fonte: o autor (2014)**

Com base nos resultados apresentados, foi possível observar que não houve resultados discrepantes referentes à retitude, paralelismo, inclinação e perpendicularidade. Conclui-se que são completamente aceitáveis, e conforme Sousa (2000), está correto atribuir a causa desses desvios geométricos a erros na fabricação das guias e montagem dos fusos, corresponsáveis pela movimentação da mesa do centro de usinagem. Isso não se aplica neste estudo, pois o centro de usinagem do ensaio apresenta menos de cinco anos de uso.

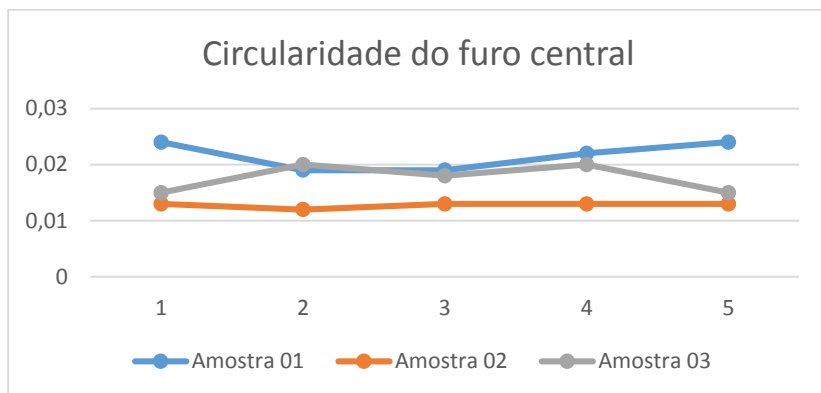
A Tabela 8 apresenta o resultado das medições realizadas para o desvio de circularidade do furo central.

**Tabela 8 - Resultado da medição para o desvio de circularidade do furo central**

	Circularidade do furo central (mm)					Média (mm)	Desvio Padrão (mm)
	1	2	3	4	5		
<b>Amostra 01</b>	0,024	0,019	0,019	0,022	0,024	0,0216	0,002
<b>Amostra 02</b>	0,013	0,012	0,013	0,013	0,013	0,0128	0,0004
<b>Amostra 03</b>	0,015	0,02	0,018	0,02	0,015	0,0176	0,002

**Fonte: o autor (2014)**

A Figura 21 apresenta o gráfico dos resultados obtidos para os desvios de circularidade do furo central nas medições realizadas para as 3 amostras.



**Figura 21 - Gráfico dos desvios de circularidade do furo central.**  
**Fonte: o autor (2014)**

Os resultados dos desvios geométricos de circularidade do furo apresentaram uma faixa de tolerância das três peças entre 0,013 e 0,024 milímetros.

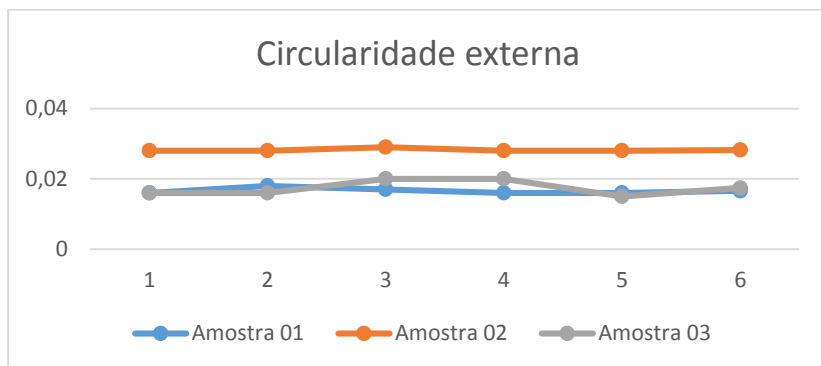
A Tabela 9 apresenta o resultado das medições realizadas para o desvio de circularidade externa.

**Tabela 9 - Resultado das medições para a circularidade externa**

	Circularidade externa (mm)					Média (mm)	Desvio Padrão (mm)
	1	2	3	4	5		
<b>Amostra 01</b>	0,016	0,018	0,017	0,016	0,016	0,0166	0,0008
<b>Amostra 02</b>	0,028	0,028	0,029	0,028	0,028	0,028	0,0004
<b>Amostra 03</b>	0,016	0,016	0,02	0,02	0,015	0,0174	0,002

**Fonte: o autor (2014)**

A Figura 22 apresenta o gráfico dos desvios de circularidade externa das medições entre as 3 amostras.



**Figura 22 - Gráfico dos desvios de circularidade externa**  
**Fonte: o autor (2014)**

A circularidade denominada externa: obteve o resultado com a faixa de tolerância entre 0,015 e 0,028 milímetros.

A Tabela 10 apresenta o resultado das medições realizadas para o desvio de concentricidade.

**Tabela 10 - Resultado das medições para a concentricidade**

	Concentricidade (mm)					Média (mm)	Desvio Padrão (mm)
	1	2	3	4	5		
<b>Amostra 01</b>	0,015	0,015	0,016	0,015	0,015	0,015	0,0004
<b>Amostra 02</b>	0,015	0,016	0,015	0,015	0,015	0,015	0,0004
<b>Amostra 03</b>	0,032	0,031	0,03	0,032	0,032	0,031	0,0008

**Fonte: o autor (2014)**

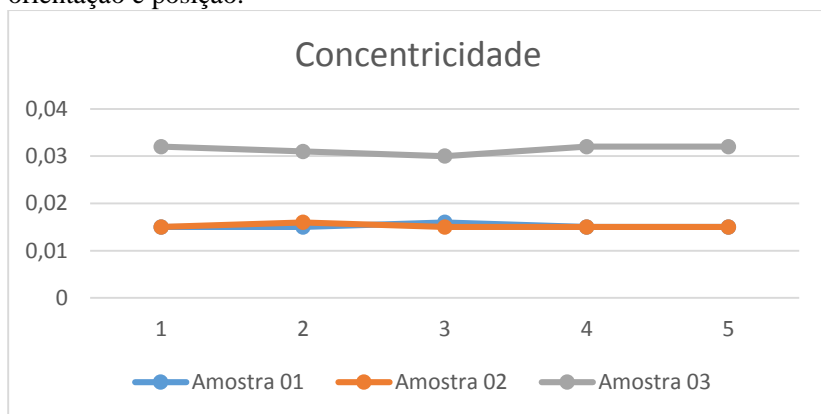
A Figura 23 apresenta os dados obtidos referentes aos desvios de concentricidade das medições entre as 3 amostras.

Para o desvio de posição em concentricidade, o resultado apresentou tolerância entre 0,015 e 0,032 milímetros.

Para os efeitos causados pelos esforços do processo de usinagem, é possível afirmar que estes não impactaram nos resultados e compartilhar da afirmação de Valentina (2007) que atribui à interferência dos esforços do processo de usinagem apenas a microgeometria da peça, não refletindo



influência significativa sobre os desvios macrométricos de forma, orientação e posição.



**Figura 23- Gráfico dos desvios de concentricidade.**

**Fonte: o autor (2014)**

Portanto, através da aplicação do ensaio geométrico através do método da peça usinada, foi possível conhecer a exatidão de corte da máquina e, a partir da necessidade da aplicação em elementos mecânicos como, por exemplo, alguns tipos de acoplamentos, é possível selecioná-la de acordo com a sua capacidade de precisão.

Entende-se que a correta seleção da máquina de acordo com a sua capacidade de precisão, evitando a usinagem por tentativa e erro, é a maneira que melhor contribui para a melhoria da qualidade de peças usinadas. Assim, é possível responder a pergunta de pesquisa proposta.

## 5 CONCLUSÃO

A partir da aplicação do ensaio geométrico através da peça usinada é possível monitorar o processo de usinagem em relação à precisão geométrica. Já a partir de relatórios de ensaio, é possível corrigir os desvios sistemáticos das máquinas-ferramenta através do equacionamento desses desvios para obtenção de um fator de correção, antes que produza peças fora da especificação.

Entendeu-se com esse estudo que o monitoramento é a melhor forma para prever e otimizar o processo de fresamento em um centro de usinagem.

Conclui-se que a aplicação do ensaio geométrico através do método da peça usinada é viável, pois fornece uma visão geral sobre a exatidão de corte da máquina-ferramenta com custo 80% menor em relação ao método que utiliza o laser de alinhamento e outros equipamentos.

Portanto, foi cumprido o objetivo geral deste trabalho que visa aplicar um método de ensaio geométrico, e alcançados os objetivos específicos de usinar uma peça adaptada, medir os desvios geométricos com o auxílio de uma máquina de medir por coordenadas e verificar a viabilidade de aplicar o método de ensaio geométrico.

Com base na conclusão, experiência adquirida e pesquisa realizada, sugerem-se propostas para trabalhos futuros:

- a) realizar ensaios geométricos em peças com geometria complexas. (por exemplo: moldes e matrizes);
- b) coletar dados e aplicar correções via CNC da máquina;
- c) investigar os erros geométricos do fresamento em peças com grande comprimento, diâmetro maior ou furo profundo;
- d) estudar a ferramenta *spline* do software CAD e aplicá-la para exatidão geométrica na fase de modelamento 3D.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10791: CONDIÇÕES DE ENSAIO PARA CENTROS DE USINAGEM**. Rio de Janeiro: [s.n.], 1999.

\_\_\_\_\_. **NBR 10791-7: CONDIÇÕES DE ENSAIO PARA CENTROS DE USINAGEM** - Exatidão da peça-teste acabada Rio de Janeiro: [s.n.], 1999.

\_\_\_\_\_. **NBR 230-1: CÓDIGO DE ENSAIO DE MÁQUINAS-FERRAMENTA** - Exatidão geométrica de máquinas-ferramenta operando sem carga ou em condições de acabamento Rio de Janeiro: [s.n.], 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 6409: TOLERÂNCIAS GEOMÉTRICAS** - Tolerâncias de forma, orientação, posição, batimento - Generalidades, Símbolos, definições e indicação em desenho. Rio de Janeiro: [s.n.], 1997.

AGOSTINHO, Oswaldo Luiz; RODRIGUES, Antônio Carlos dos Santos; LIRANI, João. **PRINCÍPIOS DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO MECÂNICA: Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões**. 10. ed. São Paulo: Bluscher, 2009. 295 p.

AGUIAR, Marcelo Mendes de. **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE CORTE SOBRE O FRESAMENTO EM ACABAMENTO DE AÇOS ENDURECIDOS**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Mecânica, 2012. 143 p.

ALBERTAZZI, Armando; SOUSA, André R. de. **FUNDAMENTOS DE METROLOGIA CIENTÍFICA E INDUSTRIAL**. Barueri: Manole, 2008. 407 p.

ALMEIDA, Deborah; MACHADO, Álisson. **INVESTIGAÇÃO DE DESVIOS GEOMÉTRICOS NO ALARGAMENTO DO FERRO FUNDIDO CINZENTO**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2006. 10 p.

FERREIRA, Alexandre Marcos. **ESTUDO DOS ERROS DE FORMA NO FRESAMENTO DE GEOMETRIAS COMPLEXAS**. Joinville: Instituto Superior Tupy, 2013. 109 p

RESOLUÇÃO CEPE/IFSC N°0119 – **NORMAS TRABALHOS ACADÊMICOS** Florianópolis: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, 2011.

RUBIO, Juan Carlos Campos *et al.* **PROJETO ORIENTADO PARA MANUFATURA: Compensação dos Desvios Geométricos de Máquinas-Ferramenta Por Meio do Seu Produto Acabado**. Caxias do Sul – RS: 6° Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2011. 10 p.

SCHNEIDER, Meir. **UM MÉTODO INDIRETO PARA VERIFICAR E MELHORAR A PRECISÃO DA MÁQUINA-FERRAMENTA: Laser, Metrologia e Máquina de Desempenho**. São Paulo-SP: Congresso de Usinagem, 1999. 12 p.

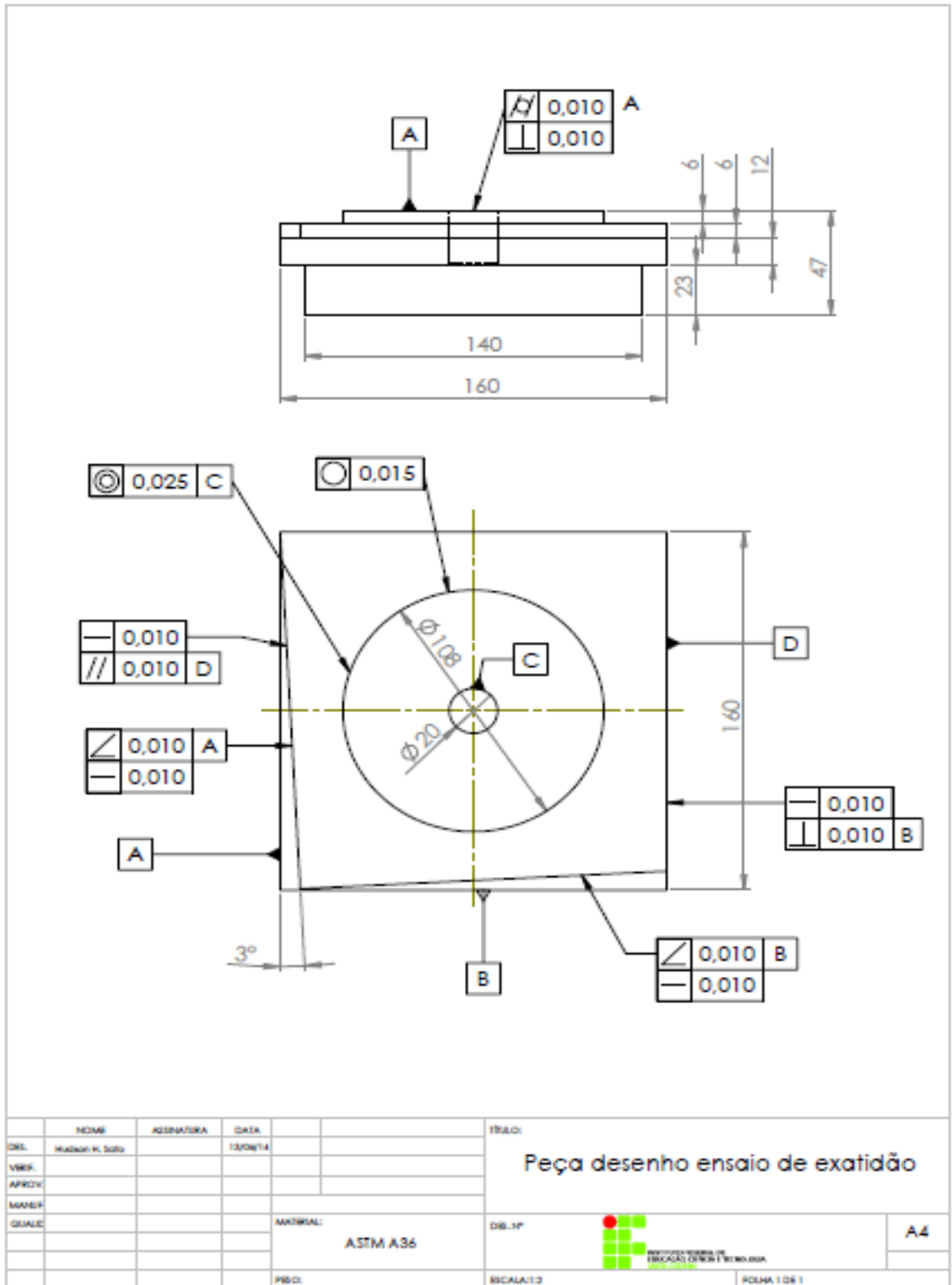
SOUSA, André Roberto de. **PADRÕES CORPORIFICADOS E A TECNOLOGIA DE MEDIÇÃO POR COORDENADAS INOVANDO A QUALIFICAÇÃO GEOMÉTRICA DE CENTROS DE USINAGEM**. Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para Obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Mecânica, 2000.

SOUZA, Adriano Fagali de; ULBRICH, Cristiane Brasil Lima. **ENGENHARIA INTEGRADA POR COMPUTADORES E SISTEMAS CAD/CAM/CNC: Princípios e aplicações**. São Paulo: Artliber, 2009. 333 p.

VALENTINA, Luiz D. **ENSAIOS GEOMÉTRICOS EM MÁQUINAS-FERRAMENTA COM LASER DE ALINHAMENTO**. Dissertação de Mestrado, UFSC, 2007. 14 p

WITTE, Horst. **MÁQUINAS FERRAMENTA: Elementos básicos de máquinas e técnicas de construção**. 7. ed. São Paulo:Hemus,1998.389 p

APÊNDICE A – Desenho técnico da peça adaptada da norma ISO 10791-7



Fonte: O AUTOR (2014)

**APÊNDICE B – Programa parcial do fresamento CNC**

%  
O0000  
(-IFSC - INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA-)  
(-ALUNO: HUDSON-)  
(-NOME DO PROGRAMA: Hudson fresamento-)  
(-DATA: 30/05/14-)  
N5 G17 G21 G40 G90 G94  
N10 G53 G0 Z-109 H0 G49 M9 M5  
N15 G05.1 Q0  
N20 T7 (-50.0 MM DIA X 45 DEGREE FACE MILL-)  
N25 M6  
N30 G05.1 Q1 R1  
N35 G90 G54 S600 M3  
N40 G0 X-88.333 Y105  
N45 G43 Z10 H7  
N50 Z8.5 M8  
N55 G94 G1 Z3.5 F1000  
N60 Y95 F500  
N65 Y-95  
N70 Y-105  
N75 G3 X-77.083 Y-116.25 I11.25 J0  
N80 G1 X-67.917  
N85 G3 X-56.667 Y-105 I0 J11.25  
N90 G1 Y-95  
N95 Y95  
N100 Y105  
N105 G2 X-45.417 Y116.25 I11.25 J0  
N110 G1 X-36.25  
N115 G2 X-25 Y105 I0 J-11.25  
N120 G1 Y95  
N125 Y-95  
N130 Y-105  
N135 G3 X-13.75 Y-116.25 I11.25 J0  
N140 G1 X-4.583

