



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

EDGAR PEREIRA DOS SANTOS

CAD/CAM/USINAGEM CNC INTEGRADO A ENGENHARIA REVERSA

Ilha Solteira
2017

EDGAR PEREIRA DOS SANTOS

CAD/CAM/USINAGEM CNC INTEGRADO A ENGENHARIA REVERSA

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia –UNESP
- Campus de Ilha Solteira, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica. Área
de Conhecimento: Materiais e Processos de Fabricação.

Ruis Camargo Tokimatsu
Orientador

Ilha Solteira
2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S237c Santos, Edgar Pereira dos.
Cad/cam/usinagem CNC integrado a engenharia reversa / Edgar Pereira dos Santos. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2017
54 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. Área de conhecimento: Materiais e Processos de Fabricação, 2017

Orientador: Ruis Camargo Tokimatsu
Co-orientador: Wyser José Yamakami
Inclui bibliografia

1. Engenharia reversa. 2. Digitalização 3D. 3. Softwares cad e cam.
4. Usinagem.

CRB8 4740

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CAD/CAM/Usinagem CNC integrado a Engenharia Reversa

AUTOR: EDGAR PEREIRA DOS SANTOS

ORIENTADOR: RUIS CAMARGO TOKIMATSU

COORDENADOR: WYSER JOSE YAMAKAMI

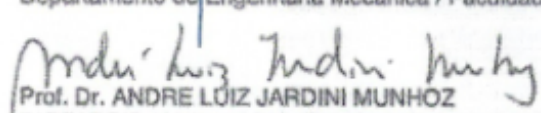
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ENGENHARIA MECÂNICA, área: CIÊNCIAS TÉRMICAS pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. RUIS CAMARGO TOKIMATSU

Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. MIGUEL ANGELO MENEZES

Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. ANDRE LUIZ JARDINI MUNHOZ

BIOFABRIS / Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Ilha Solteira, 30 de agosto de 2017

Dedico este trabalho à minha esposa, que tem me acompanhado durante anos, sempre me apoiando e incentivando, a meus familiares, a meus falecidos pais, e a Deus pela saúde e conhecimento que possibilitou a realização deste trabalho, e por estar presente em todos os momentos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Dr. Ruis Camargo Tokimatsu, e ao professor Dr. Wyser José Yamakami, respectivamente orientador e co-orientador deste trabalho, pelas instruções e pelos incentivos.

Aos professores da Faculdade Unirv que me auxiliaram nas pesquisas. Aos professores Marcelo Augusto Rozan dos Santos, Fabian Corrêa Cardoso e Daniela Cabral de Oliveira pelo apoio.

À Universidade de Rio Verde – UNIRV, na pessoa do Magnífico Reitor, Prof. Dr. Sebastião Lázaro Pereira pelo apoio a mim oferecido para a conclusão do curso.

Aos professores da FEIS – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira que não mediram esforços para o compartilhamento de suas sabedorias que muito contribuíram para que eu obtivesse o conhecimento necessário para a realização desse trabalho.

"Deve aprender a compreender as motivações dos homens, suas quimeras e suas angústias, para determinar com exatidão seu lugar exato em relação a seus próximos e à comunidade". ALBERT EINSTEIN.

RESUMO

A sociedade sempre busca inovações como facilitadores de processos para o alcance de objetivos propostos em distintas áreas, utilizando instrumentos, métodos e técnicas diversas. Dentre estas encontra-se a Engenharia Reversa (ER), que é o processo de engenharia afim de se obter um produto ou objeto a partir de um modelo original. Nos últimos anos, com a rápida evolução tecnológica, envolvendo máquinas, ferramentas e softwares, a ER passou a ser um recurso utilizado até mesmo por pequenas e médias empresas. O propósito desta pesquisa é avaliar o desempenho da aplicação de recursos de engenharia, tais como hardwares e softwares de baixo custo ou de uso livre, sobre a ER a fim de obter-se uma peça usinada em uma máquina CNC o mais fiel possível ao modelo físico original. Para isso foram aplicados os conceitos, os processos e recursos necessários nas etapas de reconstrução de um modelo físico, desde a digitalização 3D, utilizando scanners tridimensionais, o tratamento do objeto capturado, a reconstrução do modelo no software CAD até a geração do código G, por meio de softwares CAM, a ser enviado a uma máquina CNC para realização da usinagem e obtenção da peça modelo. Foi utilizado o scanner 3d manual Ciclop, cuja digitalização resultou em dimensões muitas próximas ao objeto original. Também foram utilizados os softwares Meshlab para tratamento do modelo digitalizado e o AutoCad Fusion 3D para criação do modelo CAD e geração dos processos de usinagem e código G, escolhidos devido a facilidade de uso e por serem softwares livres.

Palavras-chave: Engenharia reversa. CAD. CAM. CNC. Software livre. Open source

ABSTRACT

Society is always looking for innovations as process facilitators for the objectives in different areas, using tools, and various techniques. Among these is the Reverse Engineering (RE), which is the engineering process in order to obtain a product or object from a original model. In recent years, with the rapid technological evolution, involving machines, tools and software, ER has become a resource used until even by small and medium-sized enterprises. The purpose of this research is to evaluate the performance of engineering resources, such as hardware and software. low cost or free-use software on the RE in order to obtain a part machined in a CNC machine as faithful as possible to the original physical model. For applied the concepts, processes and resources required in the steps reconstruction of a physical model, since 3D scanning, using scanners dimensionality, the treatment of the captured object, the reconstruction of the model in the CAD software to the generation of the G code, through CAM software, to be sent to a CNC machine to perform the machining and obtain the model part. Was the Ciclop 3d manual scanner, whose many close to the original object. Meshlab softwares were also used for handling the scanned model and AutoCad Fusion 3D for creating the model and generation of the machining processes and G code, chosen due to ease of use and because they are free software.

KeyWords: Reverse engineering. CAD. CAM. CNC. Free software. Open source.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tela do Software VisualSFM	18
Figura 2 - Peça usinada por meio de torneamento	19
Figura 3 - Peça sendo usinada por meio de fresamento	20
Figura 4 - Partes do Scanner 3d Ciclop impressas em impressoras 3D	23
Figura 5 - Componentes do Scanner 3d Ciclop	23
Figura 6 - Scanner 3D Ciclop da BQlabs	24
Figura 7 - Tela do software Meshlab	25
Figura 8 - Tela do Software AutoCad Fusion 360	26
Figura 9 - Tela do software CncFagor	27
Figura 10 - Tela do Software Cnc Simulator	28
Figura 11 - Peça a ser usinada	29
Figura 12 - Resultado de calibragem do Scanner 3DCliclop	30
Figura 13 - Ambiente de captura do scanner 3d Ciclop	31
Figura 14 - Meshlab - Importação de objeto digitalizado	32
Figura 15 - MeshLab - Cálculo de vetores normais	32
Figura 16 - Meshlab - Reconstrução de Faces	33
Figura 17 - Meshlab - Redução do número de faces	34
Figura 18 - Meshlab - Modelo tratado	34
Figura 19 - AutoCad Fusion 360 - Criação de esboço	36
Figura 20 - AutoCAD Fusion 360 - Esboço a partir de STL	36
Figura 21 - AutoCad Fusion 360 - Modelo 3D	37
Figura 22 - AutoCad Fusion 360 - Criação do Programa - SETUP	38
Figura 23 - AutoCAD Fusion 360 - Criação de Ferramenta	39
Figura 24 - AutoCad Fusion 360 - Simulador de processo de usinagem	39
Figura 25 - AutoCad Fusion 360 - Exportação de código para máquina CNC	40
Figura 26 - Peça original e modelo reproduzido utilizando Engenharia Reversa	41
Figura 27 - Meshlab- Falha na criação de faces	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo de dimensões do modelo físico e modelo virtual	35
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Assisted Machined
CNC	Computer Numeric Control
ER	Engenharia Reversa
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
STL	Standard Template Library ou STereoLithography
UNESP	Universidade Estadual Paulista

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVO GERAL	13
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2	REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1	APLICAÇÕES DA ENGENHARIA REVERSA	15
2.2	ETAPAS DA ER COM FOCO NA ENGENHARIA MECÂNICA	16
2.3	DIGITALIZAÇÃO 3D	16
2.4	CENTROS DE USINAGEM	18
2.4.1	Máquinas CNC - comando numérico computadorizado	18
2.4.2	Programação para CNC	20
2.5	SOFTWARES CAM	21
3	MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1	DIGITALIZAÇÃO 3D	22
3.1.1	Softwares para tratamento da digitalização	24
3.2	SOFTWARES CAD	25
3.3	SOFTWARES CAM	26
3.3.1	Simuladores de painéis CNC	26
3.3.2	Simuladores de processos	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1	DIGITALIZAÇÃO 3D	29
4.2	CONVERSÃO DO MODELO	31
4.3	TRATAMENTO DO MODELO NO SOFTWARE CAD	34
4.4	PROCESSO DE USINAGEM	37
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
	REFERÊNCIAS	44
	ANEXO A — PROGRAMAÇÃO GERADA PELO SOFTWARE CAM - 1	46
	ANEXO B — PROGRAMAÇÃO GERADA PELO SOFTWARE CAM - 2	48

1 INTRODUÇÃO

A Engenharia Reversa é o processo de engenharia que busca a obtenção de um produto ou objeto a partir de um modelo original, utilizando-se tecnologias recentes disponíveis em áreas específicas, como mecânica ou engenharia de software. Pode ser utilizado na indústria, na medicina, nas artes ou na tecnologia da informação.

Conforme define Dickin (1996): "A Engenharia Reversa consiste em produzir novas peças, produtos ou ferramentas a partir de modelos ou componentes existentes".

Segundo Raja e Fernandes (2008, p. 18): "No intenso mercado global competitivo, os fabricantes estão constantemente buscando novas formas de encurtar os prazos de entrega para comercializar um novo produto", daí a importância da ER, pela redução de custos e tempo para o desenvolvimento de um novo produto obtendo-se informações de um outro já desenvolvido.

Raja e Fernandes (2008, p. 20), citam alguns aspectos que definem algumas razões para se usar a Engenharia Reversa, dentre elas:

- O fabricante original não existe mais, mas um cliente precisa do produto;
- O fabricante original de um produto já não produz o produto;
- O produto original tornou-se obsoleto;
- A documentação original do produto foi perdida ou nunca existiu;
- Algumas características ruins de um produto precisam ser eliminadas, por exemplo, desgaste excessivo;
- Pode indicar onde um produto deve ser melhorado;
- Fortalecer os bons recursos de um produto com base no uso a longo prazo;
- Analisando as características boas e ruins dos produtos dos concorrentes;
- Explorar novos métodos para melhorar o desempenho e os recursos do produto;
- Criar dados tridimensionais de um modelo ou escultura para animação em jogos e filmes;
- Criar dados tridimensionais de um indivíduo, modelo ou escultura para criar, dimensionar ou reproduzir obras de arte.

Com foco na Engenharia Mecânica, a ER substitui o processo da manufatura convencional, que era realizado, conforme citam Ponticelli e Suski (), de forma manual, onde é necessário medir uma peça e desenhá-la no software CAD:

"Na criação de uma nova peça através de peças obsoletas na manufatura convencional, é necessário fazer a medição total da peça física com instrumentos precisos para especificação do produto. Com estes dados inicia-se o trabalho de desenho da peça em um software de CAD." (PONTICELLI; SUSKI, p. 3).

Segundo a pesquisa de Ponticelli e Suski () , este processo manual produzia quase todos os desenhos mecânicos no mundo a 30 anos atrás, o que ocasionava: "Baixa produtividade, devido a habilidade de cada desenhista; Erros de representação geométrica e erros de cotas que seriam detectados durante a montagem dos equipamentos".

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é aplicar Engenharia Reversa em uma objeto original ("peça modelo"), discutir e realizar as etapas necessárias para reconstrução do material até o processo de usinagem desde a digitalização 3D, tratamento do objeto digitalizado, a definição de correções utilizando softwares CAD e a realização do processo de usinagem em um centro de usinagem (CNC), auxiliado por sistemas CAM.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Considera-se como finalidade , também , para alcançar o objetivo , o entendimento sobre Engenharia Reversa, para isto, buscou-se :

- Compreender os conceitos, etapas e principais aplicações da Engenharia Reversa;
- Conhecer os métodos e ferramentas necessários para a digitalização 3D, abordando suas vantagens e desvantagens e o custo benefício;
- Conhecer os softwares CAD 3D, responsáveis pela modelagem de uma peça;
- Conhecer sobre usinagem, desde o conceito , os processos , os tipos, as ferramentas, a evolução das máquinas, a geração do códigos enviados para as máquinas(g-code);
- Conhecer os softwares CAM , sejam eles simuladores de painéis ou simuladores de processos, e como eles geram o códigos para serem enviados para as máquinas;
- Utilizar ferramentas e métodos, afim de se comparar os procedimentos e o desempenho dessas estratégias como a rapidez, precisão.
- Utilizar recursos de hardware e software de baixo custo ou livre para uso.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 2 é apresentado o estudo sobre Engenharia Reversa, o conceito , as etapas e as aplicações. Subdivide-se o capítulo com o propósito de demonstrar , separadamente, em cada etapa, hardwares e softwares necessários ou recomendados para a execução do processo.

No capítulo 3 serão apresentados os processos e os softwares e outros recursos necessários para a concretização do trabalho. Serão demonstrados os passos necessários e as ferramentas (hardware e software) para a realização, desde os métodos e recursos para digitalização, tratamento do modelo digitalizado , importação nos sistemas CAD e a metodologia para reconstrução utilizando a tecnologia CAM.

Ainda discute-se sobre resultado da pesquisa e da Engenharia Reversa no capítulo 4, e apresenta-se análise dos materiais e métodos utilizados.

No capítulo 5 são apresentadas as considerações finais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Pode se definir Engenharia Reversa como a tecnologia utilizada para analisar um dispositivo ou sistema existente, e os recursos necessários para redesenhar e duplicar estes componentes, sem o auxílio de desenhos ou documentação, afim de se obter um produto reconstruído a partir de um modelo original. Consiste em duplicar uma peça, sub-montagem ou produto existente. É utilizado para reproduzir um componente, um artefato, um programa de computador, aparelhos, ou mesmo um componente com o intuito de construir outro com as mesmas características do original, utilizando-se para isto métodos e ferramentas necessárias para a análise e reconstituição. A ideia é reduzir o tempo do ciclo de desenvolvimento de um produto, pois o mesmo pode ser construído com as mesmas características de um produto já existente.

Bartz, Staudt e Souza (2005) definem Engenharia Reversa como "uma engenharia ao inverso, que corresponde à desmontagem e análise de produtos, identificando os componentes e materiais que o compõe, com o objetivo de conhecer suas funções e o processo utilizado em sua fabricação."

Segundo Júnior e Carvalho (2006), "A Engenharia Reversa surgiu da necessidade de substituir ou modificar um produto já existente, cujas informações sobre seu desenvolvimento e fabricação são desconhecidas, por outro produto com as mesmas características. ".

Conforme a definição de Mury (2000) : "Apesar de possuir algumas etapas semelhantes, a ER difere do processo tradicional de desenvolvimento de produtos por utilizar como ponto de partida um produto já concebido. No método tradicional, o processo de desenvolvimento inicia-se com a concepção de uma nova ideia.", enquanto que "em um processo de ER, o ponto de partida está em produtos já existentes e não em idéias concebidas."

2.1 APLICAÇÕES DA ENGENHARIA REVERSA

Os processos e as tecnologias utilizadas na Engenharia Reversa estão em constante desenvolvimento, e são utilizadas em diversas áreas, como na engenharia elétrica, mecânica, física, medicina, informática e outras.

Na indústria, a ER pode ser usada para criar novos produtos, copiar ou melhorar modelos existentes, corrigir algum produto danificado (reconstrução) ou mesmo somente para inspecioná-los.

Seguem-se algumas das razões para usar engenharia reversa:

- O fabricante original não existe mais, mas um cliente precisa do produto.
- O fabricante original de um produto não produz mais o produto ou o produto original tornou-se obsoleto.
- A documentação de projeto original do produto foi perdida ou nunca existiu.
- Criar dados para renovar ou fabricar uma peça , para os quais os dados se tornaram obsoletos ou perdidos.
- Algumas características negativas de um produto precisam ser eliminadas.
- Reforçar as boas características de um produto.
- Analisar as boas e más características dos produtos dos concorrentes.
- Explorar novos caminhos para melhorar o desempenho e os recursos do produto.
- Criar dados em 3D de um modelo ou escultura para animação em jogos e filmes.
- Criar dados 3D de um indivíduo, modelo ou escultura para criar, dimensionar ou reproduzir obras de arte existentes.

2.2 ETAPAS DA ER COM FOCO NA ENGENHARIA MECÂNICA

Com foco na Engenharia Mecânica inicia-se a partir da obtenção dos dados do objeto a partir do modelo original, para isto são utilizados métodos e ferramentas específicas para este objetivo, como a técnica de digitalização, que se dá pela preparação da peça a ser digitalizada e a captura de informações que descrevem todas as suas características geométricas, obtidos pelos scanners tridimensionais.

Após a aquisição dos dados, faz-se necessário seu tratamento utilizando-se softwares especializados em reconstruir o modelo digitalizado para um modelo virtual sólido, com formatos STL -Standard Template Library ou STereoLithography.

A partir daí o modelo estará pronto para ser importado pelo software CAD, que o utilizará como base para a criação do esboço 2D , e posteriormente convertido para 3D.

Com a estrutura em 3D definidas será possível então, a partir dele, a utilização de softwares CAM para a definição dos processos de usinagem e a exportação da programação para máquinas presentes nos centros de usinagem onde então a peça será reconstruída com as mesmas características do modelo original.

2.3 DIGITALIZAÇÃO 3D

Diferentemente da digitalização 2D que grava a partir de uma imagem ou objeto colocado sobre o vidro, como texto, imagens em tons de cinza ou fotografias coloridas, os scanners 3D adquirem informações de posição a partir da superfície de um objeto a ser reconstruído, se dá pela varredura de posições da superfície de um objeto, denominados “nuvens de pontos”, por algum dispositivo de captura de dados (digitalizadores).

O objetivo é gerar novos produtos de forma mais rápida e econômica. Trata-se de uma tecnologia em que o processo não exige contato físico com a peça a ser digitalizada. O equipamento emite um feixe de laser sobre a superfície desejada cuja reflexão é registrada fornecendo detalhes sobre a geometria da peça a ser reproduzida, sendo recomendável quando não se é possível medir um objeto utilizando métodos convencionais.

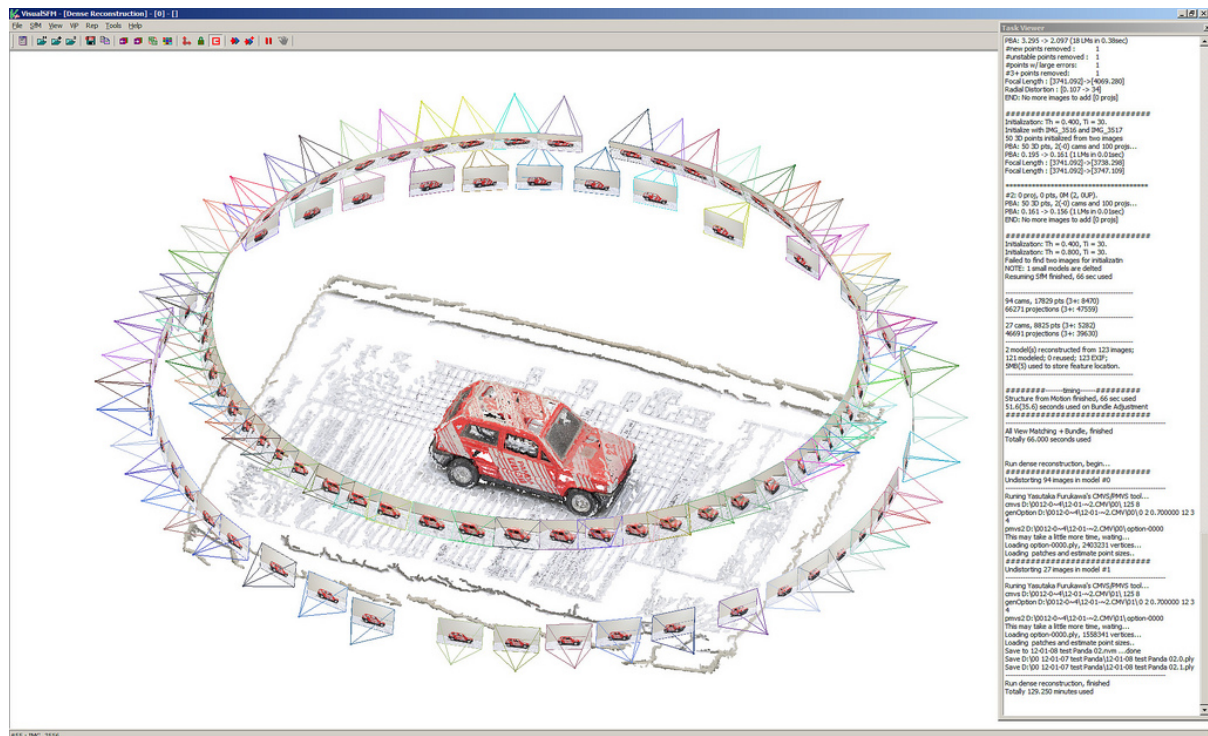
Conforme define Brasil Lima (2003, p. 39) : "O conceito de digitalização abrange principalmente o aspecto de capturar informações com base em pontos em um espaço 3D".

A digitalização pode ser feita por equipamentos profissionais como os Scanners 3D de alta precisão, ou por meios alternativos ,que variam desde digitalizadores manuais a automáticos.

Um dos recursos manuais é fotogrametria, capaz de gerar um objeto 3D a partir de imagens digitais . Conforme define Coelho Filho e Silva Brito (2003) : "Entende-se por fotogrametria o estudo da reconstrução do espaço tridimensional (espaço-objeto) através de imagens bidimensionais (espaço-imagem)". É classificada, segundo (TEMBA, 2000) em: Fotogrametria Interpretativa , que objetiva principalmente o reconhecimento e identificação de objetos e o julgamento do seu significado, a partir de uma análise sistemática e cuidadosa de fotografias ou Fotogrametria Métrica , que consiste na feitura de medições de fotos e outras fontes de informação para determinar, de um modo geral, o posicionamento relativo de pontos. De acordo com a posição da câmera é classificada em : a curta distância, terrestre, aérea ou espacial.

O software livre VisualSFM , disponível no site <http://ccwu.me/vsfm>, desenvolvido por Changchang Wu , um dos engenheiros de software da empresa Google, é um dos softwares no mercado que possibilitam este processo.

Figura 1 - Tela do Software VisualSFM



Fonte: do próprio autor

2.4 CENTROS DE USINAGEM

Desde os primórdios da humanidade, o homem sempre teve a necessidade de mecanizar os processos que efetuava manualmente, e sempre construía ferramentas com este propósito, usavam metais, pedras, no entanto, as usavam de forma manual.

As máquinas-ferramentas surgiram a partir do momento em que se criou métodos para se executar estes processos sem a intervenção humana.

Centros de usinagem são máquinas modernas que substituem as máquinas-ferramentas convencionais como, tornos mecânicos, fresadoras e retificadoras, cujos movimentos são dependentes do operador.

Conforme descreve Santos (2013):

"Podemos caracterizar um Centro de Maquinagem como sendo uma máquina ferramenta na qual é possível realizar a maquinagem completa e automática de uma peça, executar operações de fresar, furar, roscar, mandrilar, trocar automaticamente a ferramenta, fixar a peça em diversas posições e montar e desmontar um trabalho durante a maquinagem de outra peça." (SANTOS, 2013, p. 53).

2.4.1 Máquinas CNC - comando numérico computadorizado

O CNC, ou Comando Numérico Computadorizado é um meio eletrônico que permite que sejam enviados sinais a máquina ferramenta, permitindo assim que as operações de usinagem sejam executados sem a intervenção do operador, pois os comandos enviados movimentam as ferramentas e outros dispositivos da máquina.

Como vantagens da utilização de máquinas ferramentas CNC pode ser citado a grande produtividade, flexibilidade de fabricação, precisão de execução, repetitividade e menor custo de ferramental. Além dessas vantagens também o controle rígido de fabricação e a redução no inventário da produção. Em contrapartida as máquinas ferramentas controladas por CNC requerem elevados investimentos no mercado, além de requerer mão de obra especializada para manutenção e programação.

Existem alguns métodos para se executar este processo, como a furação , torneamento e fresamento, etc..

No processo de torneamento, enquanto o material de perfil cilíndrico permanece em movimento rotativo, a ferramenta realiza movimento de avanço translativo. Consiste na remoção de um material por meio de uma ferramenta de corte, enquanto o material cilindro permanece em movimento rotativo a ferramenta realiza movimento de avanço translativo, sendo que o deslocamento transversal é realizado no eixo X, eixo que determina o diâmetro da peça, e longitudinal no eixo Z termina o comprimento da peça, ao entrar em contato com uma peça a ferramenta faz a remoção de material.

Figura 2 - Peça usinada por meio de torneamento



Fonte: do próprio autor

No processo de fresamento, a ferramenta realiza o movimento de rotação e o movimento de translação sendo compartilhado entre peça e a ferramenta. Ela possui

vários gumes e executa movimento de giro, enquanto é pressionada contra a peça que se movimenta. A superfície usinada resultante pode ter diferentes formas, planas e curvas.

Figura 3 - Peça sendo usinada por meio de fresamento



Fonte: do próprio autor

2.4.2 Programação para CNC

Para a elaboração de um programa, devem ser considerados os conhecimentos sobre a peça a ser usinada, a máquina a ser utilizada e as ferramentas presentes, bem como os conceitos de usinagem.

Esta programação chamada de Código G ou G-Code, grava dados em arquivos do tipo texto que podem ser armazenados na máquina ou outro meio externo, desta forma, pode-se executar o processo novamente reutilizando este código.

Para programar manualmente o programador CNC movimenta estas coordenadas a partir do Painel de Controle de uma máquina CNC, como mostra a Figura 3. É através dele que se controla as principais operações da máquina, existe uma variedade de fabricantes de painéis e portanto cada painel possui uma série de elementos distintos onde visualizamos todas as operações e o status da máquina como por exemplo a rotação, o avanço da máquina, se ela está em operação ou se está parada entre outras coisas. É necessário estar sempre atento a ele pois é ele que denuncia qualquer variação no comportamento da máquina. Essa sequência de comandos inseridos no Painel contém padrões predefinidos, universalizando assim o estes padrões para as máquinas ferramentas. Estes comandos (funções) estabelecem a movimentação das peças e/ou ferramentas e as operações a serem executadas.

Figueira (2003) explica que:.

"Os comandos de um programa CNC são os responsáveis pelo accionamento de uma máquina CNC, informando todas as etapas de fabricação de uma determinada operação de uma peça . Uma linha de comando de um programa CNC pode conter informações sobre o movimento da ferramenta (movimento rápido, interpolação, etc.), informações tecnológicas (velocidade, avanço, etc.) ,ou informações que acionam funções auxiliares (ligar refrigerante, eixo da árvore, etc.)."(FIGUEIRA, 2003, p. 52).

Estes comandos são: funções preparatórias – “G”, funções de posicionamento – “X”, “Y” e “Z”, funções auxiliares ou complementares e as funções miscelâneas – “M”. São formados por uma sucessão de blocos. Cada bloco pode conter vários dos seguintes caracteres, acompanhados de um código ou valor:

- N : Número do bloco;
- G : Funções preparatórias;
- XYZ : Coordenadas nos eixos;
- F : Velocidade de avanço;
- S : Velocidade de rotação;
- T : Número da ferramenta;
- M : Funções auxiliares.

2.5 SOFTWARES CAM

A programação CNC também pode ser realizada de forma automática, com auxílio de softwares CAM (Computer Assisted Machined) ou Manufatura Assistida por Computador. Alguns destes softwares simulam as operações do painel de controle e geram o código de programação CNC, que podem ser exportados para um meio externo e posteriormente transferido para a máquina-ferramenta ou mesmo conectados diretamente a ela, substituindo assim, o painel de controle. Outros tipos de softwares simulam o processos das operações de usinagem utilizando a peça como modelo. Eles se distinguem pela capacidade da simulação, pela quantidade de funções disponibilizadas, pela facilidade de uso e pelo custo de aquisição. Figueira (2003, p.54) destaca que "a principal vantagem dos programas auxiliados por computador está no fato não haver necessidade de realizar os cálculos da trajetória, transferindo este trabalho para os recursos computacionais" , embora afirme que durante este trabalho "tem o fato da máquina permanecer parada durante a programação" e também "a necessidade de um pós-processador para cada tipo de máquina CNC (códigos específicos para cada marca e modelo)".

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DIGITALIZAÇÃO 3D

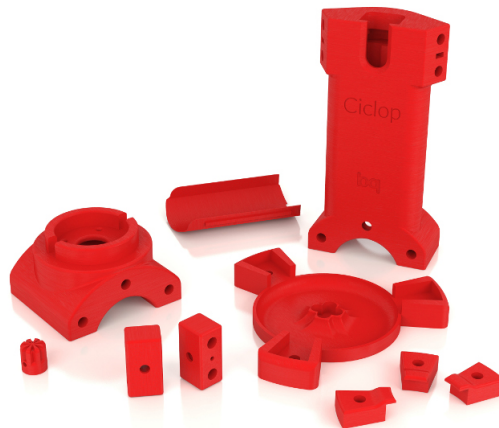
Assim como os softwares *open-source*, que possuem código livre, existem alguns projetos de hardware que podem ser adquiridos e modificados livremente, permitindo seu desenvolvimento e aprimoramento, para montagem de scanners tridimensionais. Moreira (2016) descreve como funciona esta licença para estes projetos.

"Por trás dos projetos open source existe uma filosofia que defende a liberdade para qualquer pessoa modificar aperfeiçoar, compartilhar e em alguns casos até mesmo comercializar. Projetos de hardware livre também estão indo na mesma direção, componentes eletrônicos, circuitos, máquinas e equipamentos tem sido disponibilizados para que a comunidade faça suas evoluções." (MOREIRA, 2016, p. 46).

Moreira () descreve alguns destes projetos, dentre eles o Scanner 3D Ciclop, disponível em: <https://www.bq.com/pt/ciclop> , distribuído sob a licença CC-BY-SA (Creative Commons) que permite a distribuição até mesmo para uso comercial. Consiste na distribuição de formatos de CAD para que sejam impressos em impressoras 3D, partes eletrônicas, como os lasers, a câmera de captura (webcam) e o firmware: uma placa BQ ZUM CORE , que tem as funcionalidades dos controles dos lasers, dos posicionamentos e do motor. Este firmware é , segundo Moreira (), "o núcleo do escaneamento pois gere as comunicações, a captura e a sincronização dos dados, o processamento de imagem e a geração e visualização da nuvem de pontos" .

A Figura 4 mostra o projeto do scanner 3D Ciclop destacando as partes separadamente a serem impressas em impressoras 3D a partir dos modelos CAD disponibilizados pela BQLABS.

Figura 4 - Partes do Scanner 3d Ciclop impressas em impressoras 3D



Fonte: do próprio autor

Na Figura 5 são mostrados todos os componentes separadamente, inclusive as partes eletrônicas.

Figura 5 - Componentes do Scanner 3d Ciclop



Fonte: BQLABS (2017)

Também é disponibilizado como open source o software Horus, que é responsável pela comunicação com os componentes eletrônicos, a calibração tridimensional do scanner e o processo de digitalização, disponível no site <https://github.com/bqlabs/horus>, com versões para os sistemas operacionais Windows, Linux e MAC.

Conforme define BQLABS (2017) "o Ciclop e o Horus possuem uma licença livre, porque pertencem ao Patrimônio Tecnológico da Humanidade. Toda a informação sobre o desenho mecânico, a electrónica, o software, os algoritmos, as

matemáticas e as experiências realizadas, estarão disponíveis livremente para a comunidade. Isto permite não só estudar e entender o funcionamento do scanner, mas também realizar modificações, melhorias e evoluções a partir dele próprio".

Embora a BQLABS disponibilize à venda o scanner já montado, opcionalmente é possível montá-lo adquirindo as partes separadamente. Moreira (2016) descreve como executar passo-a-passo estes procedimentos.

A Figura 6 mostra o Scanner 3d Ciclop Montado.

Figura 6 - Scanner 3D Ciclop da BQlabs



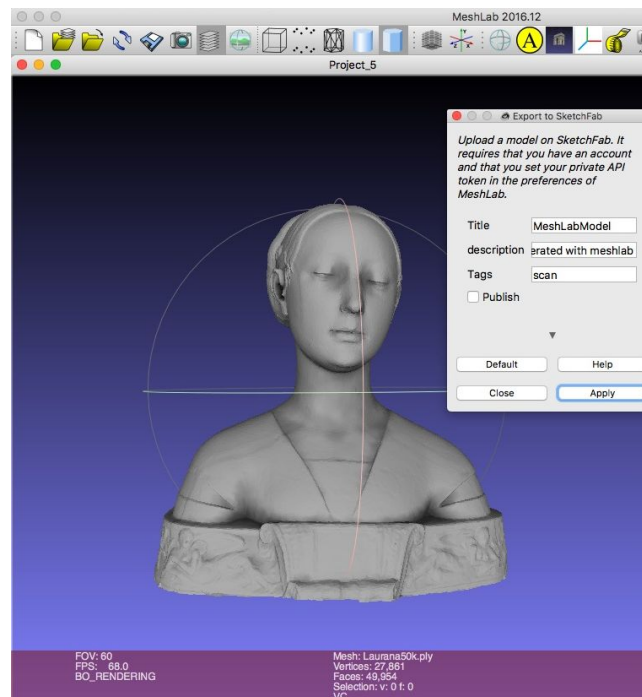
Fonte: BQlabs (2017) .

3.1.1 Softwares para tratamento da digitalização

Para o processo de engenharia reversa, após a digitalização, faz necessário o uso de software de tratamento do modelo para os ajustes necessários no objeto digitalizado.

O Meshlab, disponível em <http://meshlab.sourceforge.net> , é um "sistema de código aberto utilizado para processar e editar malhas 3D triangulares. Ele fornece um conjunto de ferramentas para edição, limpeza, cura, inspeção, renderização, texturização e conversão de malhas. Ele oferece recursos para o processamento de dados brutos produzidos por ferramentas / dispositivos de digitalização 3D e para a preparação de modelos para impressão em 3D." (VISUAL COMPUTING LABORATORY, 2017).

Figura 7 - Tela do software Meshlab



Fonte: Visual Computing Laboratory (2017).

3.2 SOFTWARES CAD

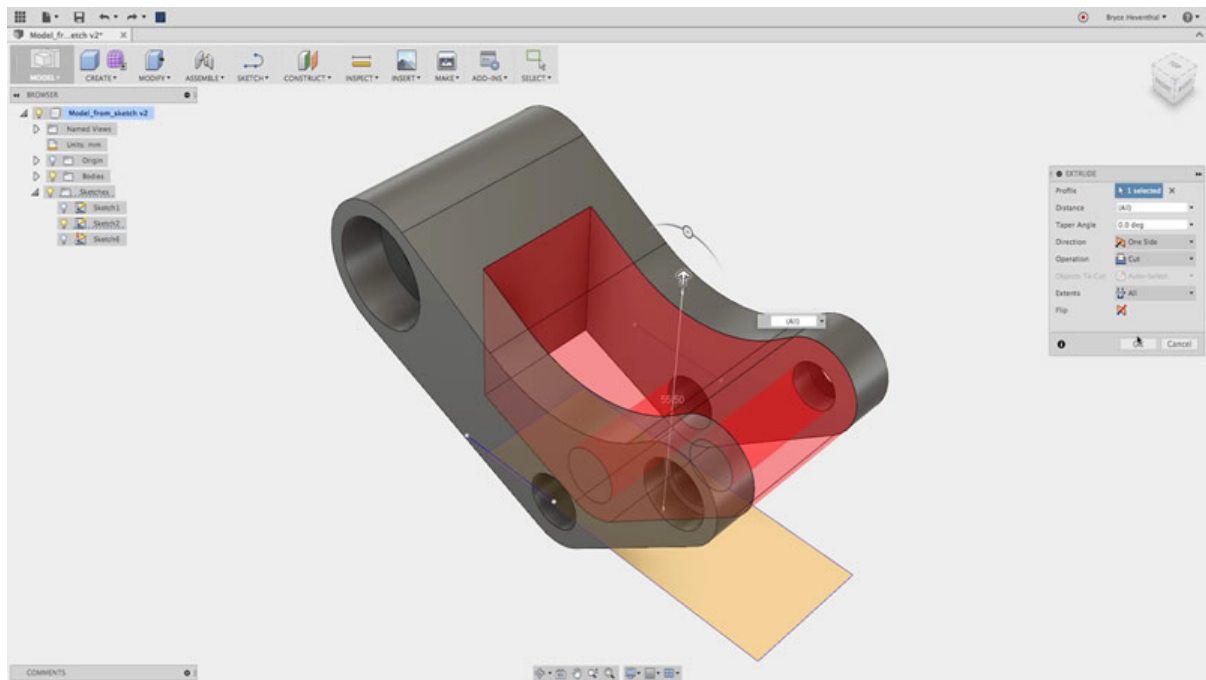
Computer Aided Design (CAD) ou Desenho Auxiliado por Computador são desenhos ou projetos técnicos auxiliados por computador, os softwares CAD são capazes de criar desenhos vetoriais 2D ou 3D, são usados em variadas áreas, principalmente nas engenharias. Em livre tradução, significam “desenho guiado por computador” e “fabricação guiada por computador. Ou seja:

"O CAD é o desenho do trabalho a ser realizado por meio de um programa de computador especialmente desenvolvido para este fim. Um aparelho denominado scanner faz a captação da imagem de um modelo de trabalho, digitaliza, para que o CAP possa fazer o desenho, que por sua vez alimentará o processo CAM, da fresadora que orientará a usinagem do trabalho a ser realizado em um bloco cerâmico, metálico ou polimérico"(BOTTINO, 2013).

O software AutoCAD Fusion 360, da empresa Autocad Inc. pode ser usado para este processo, segundo os desenvolvedores, "O Fusion 360 é uma plataforma CAD, CAM e CAE baseada em nuvem para desenvolvimento de produtos. Ele combina design industrial, mecânico, simulação, colaboração e usinagem em uma única embalagem. " (AUTODESK). É um software comercial com uma versão livre para estudantes e educadores , que pode ser obtida através de cadastro no site <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/students-teachers-educator>, figura 5

mostra a tela do software AutoCAD Fusion 360.

Figura 8 - Tela do Software AutoCad Fusion 360



Fonte: Autodesk (2017).

3.3 SOFTWARES CAM

3.3.1 Simuladores de painéis CNC

O CNCFAGOR é um software livre, disponível no site <http://www.fagorautomation.com.br>, que simula um painel CNC. Segundo o site do fabricante: "sua utilização mais comum será a formação de programadores e operadores em Centros de Treinamento e a Edição/simulação em departamentos de projeto.(FAGOR AUTOMATION , 2017).

Figura 9 - Tela do software CncFagor

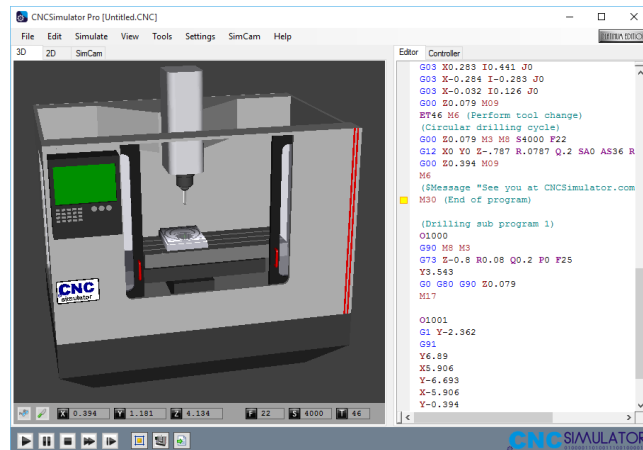


Fonte: do próprio autor

3.3.2 Simuladores de processos

Alguns softwares são capazes de gerar códigos a partir de referências geométricas da peça, desenhos 2d ou 3d criados no software CAD e de simulações de processos de usinagem, o que reduz bastante o tempo da programação manual além de ser mais fácil interpretar erros antes de enviar os códigos para a máquina, existem uma vasta gama de softwares com estas funcionalidades, AutoCAD Fusion360, citado anteriormente, contém esta funcionalidade. Outro software que contém uma versão livre para uso é o CNC Simulator Pro, que pode ser baixado no site <http://cnccsimulator.info>.

Figura 10 - Tela do Software Cnc Simulator



Fonte: Cncsimulator (2017).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o desenvolvimento da revisão da literatura foi possível conhecer e analisar os métodos mais convenientes para o processo de Engenharia Reversa , foram analisadas as vantagens e desvantagens do uso de hardwares e softwares, considerado-se essencialmente, para a escolha dos recursos a serem utilizados, o custo de aquisição . Para realização deste trabalho , foi escolhida uma peça mecânica (uma peça contida em uma bomba de caixa d-água) , conforme mostra a Figura 11.

Figura 11 - Peça a ser usinada



Fonte: do próprio autor

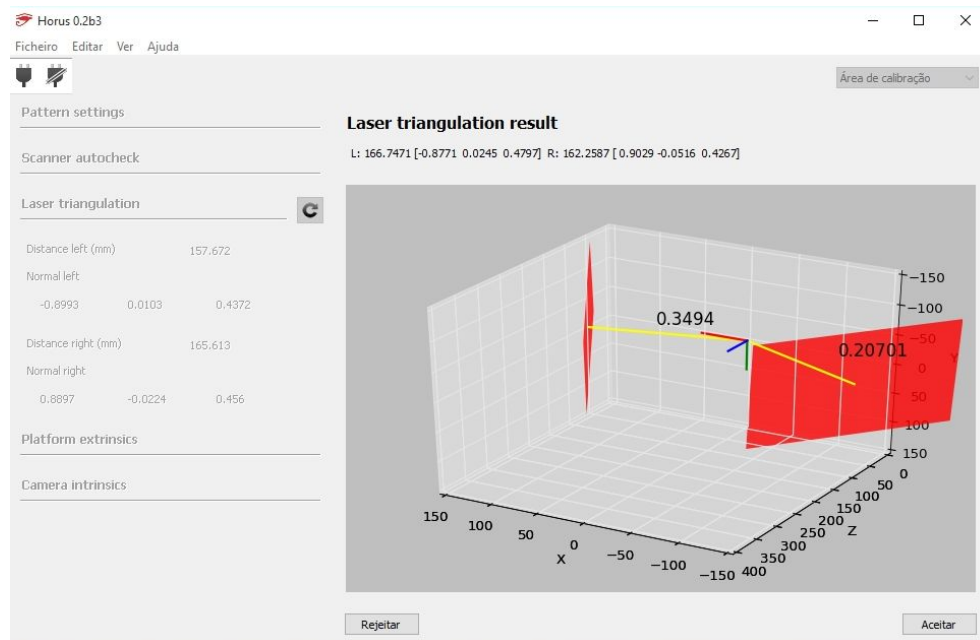
4.1 DIGITALIZAÇÃO 3D

Para o processo de digitalização da peça foi escolhido o scanner 3d Ciclop, da BQLABS, que utiliza o software Horus Scanner Manager.

Após a montagem do scanner e a instalação do software Horus Scanner Manager , é necessário que se faça a calibração tridimensional, uma funcionalidade no software oferece ajuda para isto assim que é iniciado, embora possa ser feita manualmente acessando o ambiente "Calibração", este procedimento é necessário para melhor resultado na digitalização . Moreira () define "O processo de calibragem envolve um padrão de xadrez disponibilizado junto aos arquivos 3D do projeto

Ciclop. A Câmera detecta o padrão de linhas e colunas e o software aciona os lasers esquerdo e direito alternadamente enquanto gira a plataforma nos sentidos horário e anti-horário".

Figura 12 - Resultado de calibragem do Scanner 3DCliclop

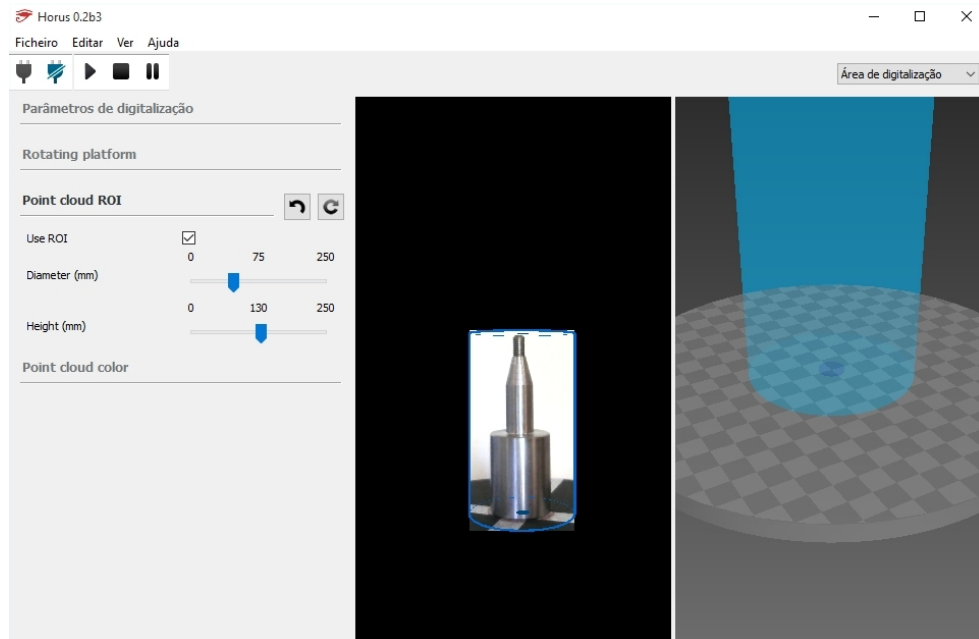


Fonte: do próprio autor

Além da calibração, alguns aspectos auxiliam na precisão da digitalização, como a iluminação, a peça exatamente centralizada sobre a bandeja (recomenda-se marcar um ponto central na bandeja), não mover o scanner, e a escolha do material a ser escaneado, pois alguns materiais, como o aço, o modelo resultante pode ficar opaco, neste caso, recomenda-se pintar a peça forçando para que ela apresente alguma textura.

Outro aspecto importante é definir o ambiente de captura, isto evitará que sejam capturados pontos desnecessários caso sejam definidas áreas maiores, ou não sejam capturados pontos necessários se menores, isto é muito relevante quando se pretende capturar com exatidão as dimensões da peça, este ambiente deve ser definido antes de se iniciar a digitalização. Foram feitas várias alterações destes valores até que se conseguisse um resultado muito próximo à exatidão.

Figura 13 - Ambiente de captura do scanner 3d Ciclop



Fonte: do próprio autor

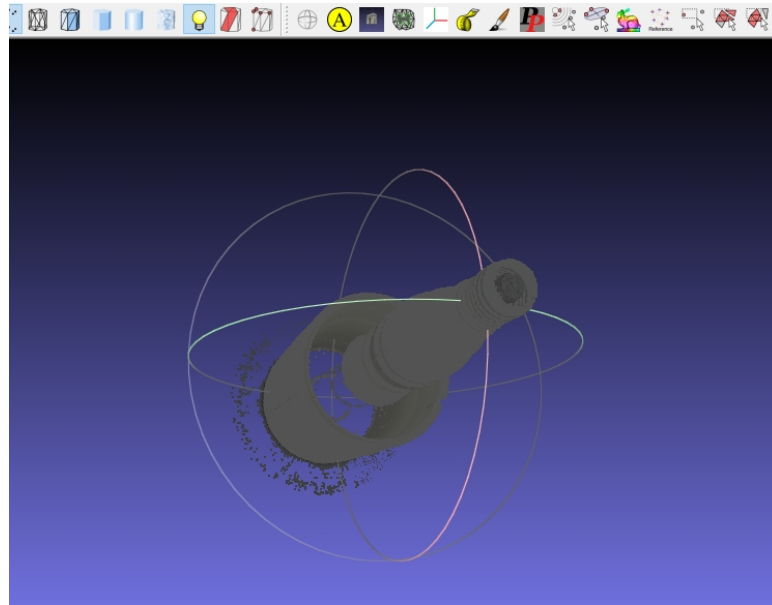
Após a digitalização é necessário salvar o resultado da digitalização em um arquivo, para isso é necessário acessar o menu salvar arquivo, o software exporta o modelo com a extensão .PLY, para isto utiliza-se a opção File\Save Model.

4.2 CONVERSÃO DO MODELO

Por se tratar de um arquivo que armazena apenas nuvens de pontos (point clouds) os arquivos .PLY não poderão ainda ser tratados por alguns softwares CAD, portanto, deve ser tratado e convertido em um objeto 3D sólido. Alguns softwares realizam esta conversão, foi utilizado neste trabalho o MeshLab, em sua versão 1.3.3.

A importação do arquivo .PLY no MeshLab é realizada através do menu "File\Import Mesh", o software possibilita realizar a limpeza da nuvem de pontos caso haja imperfeições provocadas por má iluminação ou objetos alheios capturados. A Figura 14 mostra o objeto digitalizado importado pelo Meshlab.

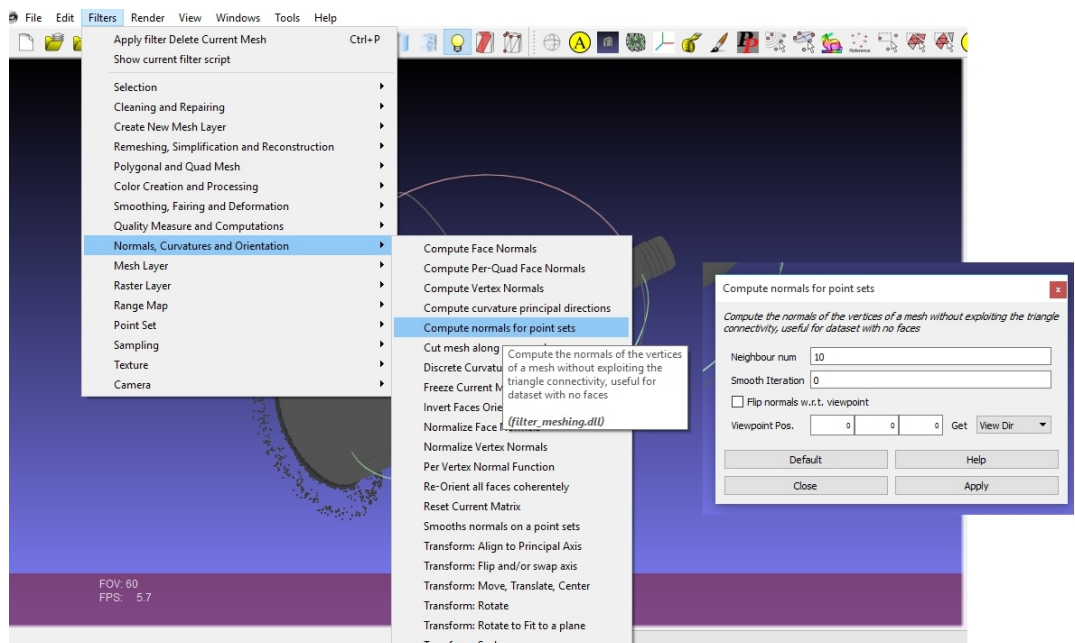
Figura 14 - Meshlab - Importação de objeto digitalizado



Fonte: do próprio autor

Para a conversão em malhas (mesh), o primeiro passo é a reconstrução do objeto tridimensional para cálculo de vetores normais, pelo menu : "Filters > Normals, Curvatures and Orientation > Compute Normals for point sets", no campo "Neighbour Number" (número de vizinhos) apresenta-se o valor 10 como padrão, que pode ser alterado.

Figura 15 - MeshLab - Cálculo de vetores normais

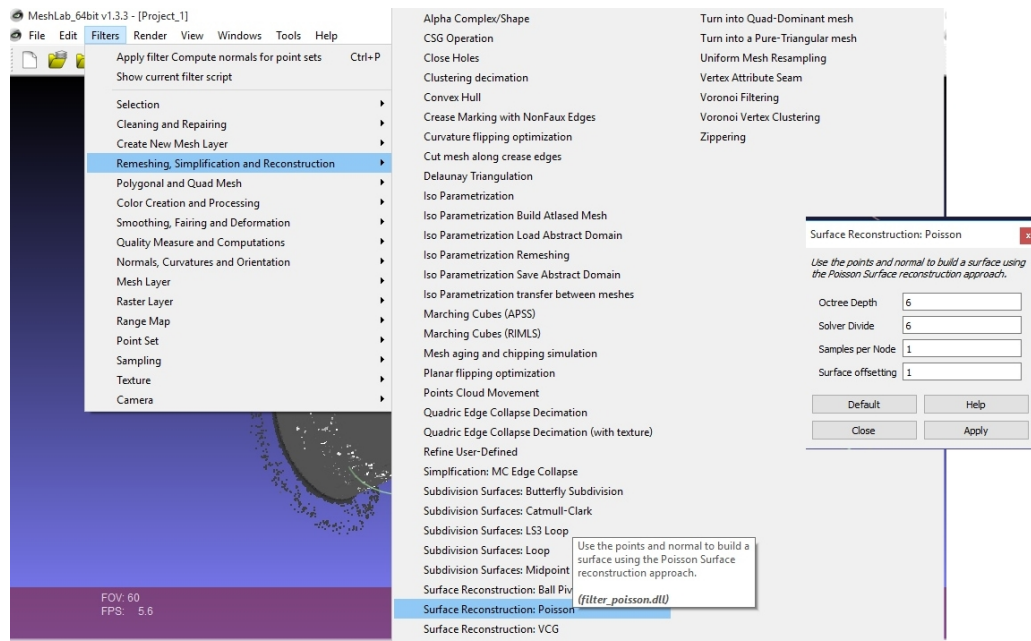


Fonte: do próprio autor

Após efetuar estes cálculos será possível reconstruir as malhas, isto é feito

acessado o menu "Filters > Remeshing, Simplification and Reconstruction > Surface Reconstruction: Poisson", os parâmetros para a configuração são : a profundidade Octree Depth, e a divisão do solucionador (Solver Divide) , valores entre 6 e 12 que se refere ao grau de exatidão, quanto maior o valor maior o tempo para a reconstrução.

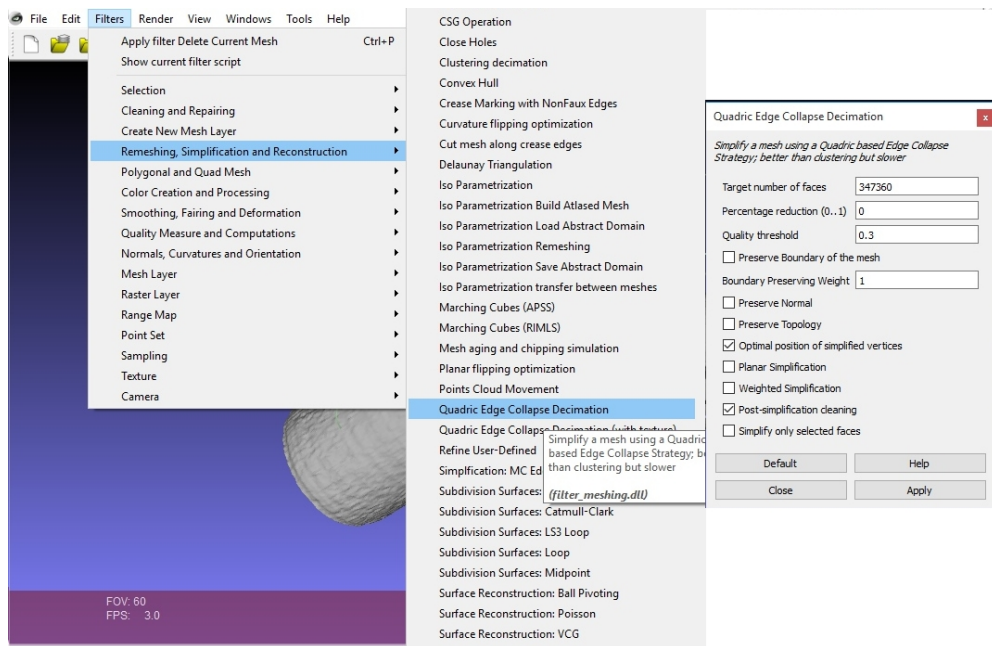
Figura 16 - Meshlab - Reconstrução de Faces



Fonte: do próprio autor

Caso apresente um grande número de faces ainda é possível reduzir esta quantidade , isto é feito acessado o menu Filters > Remeshing, Simplification and Reconstruction > Quadric Edge Collapse Decimation , esta quantidade de faces pode ser definida manualmente em "Target number of faces" ou pode ser definida a porcentagem de redução em "Percentage Reducion".

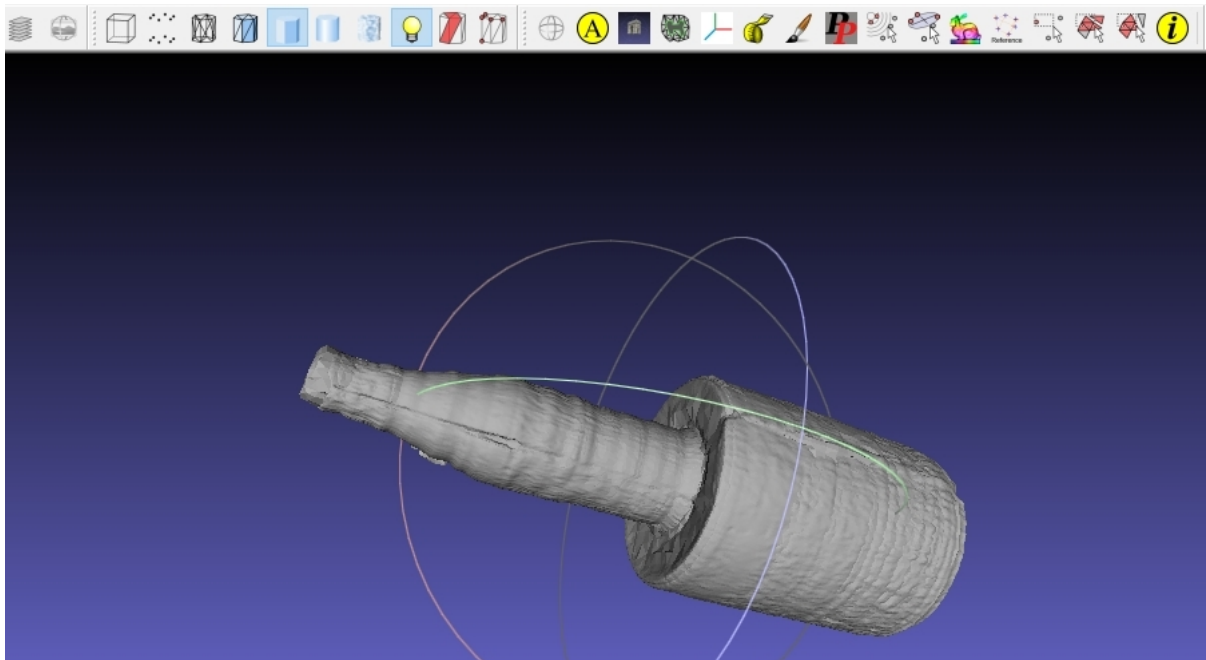
Figura 17 - Meshlab - Redução do número de faces



Fonte: do próprio autor

A Figura 18 mostra o objeto escaneado e tratado pelo software Meshlab.

Figura 18 - Meshlab - Modelo tratado



Fonte: do próprio autor

O software possibilita a exportação do modelo para vários formatos, para que possam, posteriormente, serem tratados nos programas CAD, escolhemos exportar o modelo como um arquivo .STL. O nome "STL" é retirado de sua extensão .stl.

4.3 TRATAMENTO DO MODELO NO SOFTWARE CAD

Os softwares CAD , conforme citado na revisão de literatura, são capazes de criar a modelagem 3D de uma peça a partir de desenhos do tipo 2D, a proposta deste trabalho é que estes desenhos sejam projetados com base no objeto escaneado e tratado.

O arquivo tratado e exportado para o formato STL poderá ser aberto pelo software CAD e servirá de referência para a criação do esboço do desenho 2D.

Alguns softwares CAD no mercado contém excelentes funcionalidades. Durante a pesquisa, foram instaladas versões trial (limite de tempo de uso) ou de demonstração, e analisados os seguintes softwares CAD : SolidWorks , TopSolid (versões 2013 e 2017) , FreeCAD e SpaceClaim 2017.

Foi definido para ser usado neste trabalho outro software analisado, o AutoCad Fusion 360, que contém recursos para uso de CAD/CAM, este apresentou ser simples para uso, com telas intuitivas e rápidas definições para cada passo, além do fato de ser possível utilizá-lo com a licença livre para estudantes conforme foi demonstrado anteriormente no capítulo de materiais e métodos.

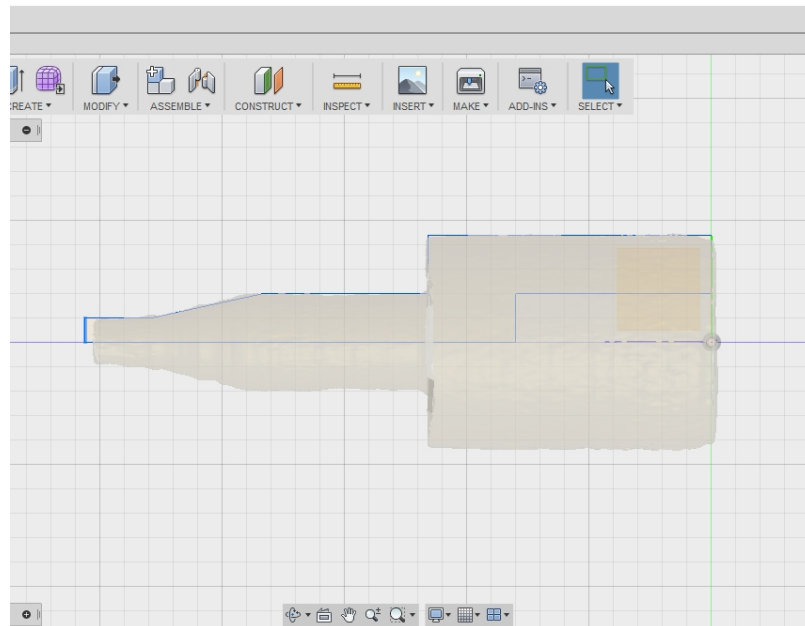
A Figura 19 mostra o arquivo STL aberto pelo software AutoCad Fusion 360 e a criação do esboço 2D referenciado por suas dimensões. Neste caso , foi feito um esboço de acordo com as reais dimensões da peça. Pode-se observar que as dimensões definidas no esboço correspondem quase que exatamente às do modelo digitalizado, conforme mostra a tabela 1.

Tabela 1 - Comparativo de dimensões do modelo físico e modelo virtual

	Modelo Físico	Modelo Virtual
Altura	128mm	127,87mm
Diâmetro	44mm	44,3 mm

Fonte: do próprio autor

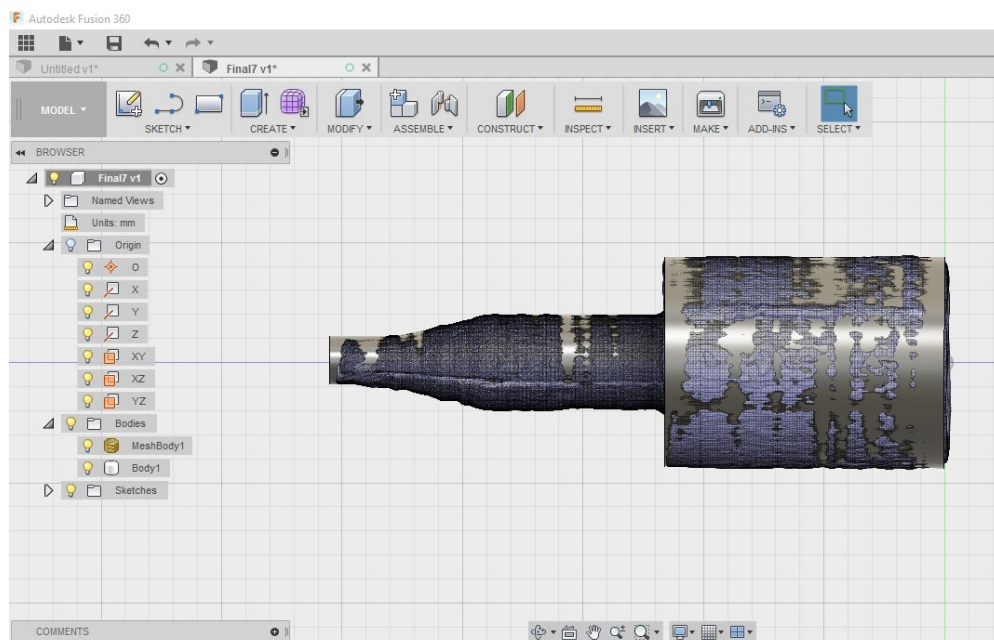
Figura 19 - AutoCad Fusion 360 - Criação de esboço



Fonte: do próprio autor

Após criado o esboço poderá ser convertido para um objeto 3D com as coordenadas definidas conforme mostra a Figura 20.

Figura 20 - AutoCAD Fusion 360 - Esboço a partir de STL

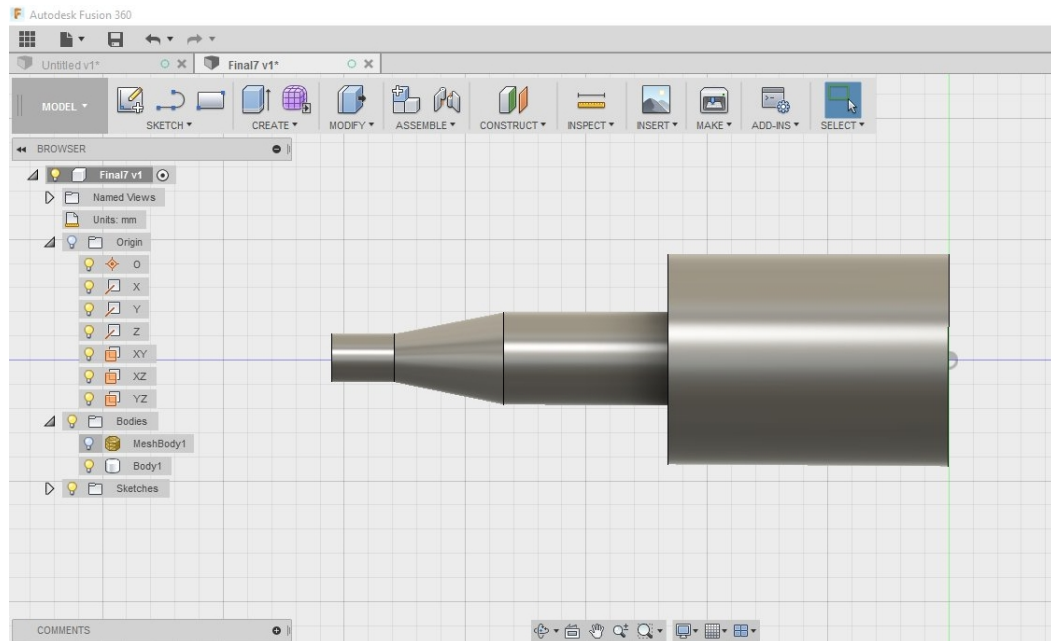


Fonte: do próprio autor

Com o objeto criado pode-se omitir ou excluir o modelo STL importado permanecendo somente o projeto 3D criado e estará pronto para ser aberto pelos softwares com as funcionalidades de processos de usinagem, os softwares CAM.

Conforme mostra a Figura 21.

Figura 21 - AutoCad Fusion 360 - Modelo 3D



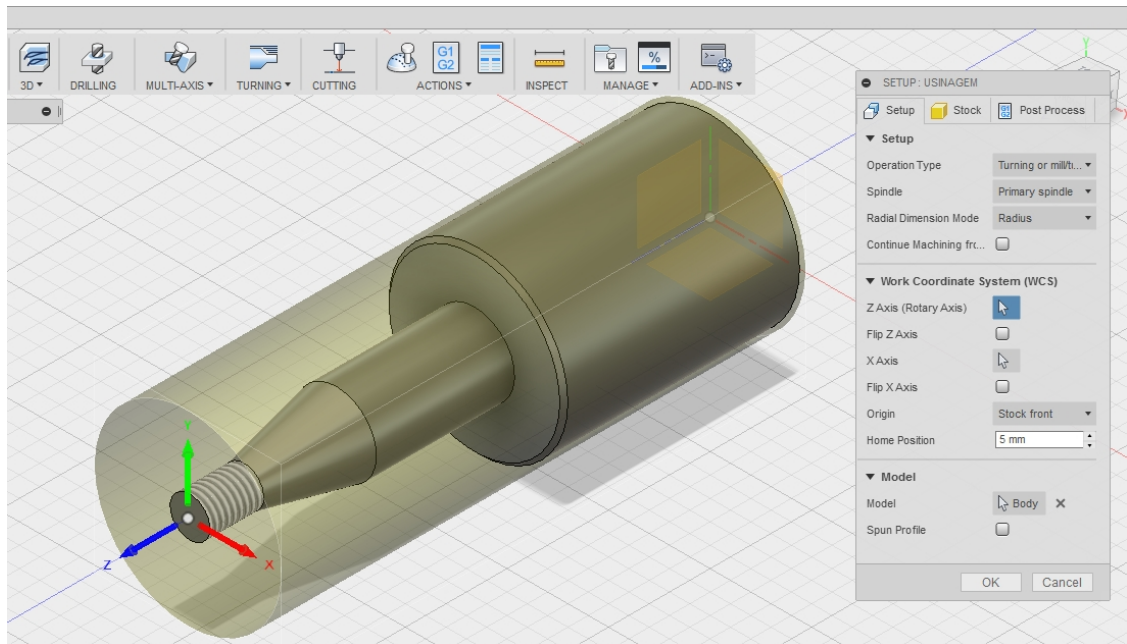
Fonte: do próprio autor

4.4 PROCESSO DE USINAGEM

Entre os softwares CAM disponíveis, além do AUTOCAD FUSION 360 foram testados os seguintes: SolidCam 2016, Mastercam (versões X9 e 2017), EdgeCam 2017, AutoCAD ArtCam, SSCNC, CncSimulator, WinUnisoft, e Mach3.

Após o tratamento no software 3D CAD, o arquivo já poderá ser enviado ao software CAM, que permite a inserção de operações que simulam os processos realizados pelas máquinas CNC e gera o código G. As funcionalidades de simulação do software AUTOCAD FUSION 360 são similares aos processos executados pela máquina CNC. Primeiramente são criados os programas através do menu SETUP/NEW SETUP, onde são definidos o tipo de operação (torneamento, fresamento ou furação), o ponto de origem, a posição da ferramenta, as propriedades do material a ser usinado e o número do programa.

Figura 22 - AutoCad Fusion 360 - Criação do Programa - SETUP

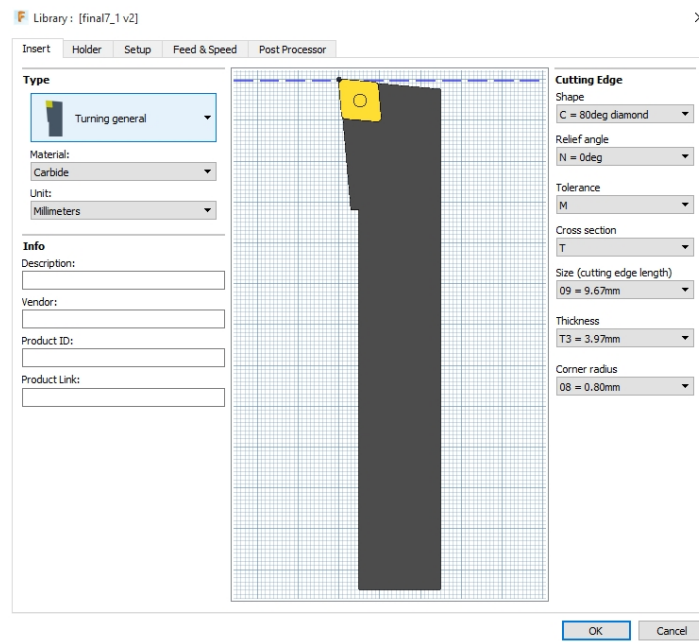


Fonte: do próprio autor

Foi necessário , para este trabalho , a criação de dois programas (SETUP) , sendo: o primeiro para as ações na parte posterior da peça, onde se utilizou os processos de faceamento, desbaste, acabamento e furação, e o segundo para as ações na parte frontal , contendo os processos de faceamento, desbaste, acabamento e a rosca. Ambos usaram torneamento como tipo de operação.

Os processos para o torneamento, como faceamento, desbaste, acabamento, rosca, canal e furação devem criados acessando o menu "TURNING", para cada um destes deve ser escolhida a ferramenta, que pode ser definida na tela de edição em "TOOL/SELECT", onde é apresentada uma lista de ferramentas pré-definidas. Caso a ferramenta da máquina não esteja presente na lista então ela deve ser criada definindo-se suas especificações como o material suportado, velocidade máxima de corte e de avanço,etc... , conforme mostra a Figura 23.

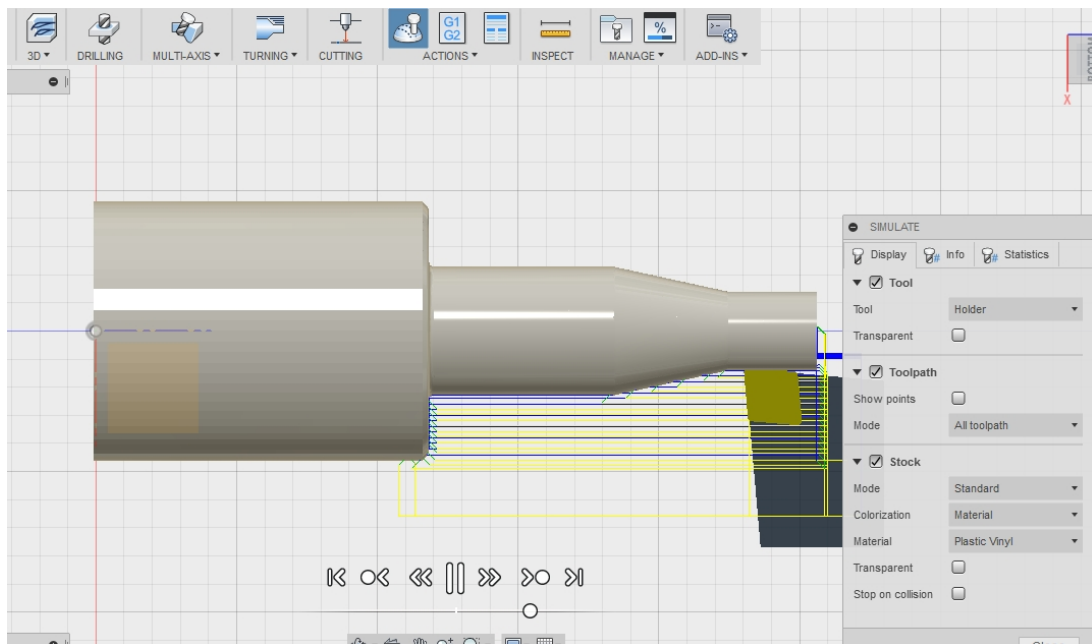
Figura 23 - AutoCad Fusion 360 - Criação de Ferramenta



Fonte: do próprio autor

O software permite testar as operações criadas utilizando um simulador, a partir do menu "ACTIONS/SIMULATE", o simulador permite a detecção de colisões da ferramenta com a peça, caso aconteçam, a Figura 24 mostra a tela do simulador.

Figura 24 - AutoCad Fusion 360 - Simulador de processo de usinagem

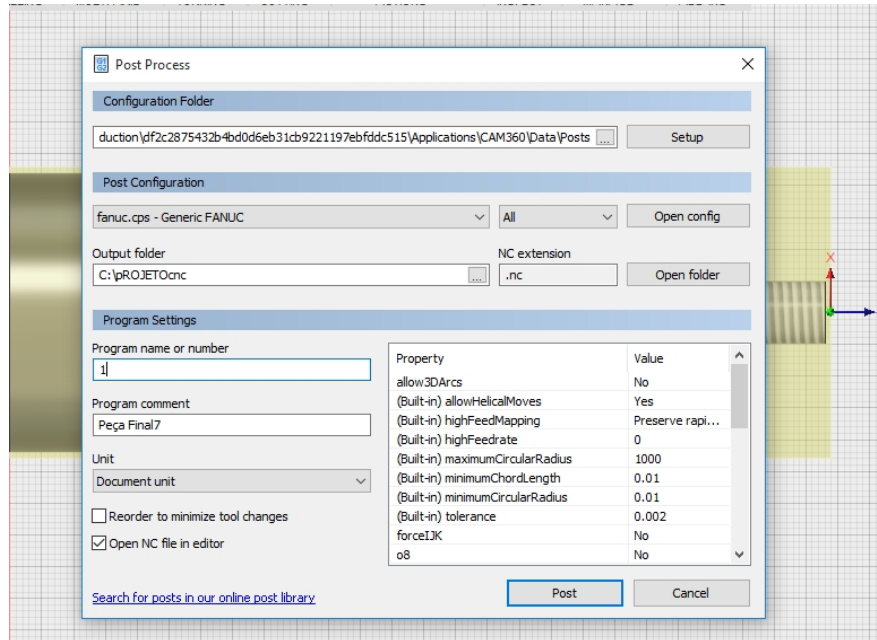


Fonte: do próprio autor

Uma vez concretizadas as operações poderá ser salvo o código para utilização no centro de usinagem, acessando o menu "ACTIONS/POST PROCESS".

Antes de salvar o arquivo é importante definir o pós processador , que são os tipos de comandos específicos das máquinas, e o número do programa para que não haja incompatibilidade com outros já instalados, conforme mostra a Figura 25.

Figura 25 - AutoCad Fusion 360 - Exportação de código para máquina CNC



Fonte: do próprio autor

A Figura 26 mostra o processo final da engenharia reversa, a nova peça reproduzida a partir do modelo original, usinada no Centro de Usinagem da Unidade do SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, em Rio Verde-Goiás.

Figura 26 - Peça original e modelo reproduzido utilizando Engenharia Reversa



Fonte: do próprio autor

No anexo A e B são apresentados os códigos gerados a serem enviados para o centro de usinagem da Universidade Estadual Paulista - UNESP de Ilha Solteira-São Paulo , que contém máquinas cujo pós-processadores utilizam o comando FANUC.

Concluimos que a primeira fase do projeto pode ser a fase com maior demanda de tempo, tanto quanto à montagem do Scanner 3D quanto ao processo de digitalização e tratamento do objeto digitalizado.

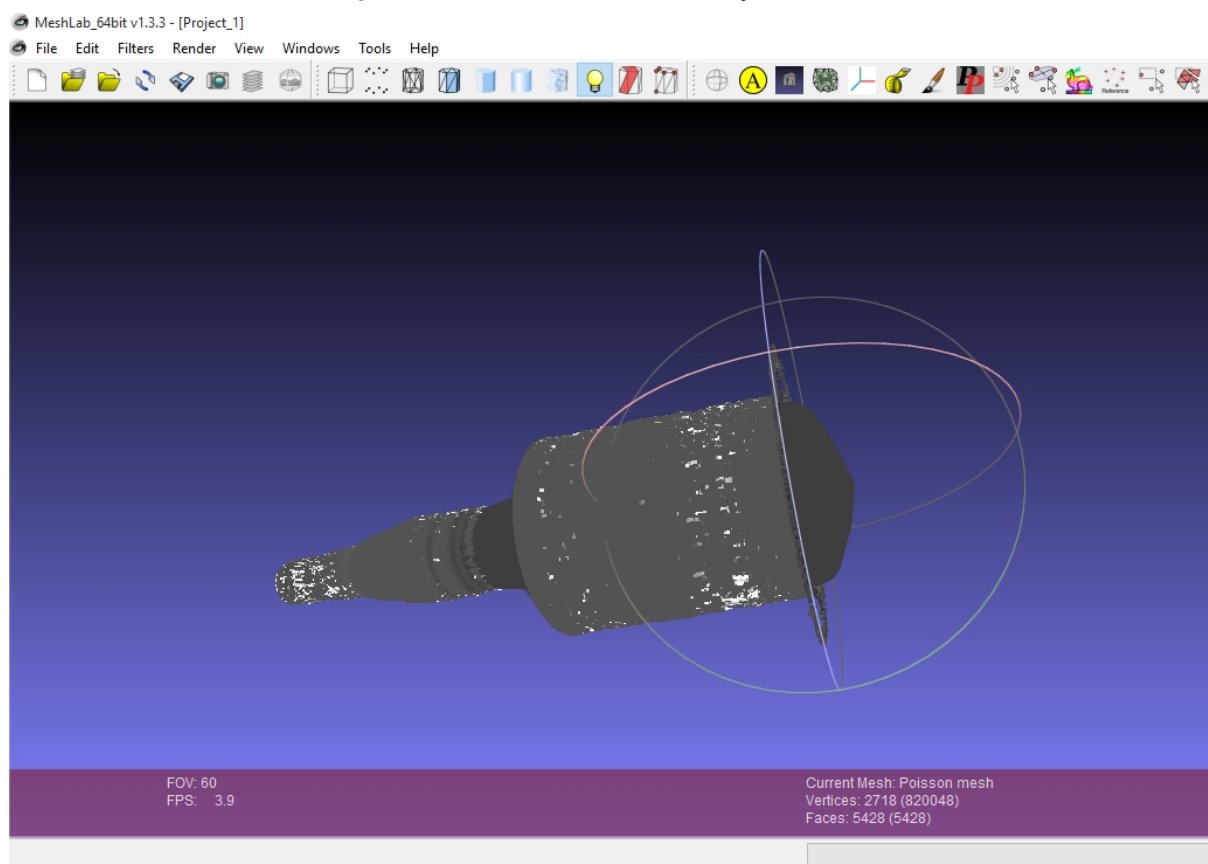
Quanto á montagem se deve ao fato de que as partes eletrônicas são adquiridas através de diferentes fornecedores, e às peças que foram impressas, que é um processo lento, dependendo da impressora 3D.

Com relação à digitalização , para que o objeto seja escaneado com precisão, é necessário observar alguns aspectos relevantes como a iluminação, a correta calibragem do scanner, o posicionamento na bandeja e área a ser escaneada, todos os passos seguintes dependem desta fase, pois a captura de ponto sem a qualidade necessária dificulta ou impede que seja trabalhada pelos softwares de tratamento. Observando estas recomendações, conseguiu-se obter um modelo virtual com

dimensões muito próximas ao do modelo físico, conforme mostrado anteriormente no quadro 1.

Foram usados alguns softwares para tratamento de malhas, no entanto, o software livre Meshlab foi o que mais mostrou funcionalidades satisfatórias para o tratamento do modelo digitalizado, embora, em um único processo: a criação de faces a partir de nuvens de ponto, teve que ser definida algumas vezes até que estas faces ocupassem exatamente as dimensões do objeto, sem essa correta definição, o desenho 3D ficava disforme, conforme mostra a Figura 27.

Figura 27 - Meshlab- Falha na criação de faces



Fonte: do próprio autor

O software utilizado neste trabalho para CAD/CAM, o AutoCad Fusion 360, apresentou-se simples para uso, com telas intuitivas e rápidas definições para cada passo, até a fase final: a geração do código a ser enviado para máquina CNC.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi apresentar como a Engenharia Reversa colabora para a solução do problema da baixa produtividade quando se usa a manufatura tradicional, pois permite a criação de modelos virtuais a partir de modelos físicos.

Mesmo considerando que o uso de recursos adquiridos com investimento em máquinas profissionais poderão trazer resultados mais rápidos e precisos, através do estudo realizado sobre os métodos e ferramentas , pode se concluir que é possível realizar Engenharia Reversa com pouco investimento, utilizando hardwares e softwares com um custo menor ou mesmo livres para uso, mesmo para um usuário comum ou para aplicação industrial.

Outro aspecto importante a ser considerado é a possibilidade da melhoria da qualidade do Scanner 3D Ciclop, como substituir a câmera de captura por outra de melhor resolução. Moreira (2016, p. 73) cita em seu trabalho algumas idéias de trabalhos futuros que podem ajudar a atingir este objetivo , ele aconselha a "Implantação de circuito de iluminação com lâmpadas LED próximas à câmera para amenizar o impacto do excesso ou ausência de luz no objeto capturado, a substituição do modelo da câmera utilizada no projeto por um modelo SLR (Digital Single Lens Reflex) e objetiva com curta distância focal, para melhor detalhamento da superfície e a criação de software para análise das imagens e detecção automática da diferença de nível entre os pontos da malha obtida, evidenciando assim uma rugosidade da superfície de forma mais precisa".

Atingido o objetivo geral e objetivos específicos propostos chegamos a conclusão sobre a relevância do conhecimento adquirido durante a pesquisa , afinal , na nossa opinião, a razão da existência do conhecimento tanto quanto utilizá-lo para o bem, é a possibilidade de compartilhá-lo.

REFERÊNCIAS

AUTODESK. [S.l.: s.n. 2017?]. Disponível em <<https://www.autodesk.com/products/fusion-360/features#design>>. Acesso em: 19 Jul 2017.

AUTODESK.. **O que é Software CAD?:** autoDesk autoCAD. [S.l.: s.n. 2016?]. Disponível em <<http://www.autodesk.com.br/solutions/cad-software>>. Acesso em: 18 dez 2016.

BARTZ, Daniel; STAUDT, Tarcísio; SOUZA, Marcos Antônio de. Gestão estratégica de custos: Uso da Engenharia Reversa na análise de custos dos concorrentes. **Revista de Administração e Contabilidade da Unisinos**, São Leopoldo, v. 2, n. 3, 2005. 175 p.

BOTTINO, Marco Antônio. CAD/CAM: o contexto multidisciplinar da relação clínico-laboratorial. **Suplemento Proteze News, ImplantNews**, São Paulo, v. 10, n. 2, 2013. 3 p.

BQLABS. **Apresentação:** ciclop e horus . [S.l.: s.n], 2017. Disponível em <<http://diwo.bq.com/pt-pt/apresentacao-ciclop-e-horus/>>. Acesso em: 22 jun 2017.

BRASIL LIMA, Cristiane. **Engenharia reversa e prototipagem rápida estudos de casos**. 2003. 108 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual de Campinas -UNICAMP, Campinas, 2003.

CNCSIMULATOR. **Cncsimulator pro**. [S.l.: s.n. 2017?]. Disponível em: <<http://cncsimulator.info/>>. Acesso em: 1 ago 2017.

COELHO FILHO, Luiz Carlos Teixeira; SILVA BRITO, Jorge Luís Nunes. **Projeto e-foto:** uma estação fotogramétrica digital educacional .2003. 81 f. Dissertação (Mestrado)- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE ,Belo Horizonte, 2003.

DICKIN, Peter. Reverse engineering regains popularity. IEE Review, Stevenage, v. 42, 1996, 213 p.

FAGOR AUTOMATION. **Fagor automation**. [S.l.: s.n. 2016?]. Disponível em:

<<http://www.fagorautomation.com.br>>. Acesso em: 16 jun 2017.

FIGUEIRA, Ricardo Jorge Costa de Moraes. **CAD/CAE/CAM /CIM**. [S.l.]: Instituto Politécnico do Porto, 2003. Disponível em:
<http://www.dei.isep.ipp.pt/~paf/proj/Julho2003/CAD_CAE_CAM_CIM.pdf>. Acesso em: 6 ago 2017.

JÚNIOR, José Nilton Fonseca; CARVALHO, João Carlos Mendes. Método de detecção de contorno para reconstrução de superfícies In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA - POSMEC, 16, 2006, Uberlândia. Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Uberlândia: [s.n.], p. 9, 2006.

MOREIRA, Sandro Silva. **Projeto e construção de um scanner tridimensional baseado no método de triangulação a laser utilizando softwares livres**. 2016. 81 f. Tese (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista -UNESP, Ilha Solteira, 2016.

MURY, Luiz Gilberto Monclaro. **Uma metodologia para adaptação e melhorias de produtos a partir da engenharia reversa**. 2000. 100 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

PONTICELLI, Claudiomar; SUSKI, Cássio Aurélio. O avanço do desenvolvimento de produtos através da Engenharia Reversa. **Revista da Unifebe**, v. 1, n. 8, p.13, 2010.

RAJA, Vinesh; FERNANDES, Kiran. **Reverse engineering: an industrial perspective**. London: Springer, 2008.(Springer Series in Advanced Manufacturing).

SANTOS, Paulo Jorge de Oliveira. **Tecnologia CAM aplicada no fabrico por fresagem de componentes mecânicos**. 2013. Tese (Doutorado) - Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2013.

TEMBA, Plínio. **Fundamentos da fotogrametria**. São Paulo: Departamento de Cartografia da Universidade Federal de Minas Gerais- UFMG, 2000. 24 p.

VISUAL COMPUTING LABORATORY. **MeshLab**. [S.l.: s.n. 2017?]. Disponível em <<http://www.meshlab.net>>. Acesso em: 23 jun 2017.

ANEXO A — Programação gerada pelo software CAM - 1

%
O1001 (PECA)
N10 G98 G18
N11 G21
N12 G50 S6000
N13 G28 U0.
(FACEAMENTO)
N14 T0100
N15 G54
N16 M8
N17 G99
N18 G50 S5000
N19 G96 S91 M3
N20 G0 X66. Z0.
N21 G0 Z0.914
N22 G1 X48.828 F0.127
N23 X46. Z-0.5
N24 X-1.6
N25 X1.228 Z0.914
N26 G0 X66.
N27 Z0.
(DESBASTE)
N28 G99
N29 G50 S5000
N30 G96 S91 M3
N31 G0 X66. Z0.
N32 Z0.914
N33 X-4.428
N34 G1 X-1.6 Z-0.5 F0.127
N35 X42.4
N36 G18 G3 X44. Z-1.3 K-0.8
N37 G1 Z-56.5
N38 X44.4
N39 X47.228 Z-55.086

N40 Z0.

N41 G0 X66.

(ACABAMENTO)

N42 G99

N43 G50 S5000

N44 G96 S91 M3

N45 G0 X66. Z0.

N46 X47.228

N47 G1 Z-55.086 F0.127

N48 X44.4 Z-56.5

N49 X44.

N50 Z-1.3

N51 G2 X42.4 Z-0.5 I-0.8

N52 G1 X-1.6

N53 X-4.428 Z0.914

N54 G0 X66.

N55 Z0.

N56 M9

N57 G28 U0. W0.

N58 M30

%

ANEXO B — Programação gerada pelo software CAM - 2

%
O1002 (PECA)
N10 G98 G18
N11 G21
N12 G50 S6000
N13 G28 U0.
(FACEAMENTO)
N14 T0101
N15 G54
N16 M8
N17 G99
N18 G50 S5000
N19 G96 S345 M3
N20 G0 X46. Z5.
N21 G0 Z0.914
N22 G1 X48.828 F0.3
N23 X46. Z-0.5
N24 X-1.6
N25 X1.228 Z0.914
N26 G0 X46.
N27 Z5.
(DESBASTE)
N28 G99
N29 G50 S5000
N30 G96 S345 M3
N31 G0 X66. Z5.
N32 Z1.414
N33 X47.795
N34 G1 X46.828 F0.3
N35 X44. Z0.
N36 Z-70.016
N37 X45.874 Z-70.953
N38 G18 G3 X46. Z-71.019 I-1.273 K-1.273
N39 G1 X48.828 Z-72.433

N40 G0 Z1.414
N41 X44.828
N42 G1 X42. Z0. F0.3
N43 Z-69.411
N44 G3 X43.371 Z-69.743 I-0.746 K-2.411
N45 X43.874 Z-69.953 I-1.021 K-1.482
N46 G1 X45. Z-70.516
N47 X47.828 Z-69.102
N48 G0 Z1.414
N49 X42.828
N50 G1 X40. Z0. F0.3
N51 Z-69.3
N52 X40.306
N53 G3 X40.507 Z-69.298 I0.1 K-2.521
N54 G1 X40.508
N55 G3 X43. Z-69.627 K-2.523
N56 G1 X45.828 Z-68.213
N57 G0 Z1.414
N58 X40.828
N59 G1 X38. Z0. F0.3
N60 Z-69.3
N61 X40.306
N62 G3 X40.507 Z-69.298 I0.1 K-2.521
N63 G1 X43.335 Z-67.884
N64 G0 Z1.414
N65 X38.828
N66 G1 X36. Z0. F0.3
N67 Z-69.3
N68 X39.
N69 X41.828 Z-67.886
N70 G0 Z1.414
N71 X36.828
N72 G1 X34. Z0. F0.3
N73 Z-69.3
N74 X37.
N75 X39.828 Z-67.886

N76 G0 Z1.414
N77 X34.828
N78 G1 X32. Z0. F0.3
N79 Z-69.3
N80 X35.
N81 X37.828 Z-67.886
N82 G0 Z1.414
N83 X32.828
N84 G1 X30. Z0. F0.3
N85 Z-69.3
N86 X33.
N87 X35.828 Z-67.886
N88 G0 Z1.414
N89 X30.828
N90 G1 X28. Z0. F0.3
N91 Z-69.3
N92 X31.
N93 X33.828 Z-67.886
N94 G0 Z1.414
N95 X28.828
N96 G1 X26. Z0. F0.3
N97 Z-69.3
N98 X29.
N99 X31.828 Z-67.886
N100 G0 Z1.414
N101 X26.828
N102 G1 X24. Z0. F0.3
N103 Z-69.3
N104 X27.
N105 X29.828 Z-67.886
N106 G0 Z1.414
N107 X24.828
N108 G1 X22. Z0. F0.3
N109 Z-35.268
N110 X22.713 Z-36.898
N111 X22.715 Z-36.903

N112 G3 X22.8 Z-37.291 I-1.843 K-0.397

N113 G1 Z-37.3

N114 Z-69.3

N115 X25.

N116 X27.828 Z-67.886

N117 G0 Z1.414

N118 X22.828

N119 G1 X20. Z0. F0.3

N120 Z-30.697

N121 X22.713 Z-36.898

N122 X22.715 Z-36.903

N123 G3 X22.8 Z-37.291 I-1.843 K-0.397

N124 G1 Z-37.3

N125 X25.628 Z-38.714

N126 G0 Z1.414

N127 X20.828

N128 G1 X18. Z0. F0.3

N129 Z-26.125

N130 X21. Z-32.982

N131 X23.828 Z-34.396

N132 G0 Z1.414

N133 X18.828

N134 G1 X16. Z0. F0.3

N135 Z-21.554

N136 X19. Z-28.411

N137 X21.828 Z-29.825

N138 G0 Z1.414

N139 X16.828

N140 G1 X14. Z0. F0.3

N141 Z-16.982

N142 X17. Z-23.839

N143 X19.828 Z-25.254

N144 G0 Z1.414

N145 X15.736

N146 G1 X12.908 Z0. F0.3

N147 Z-14.486

N148 X15. Z-19.268
N149 X17.828 Z-20.682
N150 G0 Z1.414
N151 X14.646
N152 G1 X14.644 F0.3
N153 X11.815 Z0.
N154 G3 X12.753 Z-0.884 I-1.466 K-1.343
N155 X12.85 Z-1.3 I-1.751 K-0.416
N156 G1 Z-14.354
N157 X13.908 Z-16.771
N158 X16.736 Z-18.186
N159 G0 Z1.114
N160 X12.298
N161 G1 X1.228 F0.3
N162 X-1.6 Z-0.3
N163 X8.25
N164 G3 X9.379 Z-0.386 I-0.012 K-1.968
N165 X10.85 Z-1.3 I-0.223 K-0.932
N166 G1 Z-14.462
N167 X20.759 Z-37.112
N168 G3 X20.8 Z-37.3 I-0.862 K-0.189
N169 G1 Z-70.3
N170 X40.347
N171 G3 X42.236 Z-70.567 I0.078 K-1.528
N172 X42.46 Z-70.66 I-0.454 K-0.659
N173 G1 X44.46 Z-71.66
N174 G3 X45. Z-72.3 I-0.655 K-0.653
N175 G1 Z-73.3
N176 X47.828 Z-74.714
N177 G0 X66.
N178 Z5.
(ACABAMENTO)
N179 G99
N180 G50 S5000
N181 G96 S345 M3
N182 G0 X66. Z5.

N183 Z0.914
N184 X14.426
N185 G1 X1.228 F0.3
N186 X-1.6 Z-0.5
N187 X8.25
N188 G3 X9.85 Z-1.3 K-0.8
N189 G1 Z-14.471
N190 X19.763 Z-37.129
N191 G3 X19.8 Z-37.3 I-0.782 K-0.171
N192 G1 Z-70.5
N193 X40.4
N194 G3 X41.531 Z-70.734 K-0.8
N195 G1 X43.531 Z-71.734
N196 G3 X44. Z-72.3 I-0.566 K-0.566
N197 G1 Z-73.3
N198 X46.828 Z-71.886
N199 X47.937
N200 G0 X66.
N201 Z5.
N202 M9
N203 G28 U0.
(ROSCA)
N204 M1
N205 T0505
N206 G54
N207 M8
N208 G98
N209 G97 S1000 M3
N210 G0 X66. Z4.947
N211 G0 Z7.447
N212 G1 X9.65 F254.
N213 G32 Z-11.71 F1.5
N214 X11.264 Z-12.517 F1.5
N215 G0 X66.
N216 Z7.447
N217 G1 X9.45 F254.

N218 G32 Z-11.61 F1.5
N219 X11.264 Z-12.517 F1.5
N220 G0 X66.
N221 Z7.447
N222 G1 X9.25 F254.
N223 G32 Z-11.51 F1.5
N224 X11.264 Z-12.517 F1.5
N225 G0 X66.
N226 Z7.447
N227 G1 X9.05 F254.
N228 G32 Z-11.41 F1.5
N229 X11.264 Z-12.517 F1.5
N230 G0 X66.
N231 Z7.447
N232 G1 X8.85 F254.
N233 G32 Z-11.31 F1.5
N234 X11.264 Z-12.517 F1.5
N235 G0 X66.
N236 Z7.447
N237 G1 X8.65 F254.
N238 G32 Z-11.21 F1.5
N239 X11.264 Z-12.517 F1.5
N240 G0 X66.
N241 Z7.447
N242 G1 X8.45 F254.
N243 G32 Z-11.11 F1.5
N244 X11.264 Z-12.517 F1.5
N245 G0 X66.
N246 Z7.447
N247 G1 X8.25 F254.
N248 G32 Z-11.01 F1.5
N249 X11.264 Z-12.517 F1.5
N250 G0 X66.
N251 Z7.447
N252 G1 X8.05 F254.
N253 G32 Z-10.91 F1.5

N254 X11.264 Z-12.517 F1.5

N255 G0 X66.

N256 Z7.447

N257 G1 X7.85 F254.

N258 G32 Z-10.81 F1.5

N259 X11.264 Z-12.517 F1.5

N260 G0 X66.

N261 Z4.947

N262 M9

N263 G28 U0. W0.

N264 M30

%