



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

RICARDO CAMARGO UCHOAS

CONSTRUÇÃO DE UMA FERRAMENTA DE APOIO À PROGRAMAÇÃO EM UM
TORNO CNC

Guaratinguetá
2016

RICARDO CAMARGO UCHOAS

CONSTRUÇÃO DE UMA FERRAMENTA DE APOIO À PROGRAMAÇÃO EM UM
TORNO CNC

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Dr. Manoel Cleber de Sampaio Alves.

Guaratinguetá
2016

U17c	Uchoas, Ricardo Camargo Construção de uma ferramenta de apoio à programação em um torno CNC / Ricardo Camargo Uchoas – Guaratinguetá, 2016. 60 f : il. Bibliografia: f. 50-51 Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016. Orientador: Prof. Dr. Manoel Cleber de Sampaio Alves 1. Usinagem 2. Tornearia 3. Desenho por computador 4. Projeto auxiliado por computador I. Título CDU 621.9
------	--

**CONSTRUÇÃO DE UMA FERRAMENTA DE APOIO À PROGRAMAÇÃO
EM UM TORNO CNC**

RICARDO CAMARGO UCHOAS

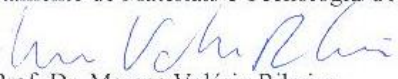
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr.  Marcela Sampaio Martins
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Manoel Cleber de Sampaio Alves
Orientador/Departamento de Materiais e Tecnologia/UNESP-FEG


Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro
Departamento de Materiais e Tecnologia/UNESP-FEG


Prof. Dr. José Vitor Candido de Souza
Departamento de Materiais e Tecnologia/UNESP-FEG

Dezembro de 2016

DADOS CURRICULARES

RICARDO CAMARGO UCHOAS

NASCIMENTO	11.03.1990 – SÃO JOSÉ DOS CAMPOS / SP
FILIAÇÃO	Fernando Labat Uchoas Maria Nair de Camargo
2010/2016	Curso de Graduação em Engenharia Mecânica Universidade Estadual Paulista – UNESP – <i>Campus</i> de Guaratinguetá

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, seus professores e funcionários, pelo conhecimento adquirido e pelo suporte prestado.

Ao meu orientador Prof. Dr. Manoel Cleber de Sampaio Alves, pelo apoio e atenção.

À Escola SENAI “Santos Dumont” pela base de conhecimento e pelo crescimento pessoal e profissional obtido.

Aos meus pais, familiares e amigos, pelo apoio emocional, por acreditarem, e por me motivarem nos anos de trabalho e estudo.

RESUMO

Atualmente, os processos de usinagem têm sido amplamente utilizados para fins acadêmicos e industriais, nos quais a produtividade tornou-se uma busca contínua. Impulsionada pela evolução e disseminação de computadores, a criação de *softwares* especializados na realização de tarefas de diversos tipos teve nos últimos anos um grande aumento. Já em relação aos processos de manufatura de peças utilizando usinagem, verificou-se nas últimas décadas uma grande influência pela evolução das técnicas computacionais, com o aparecimento de máquinas controladas via CNC (Comando Numérico Computadorizado) e de *softwares* CAD (dos inglês *Computer-Aided Design*, que significa Desenho Assistido por Computador) e CAM (do inglês *Computer-Aided Manufacturing*, que significa Manufatura Assistida por Computador). Este trabalho apresenta de maneira geral aspectos relevantes da usinagem via CNC, e as principais motivações para a utilização de *softwares*, além de apresentar o projeto de um sistema de apoio à programação aplicada a um torno controlado via CNC, mais especificamente ao modelo ROMI GL-240M disponível na Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá. Tal ferramenta permite a geração de programas para a obtenção de peças definidas por arquivo de desenho CAD, simplificando e acelerando a etapa de programação CNC.

PALAVRAS-CHAVE: Usinagem. Torneamento. Desenho Assistido por Computador. Manufatura Assistida por Computador. Produtividade.

ABSTRACT

Nowadays, the processes of machining have been largely used to academic and industrial purposes, in which the productivity has become a continuous pursuit. Driven by the evolution and dissemination of computers, the creation of specialized softwares in accomplishment of various types of tasks had in the last years a big increase. In the case of the manufacturing processes of parts using machining, in the last decades there has been a big influence in the evolution of computational techniques, with the appearance of machines controlled by CNC (Computer Numerical Control) and CAD and CAM softwares (Computer-Aided Design / Computer-Aided Manufacturing). This work presents a overview about the important aspects of the CNC machining, and also a project of a programming support system applied to a turning machine controlled by CNC, more specifically the model ROMI GL-240M available at the Engineering College of Guaratinguetá. This tool helps the creation of programs used to obtain products defined by a CAD file, simplifying and quicken the CNC programming stage.

KEYWORDS: Machining. Turning. Computer-Aided Design. Computer-Aided Manufacturing. Productivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de Usinagem	14
Figura 2 – Esquematização do processo de torneamento	15
Figura 3 - Representação das superfícies de usinagem	16
Figura 4 – Torno Universal ROMI modelo T350.....	17
Figura 5 – Torno CNC ROMI modelo GL 400M	18
Figura 6 - Fluxograma simplificado das etapas de funcionamento do sistema	24
Figura 7 - Tela inicial do Sistema “Gerador CNC”	26
Figura 8 – Eixos X (transversal) e Z (longitudinal)	27
Figura 9 - Exemplo de funcionamento do código G71	29
Figura 10 – Exemplo de peça cilíndrica	30
Figura 11 - Exemplo de aplicação do código G70	31
Figura 12 – Exemplo de representação compatível com o sistema.....	32
Figura 13 – Lista de elementos e botões de navegação	33
Figura 14 – Zero-peça identificado no eixo principal	34
Figura 15 – Janela de inserção manual de informações	35
Figura 16 – Ilustração de comunicação entre Computador e Máquina CNC.....	36
Figura 17 – Botões de finalização do programa	36
Figura 18 – Interface gráfica do Sistema Gerador CNC	37
Figura 19 – Menu de acesso	38
Figura 20 – Desenho da peça referente ao Exemplo 1	39
Figura 21 - Desenho da peça em formato DXF compatível, referente ao Exemplo 1.....	40
Figura 22 – Arquivo gerado no formato NC, referente ao Exemplo 1	41
Figura 23 - Desenho da peça referente ao Exemplo 2	42
Figura 24 - Desenho da peça em formato DXF compatível, referente ao Exemplo 2.....	43
Figura 25 - Arquivo gerado no formato NC, referente ao Exemplo 2	44
Figura 26 - Desenho da peça referente ao Exemplo 3	45
Figura 27 - Desenho da peça em formato DXF compatível, referente ao Exemplo 3.....	46
Figura 28 - Arquivo gerado no formato NC, referente ao Exemplo 3	47

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Cálculo da velocidade de corte	17
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVOS	11
1.1.1	Objetivo Geral.....	11
1.1.2	Objetivos Específicos	11
2	REVISÃO LITERÁRIA	12
2.1	USINAGEM	12
2.1.1	Torneamento	15
2.2	USINAGEM VIA CNC	18
2.3	DESENHO TÉCNICO ASSISTIDO POR COMPUTADOR	20
2.4	MANUFATURA ASSISTIDA POR COMPUTADOR.....	21
2.5	SOFTWARE.....	21
3	MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1	PROGRAMAÇÃO DO SISTEMA	25
3.2	ARQUIVO DE DESENHO NO FORMATO DXF	26
3.3	TORNO ROMI LINHA G/GL/GLM	27
3.4	METODOLOGIA.....	29
3.4.1	Ciclos pré-programados.....	29
3.4.2	Importação de coordenadas.....	32
3.4.3	Transmissão de informações.....	34
3.4.4	Criação de arquivo compatível.....	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
4.1	INTERFACE	37
4.2	PROGRAMAS GERADOS	38
4.2.1	Exemplo 1	38
4.2.2	Exemplo 2	42
4.2.3	Exemplo 3	45
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
5.1	OBJETIVOS ATINGIDOS	48
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	48
	REFERÊNCIAS.....	50
	ANEXO A.....	52

1 INTRODUÇÃO

O processo de usinagem por torneamento utilizando máquinas controladas via CNC (Comando Numérico Computadorizado) permite a fabricação de uma ampla gama de geometrias de peças, alcançando normalmente altas taxas de produtividade, com ganhos consideráveis em acabamento superficial e redução de custos, quando comparados à usinagem convencional.

Tais características são muito valorizadas de modo geral nas mais diversas aplicações deste tipo de técnica. Uma etapa do processo de torneamento via CNC, entretanto, pode tornar-se lenta, onerosa e facilitar a ocorrência de erros, trata-se da etapa de elaboração do programa CNC que, se preparada por um operador manualmente, pode tornar-se complexa e longa, reduzindo as vantagens citadas anteriormente.

Com o avanço das tecnologias eletrônicas e digitais nas últimas décadas, e o grande aumento na disseminação de equipamentos que permitem a utilização destes recursos, o desenvolvimento de sistemas que realizam tarefas no lugar de pessoas vem tornando-se cada vez mais frequente, e as possibilidades são incontáveis, permitindo que tarefas, desde as mais simples até as mais complexas, possam ser realizadas ou auxiliadas por computadores, celulares ou outros dispositivos digitais. Tais avanços vêm atingindo diversos campos do conhecimento, como a medicina, a cartografia, a engenharia, dentre outros. Desta maneira, a tecnologia da informação permite que, ao deparar-se com situações e tarefas em que sistemas computacionais são viáveis de aplicação, seja uma opção interessante avaliar a possibilidade do desenvolvimento de ferramentas neste sentido.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Projetar e elaborar um sistema capaz de auxiliar na programação CNC utilizando etapas simplificadas que demandem pouco conhecimento, permitindo a visualização prévia da geometria da peça utilizando recursos técnicos de desenho auxiliado por computador.

1.1.2 Objetivos Específicos

Utilizar a padronização de etapas da programação CNC, facilitando a visualização da sequência de passos a serem realizados pela máquina-ferramenta, aliando à possibilidade de particularizações do código.

Realizar a identificação das etapas de usinagem no código CNC, e a simplificação do código utilizando ciclos de operações padronizadas pelo fabricante, visando o aspecto didático do fácil entendimento e da organização do processo.

2 REVISÃO LITERÁRIA

2.1 USINAGEM

O avanço técnico-científico e as melhorias nos processos produtivos dos diversos setores da indústria, vistos nos séculos XIX, XX e início do século XXI devem-se, em grande parte, ao desenvolvimento das tecnologias de usinagem que vêm ocorrendo continuamente desde então.

Segundo Santos; Sales (2007), a remoção de material de uma peça é a principal característica do processo de usinagem, gerando cavacos, que são os resíduos da matéria-prima, permitindo a transformação e a obtenção do produto desejado, nos mais variados formatos e características de resistência à corrosão, desgaste, etc.

Considerando esta definição, pode-se afirmar que as origens dos processos de usinagem ocorreram ainda na Idade da Pedra Lascada, no Período Paleolítico, de quando se tem registros dos primeiros utensílios fabricados pelo homem, ainda primitivos e principalmente utilizados como armas.

No Período Neolítico, iniciou-se o que ficou conhecido como a Idade da Pedra Polida, quando o desenvolvimento da agricultura permitiu a permanência do homem, até então predominantemente nômade, em residência fixa, o que possibilitou um grande avanço nos processos de fabricação de utensílios, principalmente de cerâmica e madeira.

Pode-se dizer que a usinagem como conhecemos hoje teve seu início no século XVII, em plena Revolução Industrial, com o desenvolvimento das máquinas de furação conhecidas como mandriladoras.

A usinagem convencional abrange hoje diversos tipos de processos, que são realizados por contato direto de uma ferramenta de corte com a matéria-prima, em que a retirada de cavacos se dá principalmente por cisalhamento. Dentre os processos mais comuns que se enquadram nesta classificação estão o torneamento, o fresamento, a furação, o rosqueamento, dentre outros.

Estes processos são realizados normalmente em máquinas-ferramentas, nas quais ocorre movimentação mecânica e contato de ferramentas com a matéria-prima, dando origem ao produto no formato desejado. Dentre as máquinas-ferramentas, destacam-se: torno mecânico, fresadora, retificadora, furadeira, etc.

Estas máquinas permitem hoje grande precisão geométrica e a obtenção de formas variadas com bom acabamento superficial em materiais como aços, ferros fundidos, madeiras, polímeros, compósitos, etc., o que torna a usinagem um tipo de operação muito versátil.

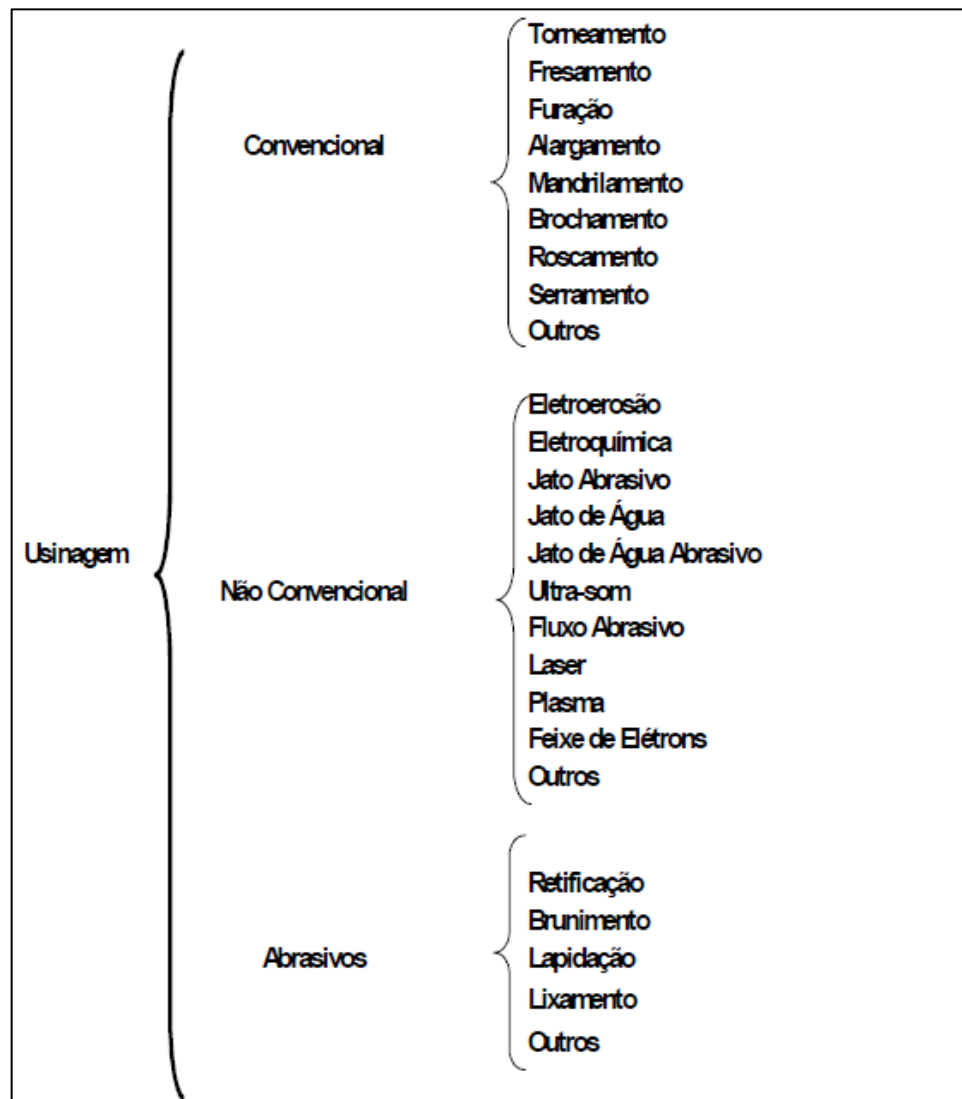
Os diversos tipos de usinagem existentes são aplicados cada um para finalidades específicas, sendo muito comum que tipos diferentes de processos obtenham resultados geométricos semelhantes, porém com diferenças acerca da qualidade superficial, tipo de máquina utilizada, custo de fabricação, facilidade de execução dos processos, rapidez na obtenção do resultado final, dentre outras diferenças, que devem ser estudadas caso a caso antes da fabricação, levando-se em conta o objetivo final, a disponibilidade de máquinas e operadores, o tipo de matéria-prima, etc.

Tantas vantagens tornaram a usinagem predominantemente presente na fabricação industrial de produtos para setores diversos da economia mundial.

A Figura 1 mostra os principais processos de usinagem conhecidos, divididos entre convencionais, não convencionais e abrasivos.

Alguns destes processos são muito utilizados, os principais processos convencionais são: o fresamento, que consiste na usinagem em que a peça movimenta-se em translação tridimensional enquanto a ferramenta rotacional, o torneamento, em que a peça gira em torno de seu eixo principal enquanto a ferramenta translada-se em duas dimensões, a furação, em que a peça é fixa e a ferramenta rotaciona e translada-se em uma dimensão, dentre outros.

Figura 1 - Tipos de Usinagem



Fonte: Santos; Sales (2007)

A realização dos processos de usinagem passa por diversos tipos de variáveis, que determinam a faixa de valores em que se pode trabalhar com segurança, eficiência, e garantindo o prolongamento da vida de máquinas e ferramentas.

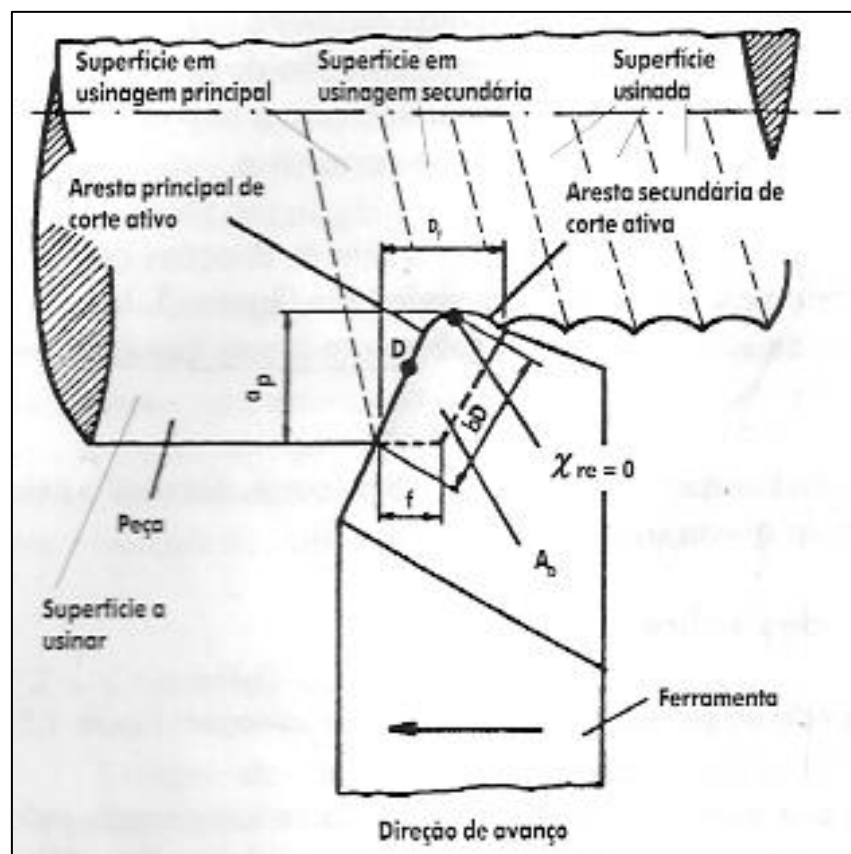
Segundo Diniz; Marcondes; Coppini (2013), os movimentos a serem realizados durante os processos são fator essencial para o projeto e construção de máquinas-ferramentas.

2.1.1 Torneamento

A usinagem por torneamento é o processo em que um sólido gira no eixo principal da máquina-ferramenta conhecida como torno. A retirada de cavacos se dá com o movimento de rotação e o contato desta peça com a ferramenta de corte adequada ao material.

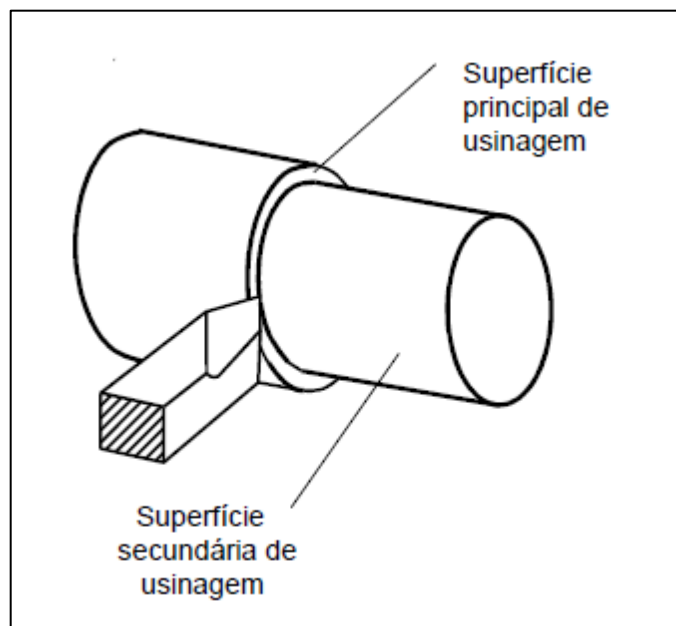
Com a evolução das tecnologias de fabricação de máquinas e elementos, diversos tipos de tornos foram desenvolvidos. O torno convencional com acionamento por energia elétrica surgiu no início do século XX e ainda hoje é largamente utilizado devido à sua praticidade e versatilidade. No torneamento realizado neste tipo de máquina, o material é fixado na máquina por meio da placa. Esta placa é acoplada ao eixo-árvore da máquina, permitindo o movimento de rotação enquanto a ferramenta é fixada no porta-ferramentas e realiza, durante o corte, o movimento de translação. A ferramenta normalmente é posicionada à altura do eixo de rotação da peça, e se movimenta em duas dimensões, no sentido longitudinal (comprimento da peça) e no sentido radial (raio da peça). A Figura 2 mostra uma esquematização do processo de usinagem por torneamento.

Figura 2 – Esquematização do processo de torneamento



O corte se inicia quando ocorre o contato da ferramenta com a peça, quando então são geradas novas superfícies no material. É possível visualizar na Figura 3 que após o corte, duas superfícies podem ser identificadas, a superfície principal de usinagem e a superfície secundária de usinagem.

Figura 3 - Representação das superfícies de usinagem



Fonte: Santos; Sales (2007)

A escolha adequada da ferramenta permite a obtenção de perfis cilíndricos, cônicos, convexos, côncavos, roscados, dentre outros, externa ou internamente.

São diversas as grandezas que decorrem dos processos de usinagem, o que permite que sejam atingidos resultados satisfatórios em diversas configurações diferentes das operações.

Segundo Trent; Wright (2000), para atingir as condições desejadas de corte no torneamento, a velocidade de corte e o avanço são os principais parâmetros os quais o operador pode ajustar.

A velocidade de corte é a grandeza que mostra o deslocamento da peça em relação à ferramenta em função do tempo, considerando o percurso de contato. Pode ser obtido com a Equação 1.

Equação 1 – Cálculo da velocidade de corte

$$V_c = \frac{\pi \times D \times N}{1000} \quad (1)$$

Em que V_c é a velocidade de corte, em [m/min], D é o diâmetro da peça após a retirada de cavaco, em [mm], e N é a rotação, em [revoluções/min]. Esta equação não considera o movimento de avanço realizado pela ferramenta, uma vez que se trata de uma grandeza pequena em relação à velocidade de corte.

O avanço é normalmente um parâmetro configurável na máquina-ferramenta, usualmente dado em [mm/rotação]. Este parâmetro tem grande influência no acabamento superficial, pois determina a distância percorrida pela ferramenta durante uma revolução da peça, o que faz com que trechos da superfície da peça sejam atacados mais vezes, ou menos.

As aplicações do processo de torneamento são diversas, o que o tornou ao longo das últimas décadas uma das técnicas de manufatura mais utilizadas na indústria, ocorrendo grande evolução não só na construção das máquinas convencionais, como nos conceitos e modos de operação.

A Figura 4 exemplifica um torno universal, de operação manual.

Figura 4 – Torno Universal ROMI modelo T350



Fonte: Indústrias Romi S.A. (2016)

A Figura 5 exemplifica um torno controlado via CNC.

Figura 5 – Torno CNC ROMI modelo GL 400M



Fonte: Indústrias Romi S.A. (2016)

2.2 USINAGEM VIA CNC

A usinagem via CNC (Comando Numérico Computadorizado) é o processo por meio do qual as etapas de transformação da matéria prima ocorrem na máquina-ferramenta enquanto esta é controlada automaticamente por códigos e parâmetros inseridos manualmente pelo usuário, ou automaticamente por meio de sistemas de controle.

O termo CNC surgiu na segunda metade do século XX, derivado da sigla NC, do inglês “Numeric Control”, que significa Comando Numérico, técnica desenvolvida pelo MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) na década de 1940, quando se utilizava fitas perfuradas para este fim. A diferença entre os termos se dá pela utilização de computadores para o controle das máquinas-ferramenta, dando origem ao que se conhece hoje como Comando Numérico Computadorizado.

Tal técnica foi fortemente disseminada desde então, sendo utilizada para máquinas de aplicações diversas, como soldagem, punção de chapas, etc., sendo a principal delas a usinagem. A evolução e a utilização de máquinas de usinagem controladas via CNC foram responsáveis por grandes transformações na indústria, devido às diversas possibilidades de redução de custos e tempo de produção.

As máquinas controladas via CNC mais comuns hoje em dia são compostas por um painel em que o operador insere o programa CNC digitando diretamente no teclado ou via portas de transmissão de dados, como por exemplo a USB (do inglês “Universal Serial Bus”), e faz ainda os ajustes necessários para a realização dos processos. Além disso, estas máquinas possuem a área de usinagem, que normalmente possui barreiras de isolamento que são abertas para ajustes e fixação de peças e ferramentas, mas são fechadas durante o ciclo de operação de cada programa, como o objetivo de não permitir influências externas e de restringir o acesso físico desta área, com o intuito de evitar acidentes.

A aplicação do CNC justifica-se principalmente em lotes de grandes quantidades, para a melhoria da eficiência, e também em lotes médios e pequenos em que o tempo gasto em preparação seja justificável, além das peças com geometrias complexas, em lotes de qualquer tamanho (SOUZA, 2007).

A usinagem via CNC, quando comparada à usinagem em máquinas manuais, traz muitas vantagens, como por exemplo:

- Redução de tempo de produção: um dos principais atrativos da utilização de máquinas CNC na usinagem é a possibilidade de redução do tempo de trabalho, devido principalmente às trocas de ferramenta sem a necessidade de parada da máquina, à execução rápida das etapas sem pausas desnecessárias, à produção sequencial de peças iguais com um mesmo programa, e à possibilidade de utilização de altas rotações e velocidades de corte.
- Redução de custos: diversos fatores contribuem para a redução de custos e a consequente melhora na competitividade da usinagem CNC. Dentre eles, destacam-se o menor tempo de utilização das máquinas, a automatização e consequente desnecessidade de aplicação de operadores em diversas etapas, e a melhoria na produtividade devido à diminuição de perdas e retrabalho.
- Obtenção de perfis complexos: a automatização permite que os comandos inseridos em uma máquina CNC possam controlar movimentos complexos com precisão, sendo possível a obtenção de superfícies de diversos tipos, inclusive combinadas, com rapidez e bom acabamento superficial.
- Precisão: os movimentos realizados em máquinas CNC são obtidos por meio de motores controlados que movimentam os eixos, permitindo o posicionamento exato necessário para o contato da ferramenta de usinagem com a peça de maneira precisa.
- Melhorias em acabamento superficial: a sincronização dos movimentos permitida pela usinagem CNC, e a utilização de avanços automáticos em direções diversas,

além da possibilidade de obtenção de altas rotações e velocidades de corte com as ferramentas e refrigeração adequadas, permite que sejam obtidos perfis regulares e superfícies com baixa rugosidade, com ganhos em aspecto visual e possibilidades de utilização das peças para aplicações que demandem qualidade superior de acabamento.

- Baixa intervenção humana: a automatização é um aspecto que diminui drasticamente a intervenção humana durante a execução do processo de usinagem, diminuindo erros, retrabalhos e perdas devido a imprecisões típicas de processos manuais.
- Segurança: há grandes vantagens na utilização de máquinas CNC quando se fala em segurança dos operadores, devido à baixa intervenção humana durante o funcionamento da máquina, além das barreiras de proteção que não seriam viáveis em máquinas manuais, bem como a utilização de sensoriamento para a desativação do equipamento quando determinadas condições inseguras sejam verificadas.

2.3 DESENHO TÉCNICO ASSISTIDO POR COMPUTADOR

Segundo Ribeiro; Peres; Izidoro (2013), o desenho técnico é uma ferramenta utilizada para a representação de resultados de estudos e projetos, de maneira que permita o registro, a transmissão e a interpretação universalmente. Tal ferramenta é utilizada principalmente na Engenharia e Arquitetura, porém encontra-se aplicações em diversos segmentos do conhecimento.

Especificamente dentro da Engenharia Mecânica, a realização de projetos e processos depende de análises de diversos tipos, sendo necessário, muitas vezes, o registro de etapas e a utilização de recursos gráficos para a simulação de possibilidades e a tomada de decisões, que muitas vezes se torna mais simples quando é possível ter uma visão geral virtual de um sólido ou um espaço físico, situação em que o desenho técnico facilmente encontra aplicação.

Com a evolução das técnicas computacionais, algumas ferramentas foram criadas com o objetivo de auxiliar nas diversas funções que um projeto poderia demandar, desde o arquivamento de documentos, até a resolução de problemas e cálculos complexos. Neste sentido, foi criado o Desenho Assistido por Computador, ou, em inglês, *Computer-Aided Design* (CAD), que é o nome dado à aplicação de *softwares* para o projeto e modelagem de produtos em duas ou três dimensões.

Tratando-se do desenho técnico bidimensional, são vários os sistemas que proporcionam recursos neste sentido, sendo o mais consolidado programa AutoCAD, da empresa Autodesk.

Tal sistema, trabalha com formatos de arquivos diversos, tais como o DWG, o DWT e o DXF.

O arquivo no formato DXF, do inglês *Drawing Exchange Format*, é gerado pelos *softwares* CAD e trata-se de um tipo de documento de intercâmbio, pois permite a leitura e edição por programas de desenho para aplicações diversas. É formado por um código-fonte composto por diversos comandos, que permitem a identificação dos elementos do desenho (linhas e arcos) e parâmetros dos elementos (cor, espessura, tipo de linha, etc.) a partir dos quais o desenho é plotado e permite a edição.

2.4 MANUFATURA ASSISTIDA POR COMPUTADOR

Diversas são as possibilidades de utilização de *softwares* para auxiliar em projetos e análises na Engenharia. Dentre estas possibilidades encontram-se os *softwares* CAD (Desenho Assistido por Computador, ou, em inglês, *Computer-Aided Design*), CAE (Engenharia Assistida por Computador, ou, em inglês, *Computer-Aided Engineering*) e CAM.

Os *softwares* CAM, do inglês *Computer-Aided Manufacturing*, ou Manufatura Assistida por Computador, são sistemas digitais utilizados para auxiliar no controle de equipamentos relacionados à fabricação.

Segundo Zeid (1991), o CAM trata-se de um subconjunto da manufatura, e seu funcionamento acontece retirando do processamento CAD as informações geométricas necessárias.

Por esse motivo, as técnicas CAM são normalmente realizadas após o Desenho Assistido por Computador, sempre com o objetivo de cumprir etapas necessárias à fabricação, mas a maneira como é utilizado depende do funcionamento do sistema, que por vezes pode ser realizado concomitantemente com o CAD.

Quando o objetivo do CAM é a geração e exportação de um programa CNC compatível com uma máquina específica, as possibilidades são inúmeras, em alguns casos ocorre grande participação do usuário na tomada de decisões, mas muitas vezes o processamento pode ocorrer quase integralmente independente das vontades do usuário. Normalmente, o objetivo principal é somente a geração de um programa que possa ser lido pela máquina CNC em questão, sem levar em consideração a necessidade do entendimento das etapas por parte do operador.

2.5 SOFTWARE

Ao longo da história, equipamentos dos mais diversos tipos foram criados pelo homem com o objetivo de auxiliá-lo na execução de tarefas, permitindo redução de esforço físico e

mental, além da economia de tempo, muitas vezes drástica, que pode ocorrer com a invenção ou adaptação de dispositivos.

Com a disseminação de computadores nas últimas décadas, e a consequente dissipação de conhecimento acerca da Tecnologia da Informação, a evolução dos sistemas computacionais tem acontecido amplamente, permitindo, a cada novo avanço, a utilização de sistemas em novas finalidades.

Os primeiros sistemas operacionais surgiram na década de 1950, e desde então a evolução de *software* ocorreu exponencialmente, permitindo, nos dias atuais a utilização de computadores para a execução de tarefas dos mais variados tipos.

A programação é a metodologia por meio da qual um *software* pode ser desenvolvido de maneira a permitir a realização de tarefas lógicas obedecendo sequências definidas pelo programador.

Segundo Ascencio; Campos (2012), ao se realizar um novo projeto de *software*, as etapas que configuram uma boa sequência lógica são, respectivamente, análise, algoritmo e codificação. A etapa de análise deve levar em conta a finalidade a qual se deve aplicar o sistema, considerando separadamente quais são os possíveis dados disponíveis para serem o ponto de partida do funcionamento deste sistema, quais são as necessidades técnicas de *hardware* e outros *softwares*, e quais serão os resultados que se deseja obter com sua utilização. Quanto à etapa de algoritmo, trata-se da organização sequencial das entradas, dos processos, das saídas e de todos os outros caminhos a serem utilizados para a obtenção do resultado final, obedecendo a lógica de programação e tratando de cada ponto detalhadamente para que então se possa realizar a programação. Sobre a codificação, trata-se da etapa final de um projeto de *software*, em que é necessária a escolha de uma linguagem de programação adequada, que atenda aos requisitos técnicos levantados na etapa de análise. A etapa de codificação é quando, utilizando-se de elementos gráficos, o layout do sistema é formado, e utilizando-se de elementos lógicos, as funções são implementadas.

Ao longo da execução da codificação, porém, muitas vezes é possível a realização da mesma tarefa utilizando-se de caminhos diferentes. É possível ainda, que se perceba diversas realidades que não foram consideradas na etapa de análise. Sendo assim, é comum que seja realizada a atualização do projeto conforme ocorra a construção do sistema, retroalimentando as etapas anteriores para a obtenção de um resultado satisfatório.

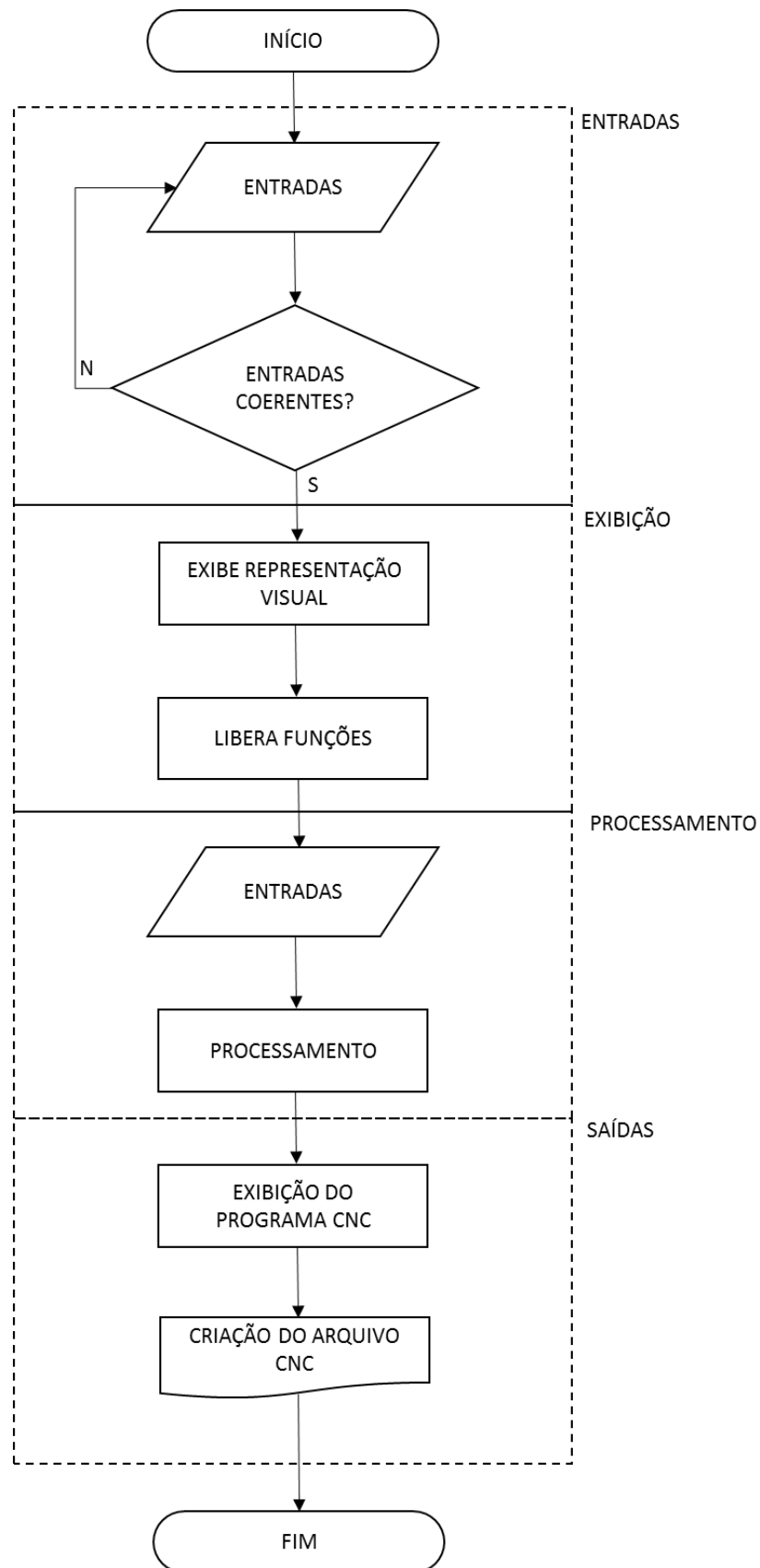
3 MATERIAIS E MÉTODOS

De maneira geral, a construção de um *software* de processamento de dados respeita uma sequência que determina a forma de seu funcionamento. Especificamente neste trabalho, tornou-se necessário que o projeto estivesse subdividido em quatro partes, a partir das quais o sistema foi desenvolvido:

- **Entradas:** *o funcionamento do sistema requer a utilização de um arquivo em formato DXF, gerado por um software CAD, com base no qual é realizada a identificação das características finais da peça que se deseja produzir. Além disso, é necessário que alguns parâmetros sejam inseridos, utilizados como ponto de partida para o processamento do programa CNC.*
- **Exibição:** *para ser possível a utilização do sistema, a exibição do arquivo CAD importado é essencial, uma vez que todas as etapas do processo de usinagem a serem realizadas deverão ser programadas com base na sequência definida pelo usuário, em conjunto com a identificação da forma e das dimensões da geometria a ser fabricada.*
- **Processamento:** *esta etapa caracteriza-se por ser a que demanda mais participação do usuário, na qual deve ocorrer, por meio deste, a identificação dos elementos que determinarão as regiões-limite do produto final, que se tornarão comandos a serem enviados à máquina CNC. Ainda nesta etapa, alguns parâmetros, como referência espacial, velocidade de corte, ferramenta, dentre outros, deverão ser definidos oportunamente. Em paralelo, o programa CNC é gerado e exibido em uma lista de códigos editável.*
- **Saídas:** *após a realização do completo processamento dos dados inseridos, e a posterior geração do programa, torna-se necessária a criação de um arquivo em formato compatível com a máquina CNC, a ser gravado em memória fixa (disco rígido do computador) ou diretamente em dispositivo portátil (cartão de memória) recomendado pelo fabricante da máquina.*

A Figura 6 mostra a sequência de etapas realizadas durante a utilização do sistema.

Figura 6 - Fluxograma simplificado das etapas de funcionamento do sistema



Fonte: Autor

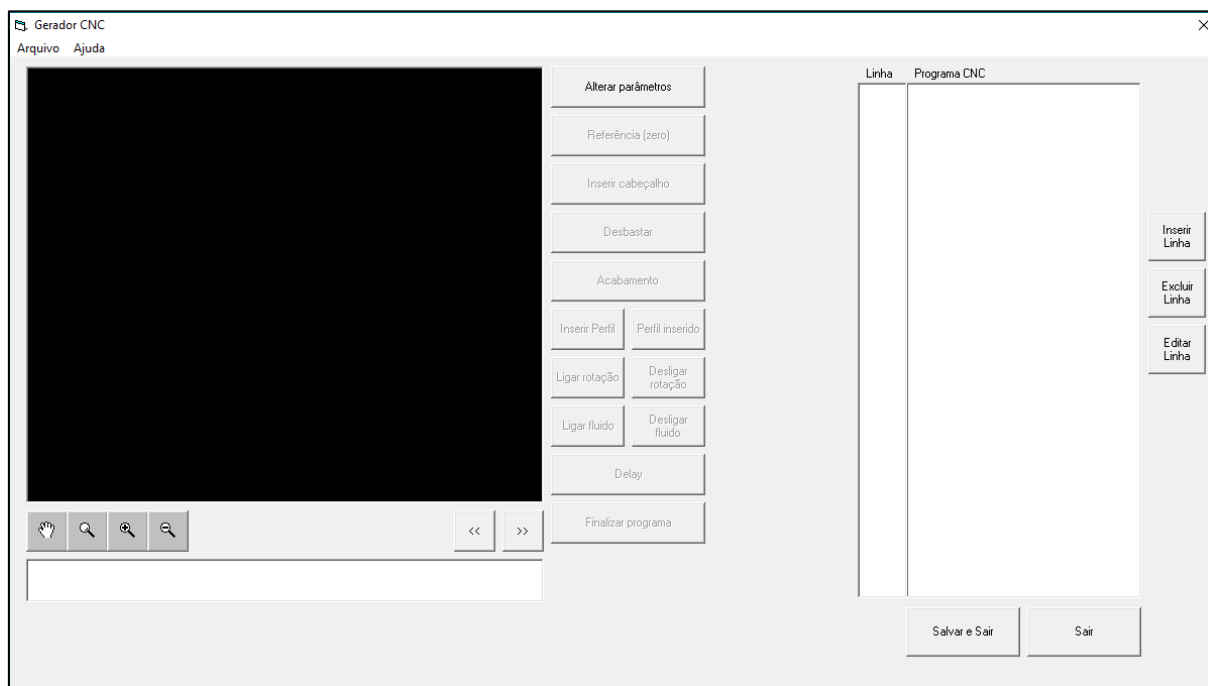
3.1 PROGRAMAÇÃO DO SISTEMA

O desenvolvimento do sistema foi realizado por meio de programação, com a utilização de componentes visuais para a seleção de procedimentos, entrada e saída de dados, tomada de decisão, e seleção dos caminhos que o usuário deseja para obter o resultado desejado. Os componentes visuais são os meios que permitem a interação do usuário com o sistema, tais como botões, formulários, caixas de mensagem, campos de inserção de dados, etc.

A ferramenta de programação selecionada para o desenvolvimento do Sistema Gerador CNC foi o ambiente de desenvolvimento integrado do pacote *Visual Studio*, da empresa Microsoft, que utiliza o *Visual Basic*, uma linguagem de programação de computadores derivada do *BASIC* (do inglês *Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code*, que significa Código de Instruções Simbólicas de Uso Geral para Principiantes). A escolha foi feita devido à praticidade na criação das interfaces visuais, além da diversidade de possibilidades que a linguagem permite. O *Visual Studio* é disponibilizado pela Microsoft em sua plataforma virtual online, no endereço <https://www.visualstudio.com/free-developer-offers/>.

A interface visual do Sistema Gerador CNC, mostrada na Figura 7, foi construída de maneira a simplificar o seu funcionamento, utilizando-se de uma quantidade reduzida de elementos, permitindo que durante cada etapa da geração do código estejam disponíveis somente as funcionalidades necessárias a esta, com o objetivo de diminuir a possibilidade da ocorrência de erros e facilitar a operação do sistema.

Figura 7 - Tela inicial do Sistema “Gerador CNC”



Fonte: Autor

3.2 ARQUIVO DE DESENHO NO FORMATO DXF

A etapa de entradas do Sistema Gerador CNC consiste na introdução, por parte do usuário, dos principais parâmetros do processo de usinagem via CNC, juntamente com a importação de um arquivo que contenha o desenho CAD do perfil da peça, a partir do qual todas as informações geométricas da peça que se deseja produzir serão lidas e interpretadas. Dessa forma, houve a necessidade de utilização de um formato adequado para este arquivo, de onde deve ser possível o acesso aos elementos, que são as linhas e os arcos do desenho CAD para a obtenção dos dados relevantes à geração do código CNC. Portanto, a compatibilidade do sistema é para com arquivos no formato DXF, que contém as características desejadas para este objetivo.

O *software* AutoCAD, o qual o usuário pode utilizar com o objetivo de gerar um arquivo DXF compatível pode ser obtido na plataforma virtual da empresa, no endereço <http://www.autodesk.com.br/education/>.

3.3 TORNO ROMI LINHA G/GL/GLM

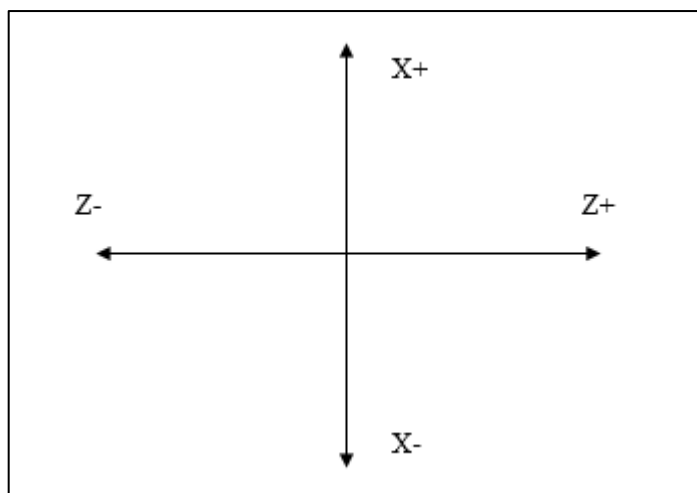
A programação CNC utilizada atualmente para o torneamento CNC pode ocorrer por meio de diversas linguagens, havendo grandes variações de formatos de códigos e modos de funcionamento para diferentes fabricantes e modelos disponíveis.

A escolha do tipo de programação CNC a ser gerado pelo sistema ocorreu devido à disponibilidade do torno modelo GL-240M (fabricado pelas INDÚSTRIAS ROMI S.A.) na Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, da Unesp - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Os códigos interpretados por esta máquina seguem o modelo de programação que utiliza funções preparatórias (G), que têm por objetivo definir qual a maneira de funcionamento do processo de usinagem, funções de posicionamento (X e Z), que permitem a parametrização dos movimentos dos eixos, e funções Miscelâneas (M), que são utilizadas para o acionamento de dispositivos da máquina, dentre outros códigos, de acordo com o manual de programação da linha de tornos G/GL/GLM da empresa ROMI.

São dois os eixos em que se trabalha com este tipo de máquinas, mostrados na Figura 8.

Figura 8 – Eixos X (transversal) e Z (longitudinal)



Fonte: Autor

Ao final da execução do sistema, com a completa geração do código CNC adequado aos objetivos determinados pelo usuário, tal código será exportado, se assim o usuário desejar, por meio da criação de um arquivo no formato NC, extensão compatível com as máquinas da linha em questão.

Algumas considerações são feitas para a criação do programa CNC, e os comandos utilizados são:

- G21 - Programação em milímetro;
- G90 - Sistema de Coordenadas Absolutas;
- G54 - Ativa sistema de coordenadas zero-peça 1;
- G95 - Avanço em milímetros por rotação;
- G92 - Determinar máxima rotação (revoluções/minuto);
- G96 - Ativa velocidade de corte (m/min);
- G00 - Posicionamento utilizando avanço rápido;
- G01 - Interpolação linear (avanço programado);
- G02 - Interpolação circular (sentido horário);
- G03 - Interpolação circular (sentido anti-horário);
- G71 – Ciclo de desbaste longitudinal;
- G70 – Ciclo de acabamento;
- G04 - Tempo de permanência (s);
- T - Troca de ferramenta;
- M04 - Ligar o eixo-árvore esquerdo no sentido anti-horário;
- M05 – Desligar rotação;
- M08 - Ligar o refrigerante de corte
- M09 – Desligar fluido;
- M30 – Fim de programa.

Nas linhas iniciadas por “/” podem ser inseridos comentários desejados pelo usuário que, quando lidos pela máquina, são interpretados como linhas a serem ignoradas, não devendo realizar nenhum trabalho.

3.4 METODOLOGIA

3.4.1 Ciclos pré-programados

O torno CNC ROMI modelo GL-240M possibilita durante o seu funcionamento a utilização de ciclos automáticos pré-programados, que são códigos criados para facilitar a realização da programação CNC nos casos em que seriam necessárias muitas linhas de código com formatos semelhantes, mas coordenadas diferentes.

Para a criação do *software* Gerador CNC foram escolhidas duas funções preparatórias compatíveis com as entradas disponíveis e as saídas desejadas: G70, referente ao Ciclo de Acabamento, e G71, referente ao Ciclo Automático de Desbaste Longitudinal.

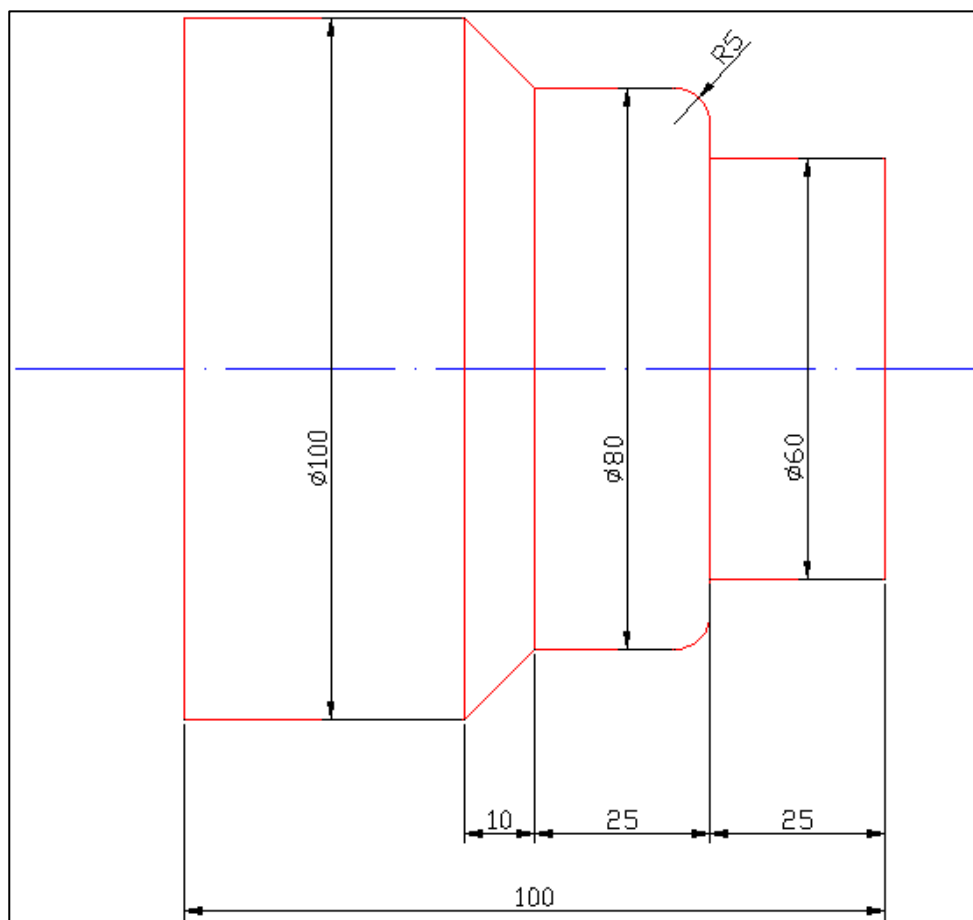
O código G71 possibilita a realização do desbaste da peça com sobremetal, e é programado separadamente em duas linhas, a primeira contendo os parâmetros U e R, que correspondem respectivamente ao valor da profundidade de corte durante cada passe da ferramenta, e ao valor do afastamento no eixo transversal para retorno à posição Z inicial. Para a realização da programação da segunda linha do código G71, é necessário que se determine anteriormente, por meio dos códigos G00, G01, G02 e/ou G03, qual será o formato final da peça que se deseja produzir, nas linhas que serão identificadas pelos códigos N, conforme exemplo mostrado na Figura 9.

Figura 9 - Exemplo de funcionamento do código G71

```
N110 G71 U2 R2;  
N120 G71 P130 Q220 U1 W1 F1;  
N130 G00 X0 Z15;  
N140 G01 X0 Z10 F1;  
N150 G01 X0 Z0 F0.6;  
N160 G01 X60 Z0 F0.6;  
N170 G01 X60 Z-25 F0.6;  
N180 G01 X70 Z-25 F0.6;  
N190 G03 X80 Z-30 R5;  
N200 G01 X80 Z-50 F0.6;  
N210 G01 X100 Z-60 F0.6;  
N220 G01 X100 Z-100 F0.6;
```

Fonte: Autor

Figura 10 – Exemplo de peça cilíndrica



Fonte: Autor

No exemplo da Figura 9, utilizado para a obtenção da peça representada na Figura 10, as linhas N110 e N120 contém as informações referentes à programação do Ciclo de Desbaste Longitudinal, seguidas pelas linhas de N130 a N220, que são utilizadas para a identificação do perfil da peça por meio de códigos.

Na linha N120, os parâmetros utilizados são P, que identifica o número do bloco que define o início do perfil da peça, Q, que identifica o número do bloco que define o final do perfil da peça, U e W, que contém a informação, na unidade anteriormente especificada, do sobremetal para acabamento nos eixos X e Z, respectivamente, e F, que identifica o avanço de trabalho, em unidades por rotação ou unidades por minuto (neste caso, a máquina ignora o avanço indicado em cada uma das linhas, considerando somente o avanço inserido na linha do ciclo).

A linha imediatamente anterior ao ciclo G71 deve contém o posicionamento, por meio de código, da ferramenta no diâmetro e comprimento inicial de desbaste. O funcionamento deste ciclo se dá com o deslocamento da ferramenta paralelamente ao eixo de rotação da peça,

realizando o desbaste longitudinalmente, repetidas vezes, aprofundando no eixo transversal o valor inserido no parâmetro U da primeira linha de código G71.

Excluindo a hipótese de interrupção por outros meios, durante o processo de usinagem que utilizando G71, o ciclo ocorre até o momento em que o desbaste da peça é realizado completamente, com exceção da região do sobremetal definida nos parâmetros U e Q da segunda linha de código G71.

Na etapa seguinte preferencialmente (porém não obrigatoriamente) é incluído o código G70, referente ao Ciclo de Acabamento, que é utilizado em conjunto com o código G71. Neste ciclo são inseridos os parâmetros os parâmetros P e Q, que identificam o início e o fim do bloco que define o perfil da peça final. Este comando realiza o deslocamento de maneira a usinar a peça em suas dimensões finais, considerando em cada etapa, o avanço inserido em cada linha.

Figura 11 - Exemplo de aplicação do código G70

```
N110 G71 U2 R2;  
N120 G71 P130 Q220 U1 W1 F1;  
N130 G00 X0 Z15;  
N140 G01 X0 Z10 F1;  
N150 G01 X0 Z0 F0.6;  
N160 G01 X60 Z0 F0.6;  
N170 G01 X60 Z-25 F0.6;  
N180 G01 X70 Z-25 F0.6;  
N190 G03 X80 Z-30 R5;  
N200 G01 X80 Z-50 F0.6;  
N210 G01 X100 Z-60 F0.6;  
N220 G01 X100 Z-100 F0.6;  
N230 G70 P130 Q220;
```

Fonte: Autor

A Figura 11 demonstra a utilização do código G70, posterior à utilização do Ciclo de Desbaste Longitudinal, exemplificando o trecho de programação que poderia ser utilizado para a obtenção da peça representada na Figura 10.

Pode-se notar que a programação dos ciclos citados anteriormente são amplamente dependentes das informações geométricas da matéria-prima bruta e da peça final que se deseja

obter, sendo necessário que anteriormente à geração do código CNC, todas as informações corretas estejam disponíveis.

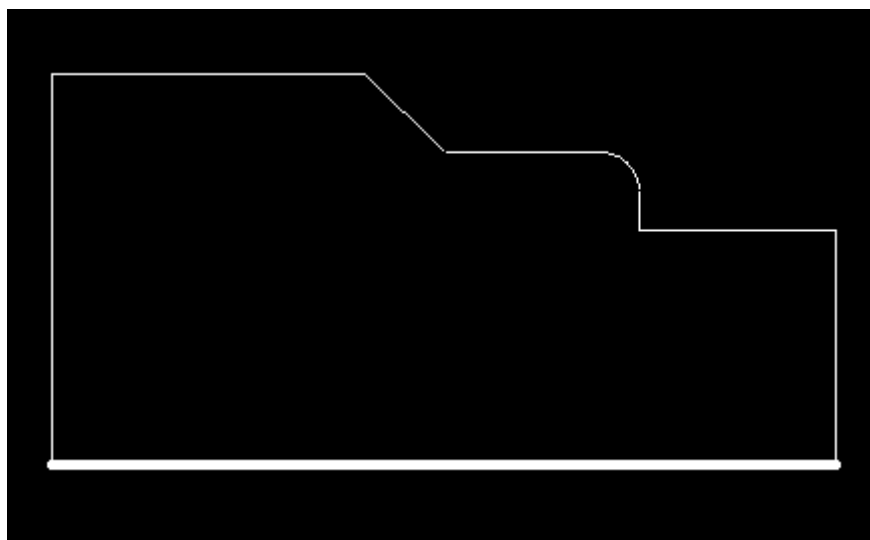
3.4.2 Importação de coordenadas

Os ciclos citados anteriormente são aplicáveis ao Sistema Gerador CNC devido à disponibilidade das dimensões finais da peça, importadas do arquivo DXF.

Esta importação ocorre por meio da interpretação, via programação, do arquivo DXF que contém as informações do desenho da peça que se deseja obter. Como citado anteriormente, tal arquivo contém códigos geradores de elementos do desenho. Para os fins desejados pelo sistema, dois códigos em especial serão utilizados, de maneira que uma ampla gama de possibilidades para a usinagem em torno CNC poderia ser alcançada, são eles os códigos “LINE” e “ARC”.

O funcionamento do sistema requer que o desenho seja realizado em corte, contendo somente a metade superior do desenho, conforme exemplificado na Figura 12.

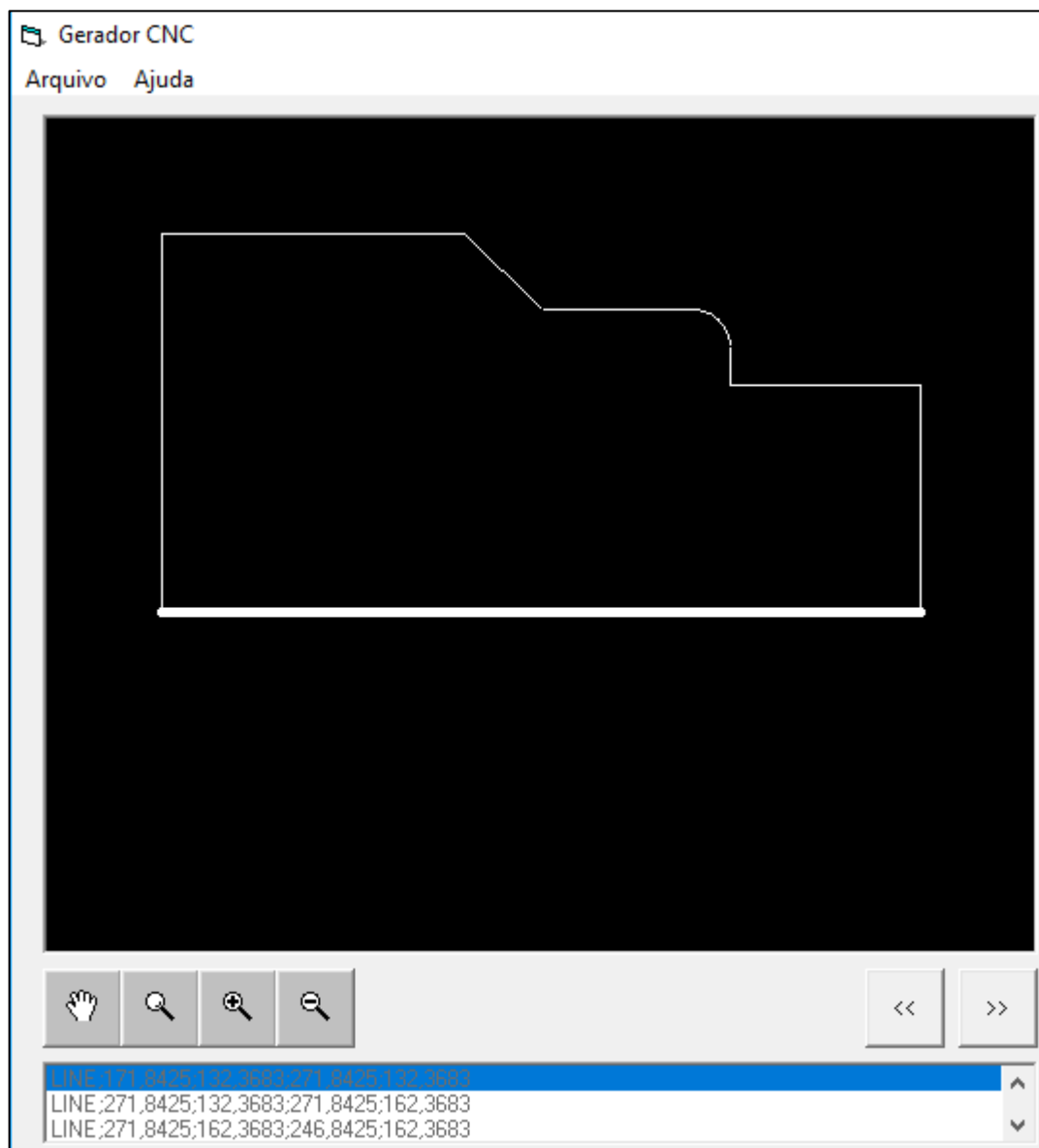
Figura 12 – Exemplo de representação compatível com o sistema



Fonte: Autor

Após serem importados, os elementos do desenho são armazenados em lista desabilitada para clique, sendo permitida a navegação entre os elementos por meio dos botões identificados por “>>” e “<<”, mostrados na Figura 13.

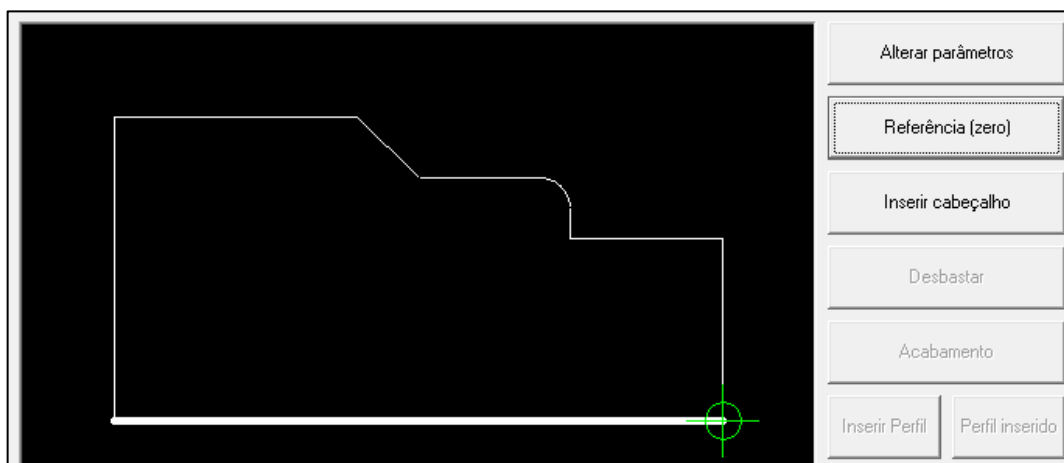
Figura 13 – Lista de elementos e botões de navegação



Fonte: Autor

As coordenadas espaciais contidas na lista podem ser absolutas, quando são referência de posicionamento do elemento no plano, ou relativas, quando indicam comprimentos. Devido ao primeiro caso, torna-se necessária a identificação do ponto a partir do qual a programação será realizada, o denominado “zero-peça”. Para isso, após a adequada importação do desenho e inserção dos parâmetros iniciais, é habilitado o botão “Referência (zero)”, que deve ser acionado pelo usuário antes de quaisquer etapas de geração do código CNC, fazendo com que toda a programação seja feita tendo este ponto como referência. Esta etapa é de grande importância e o elemento selecionado deve ser o eixo principal da peça cilíndrica, destacado na Figura 14.

Figura 14 – Zero-peça identificado no eixo principal



Fonte: Autor

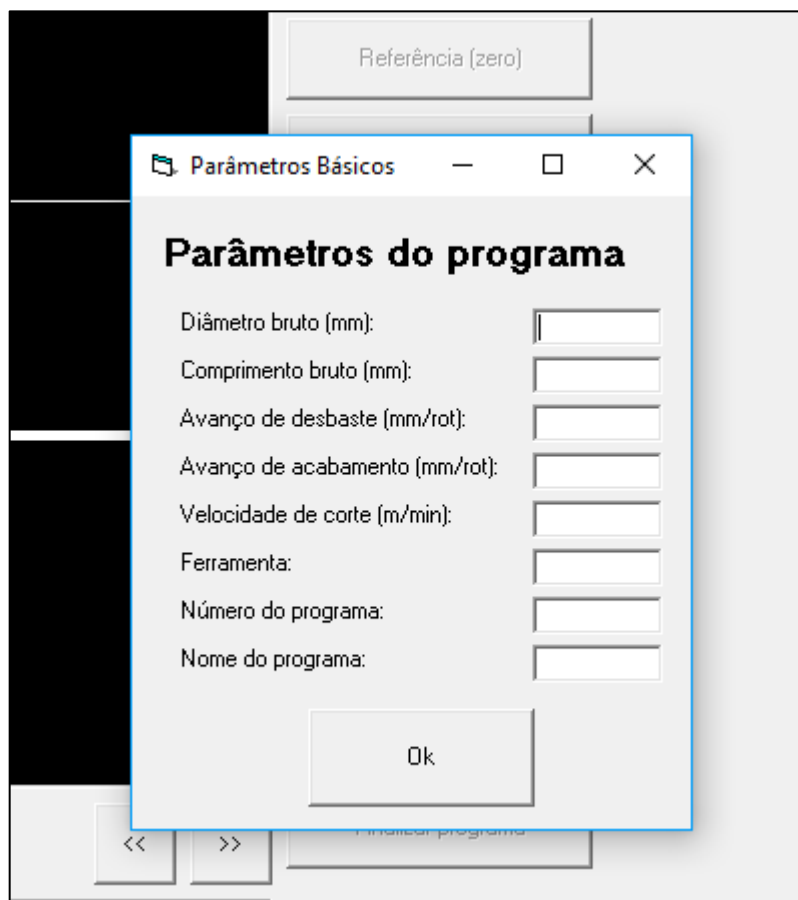
Com os parâmetros devidamente importados, são disponibilizados os botões “Desbastar” e “Acabamento”, que permitem fazer parte da etapa de processamento, que gera o código CNC utilizando-se das informações inseridas pelo usuário, em conjunto com as coordenadas importadas do arquivo DXF.

3.4.3 Transmissão de informações

Para a correta e adequada programação CNC, é necessário que a disponibilidade de informações sobre o processo que se deseja realizar e sobre a peça que se deseja obter seja completa. Sendo assim, etapas de geração são normalmente precedidas de inserção de informações imprescindíveis para que não haja linhas de código incompletas.

A transmissão de informação então se dá com o armazenamento das informações em variáveis, quando são inseridas manualmente, ou lista, quando vêm de importação de arquivo DXF. A inserção manual de informações se dá por meio de janelas, conforme exemplo da Figura 15, que são exibidas oportunamente durante o funcionamento do sistema.

Figura 15 – Janela de inserção manual de informações



Referência (zero)

Parâmetros Básicos

Parâmetros do programa

Diâmetro bruto (mm):

Comprimento bruto (mm):

Avanço de desbaste (mm/rot):

Avanço de acabamento (mm/rot):

Velocidade de corte (m/min):

Ferramenta:

Número do programa:

Nome do programa:

Ok

<< >>

Fonte: Autor

Para o armazenamento das informações sobre o processo, deve ser seguida ordem logicamente adequada de solicitações, para que não sejam inseridas informações desnecessárias ao processamento de dados.

A cada necessidade advinda da utilização do sistema, a linha do código CNC é gerada em forma de texto, composta pela função adequada (G, M, X, Z, etc.) e pelas informações armazenadas em variáveis ou listas.

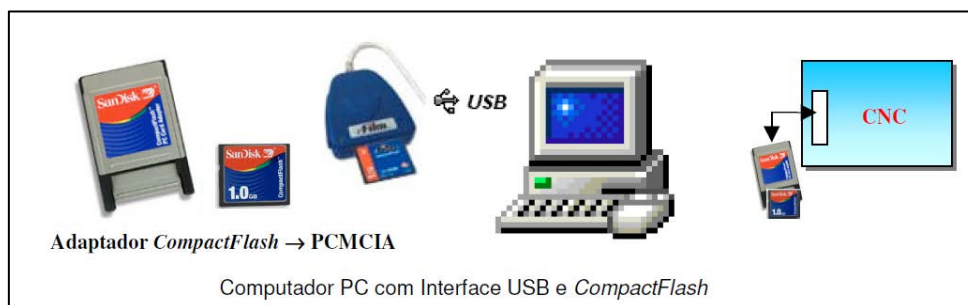
Desta maneira se dá a transferência de informações durante o funcionamento do sistema, permitindo que seja gerado o código CNC na sequência adequada.

3.4.4 Criação de arquivo compatível

A programação CNC normalmente pode ser realizada em computador, via *software*, ou diretamente no painel da máquina-ferramenta. No primeiro caso, torna-se necessária a comunicação entre o computador e a máquina, por meios diretos (ex.: comunicação via rede)

ou indireto (ex.: transferência de arquivos via cartão SD). Especificamente no caso dos tornos ROMI linha G/GL/GLM, a comunicação se dá por meio de dispositivo de leitura PCMCIA, do inglês *Personal Computer Memory Card International Association*, utilizando-se de adaptador adequado, conforme esquematização mostrada da Figura 16.

Figura 16 – Ilustração de comunicação entre Computador e Máquina CNC

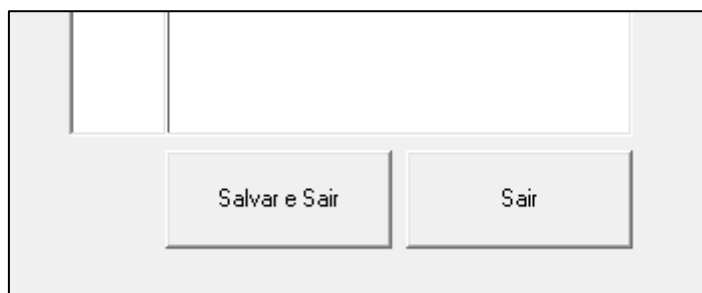


Fonte: MANUAL DE PROGRAMAÇÃO E OPERAÇÃO LINHA G / GL / GLM CNC FANUC 0I-TD

Uma vez completado o processamento no sistema, para a adequada utilização do programa CNC neste tipo de máquina, o arquivo a ser gravado deve ter formato NC. Este tipo de arquivo pode ser gerado acessando o menu “Arquivo” -> “Salvar CNC”, ou clicando em “Salvar e Sair”, logo abaixo da lista de códigos, conforme Figura 17.

Ambos os caminhos acessam a mesma função, com a diferença de que, acessando o botão, após a criação do arquivo o programa se fecha automaticamente.

Figura 17 – Botões de finalização do programa



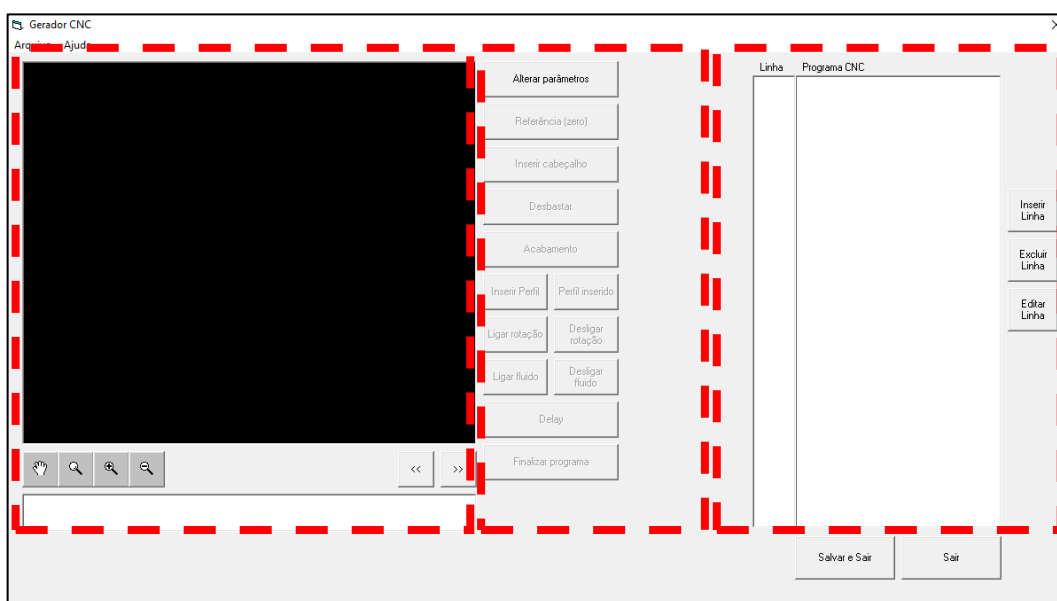
Fonte: Autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 INTERFACE

A Figura 18 mostra a interface inicial do Gerador CNC, que contém áreas com diferentes funcionalidades.

Figura 18 – Interface gráfica do Sistema Gerador CNC



Fonte: Autor

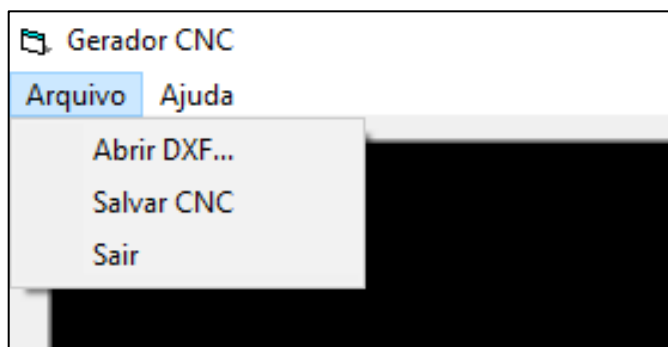
A área destacada à esquerda contém as funcionalidades referentes à manipulação do desenho, permitindo ao usuário ampliar ou reduzir a escala da representação da peça, mover o desenho na tela e navegar entre os elementos, tornando mais espessa a linha selecionada. Esta área é integrante da etapa de exibição. Trata-se ainda da região que contém o armazenamento das informações sobre a peça retiradas do arquivo DXF, e aonde busca-se tais informações.

A área ao centro é composta por botões e refere-se à etapa de processamento do sistema. É onde o usuário tem acesso às funções que deseja incluir no programa CNC, desde o cabeçalho até o fim do programa. Inicialmente, os botões são desabilitados, com o intuito de reduzir possibilidades de erros, sendo liberados gradualmente, na medida em que o usuário insere informações relevantes e realiza atividades vinculadas. Esta área é intermediária entre a área da esquerda, da qual as informações são retiradas, e a área da direita, onde o programa CNC gerado é armazenado.

Por fim, a área destacada à direita faz parte da etapa de saídas do sistema. Todas as linhas de código CNC são inseridas em lista, podendo ser excluídas e/ou editadas por meio dos botões “Excluir linha” e “Editar linha”. É possível ainda inserir uma nova linha desejada pelo usuário e que não tenha sido incluída na etapa de processamento.

Além das áreas em destaque, a tela inicial contém o menu superior, conforme mostrado na Figura 19, em que o usuário pode carregar o arquivo DXF com o qual deseja trabalhar, salvar o arquivo CNC em arquivo compatível com a máquina, ou ainda encerrar o funcionamento do sistema.

Figura 19 – Menu de acesso



Fonte: Autor

Na parte inferior da tela, o usuário tem ainda as opções “Salvar e sair” e “Sair”, para encerrar o funcionamento do sistema.

4.2 PROGRAMAS GERADOS

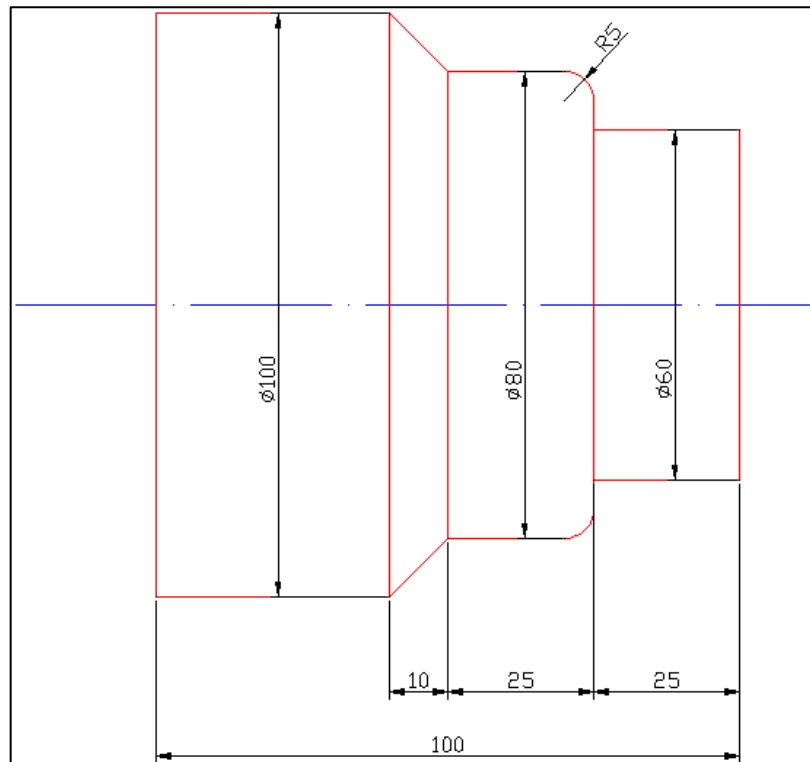
Abaixo seguem testes realizados, com o intuito de gerar programas CNC compatíveis com o desenho da peça. São exibidos respectivamente o desenho com cotas, o desenho contido no arquivo DXF compatível com o sistema e o programa CNC gerado e armazenado em arquivo NC, exibido no programa “Bloco de Notas” do sistema operacional “Windows 10” da empresa Microsoft.

4.2.1 Exemplo 1

O primeiro exemplo mostra uma peça de comprimento final 100,00[mm], representada na Figura 20, com diâmetros diferentes ao longo do corpo, contendo em seu formato uma região convexa, representada na Figura 22 pela linha N220. Além disso, a peça contém também um

cone, representado em código pela linha N240. O avanço de desbaste utilizado é de 0,80[m/min] enquanto o avanço de acabamento é de 0,40[m/min]. Anteriormente ao ciclo de acabamento é realizada uma troca de ferramenta.

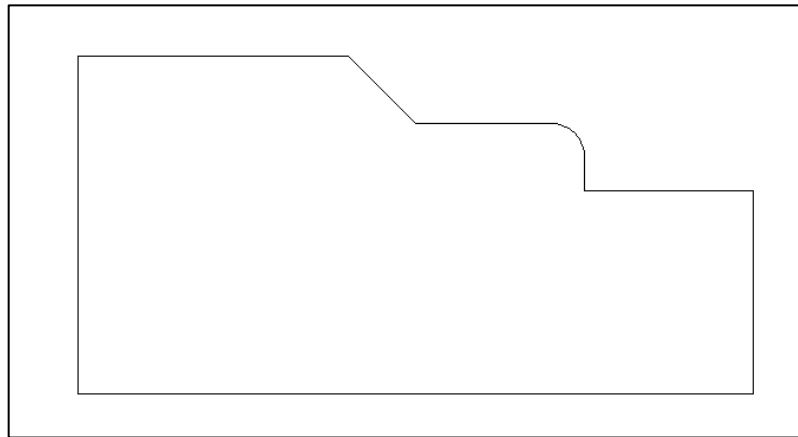
Figura 20 – Desenho da peça referente ao Exemplo 1



Fonte: Autor

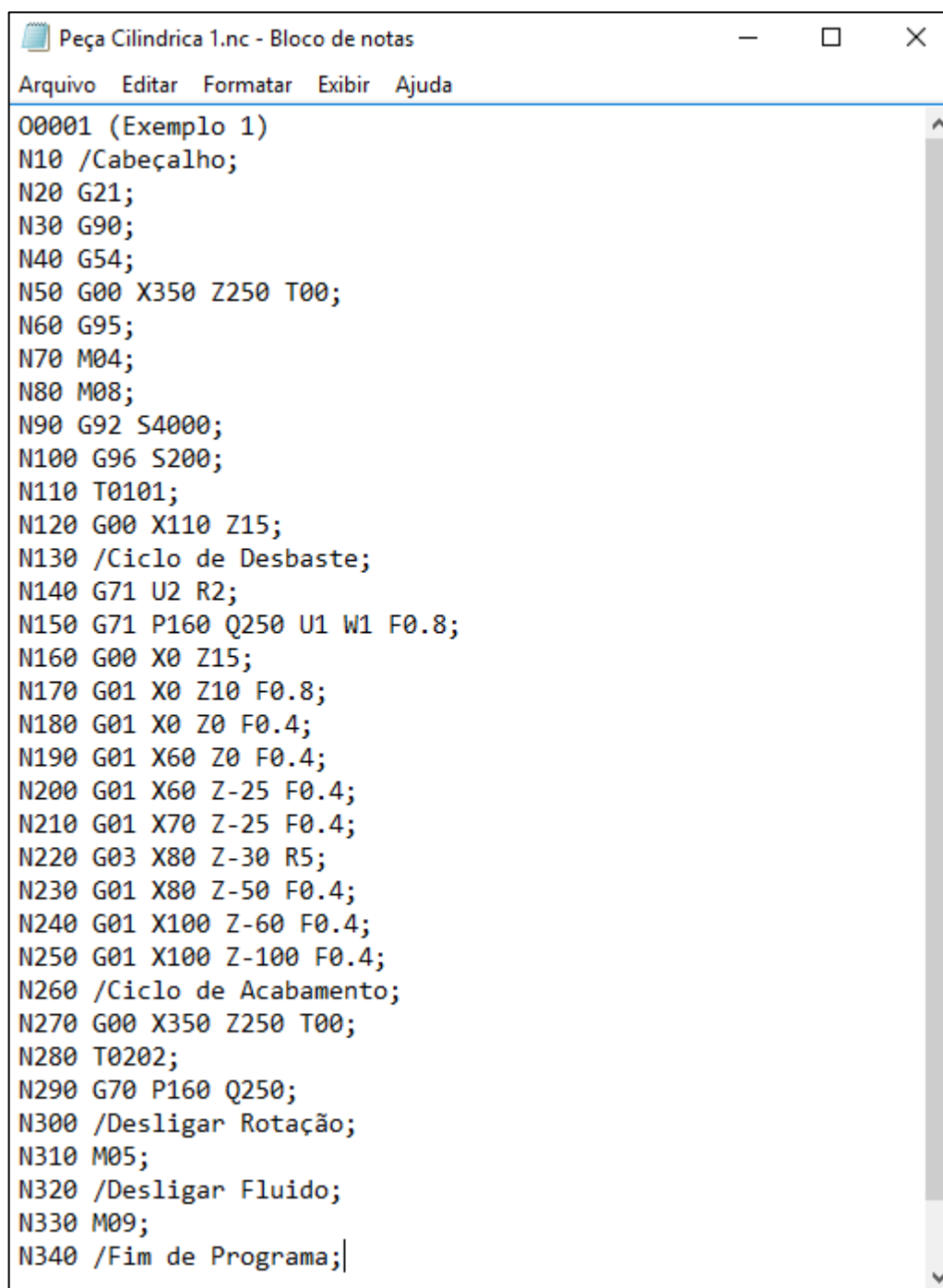
O diâmetro bruto da peça e o comprimento bruto são ambos informados logo após a importação do arquivo DXF, e valem 110,00[mm]. A Figura 21 representa o arquivo DXF compatível.

Figura 21 - Desenho da peça em formato DXF compatível, referente ao Exemplo 1



Fonte: Autor

Figura 22 – Arquivo gerado no formato NC, referente ao Exemplo 1



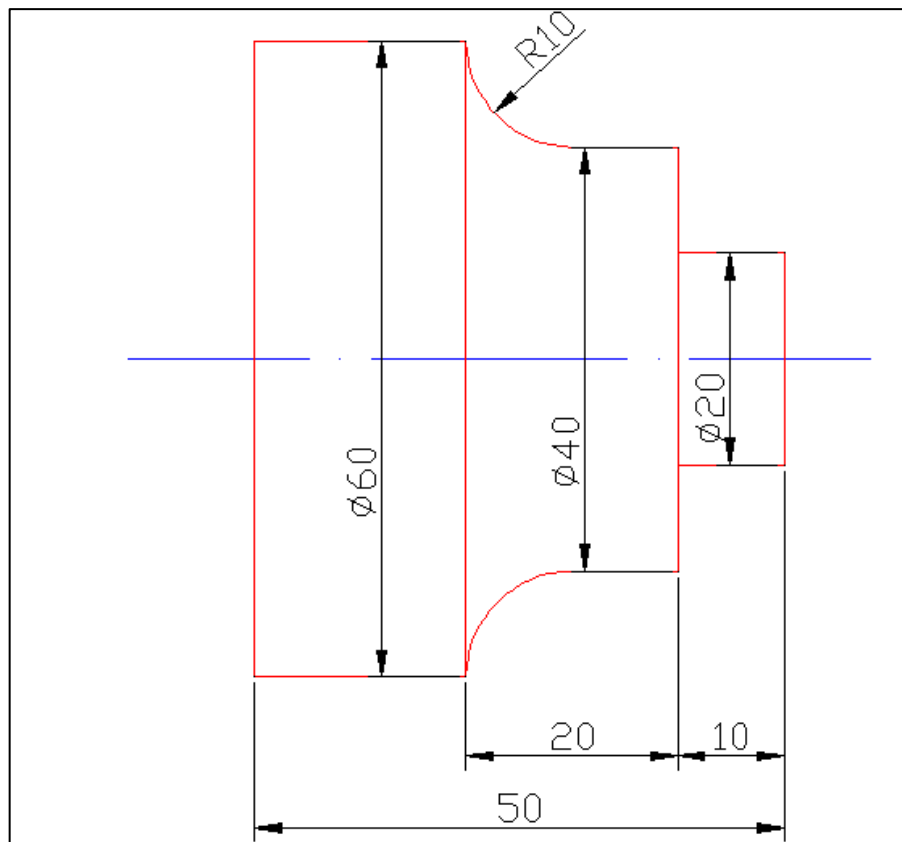
```
O0001 (Exemplo 1)
N10 /Cabeçalho;
N20 G21;
N30 G90;
N40 G54;
N50 G00 X350 Z250 T00;
N60 G95;
N70 M04;
N80 M08;
N90 G92 S4000;
N100 G96 S200;
N110 T0101;
N120 G00 X110 Z15;
N130 /Ciclo de Desbaste;
N140 G71 U2 R2;
N150 G71 P160 Q250 U1 W1 F0.8;
N160 G00 X0 Z15;
N170 G01 X0 Z10 F0.8;
N180 G01 X0 Z0 F0.4;
N190 G01 X60 Z0 F0.4;
N200 G01 X60 Z-25 F0.4;
N210 G01 X70 Z-25 F0.4;
N220 G03 X80 Z-30 R5;
N230 G01 X80 Z-50 F0.4;
N240 G01 X100 Z-60 F0.4;
N250 G01 X100 Z-100 F0.4;
N260 /Ciclo de Acabamento;
N270 G00 X350 Z250 T00;
N280 T0202;
N290 G70 P160 Q250;
N300 /Desligar Rotação;
N310 M05;
N320 /Desligar Fluido;
N330 M09;
N340 /Fim de Programa;
```

Fonte: Autor

4.2.2 Exemplo 2

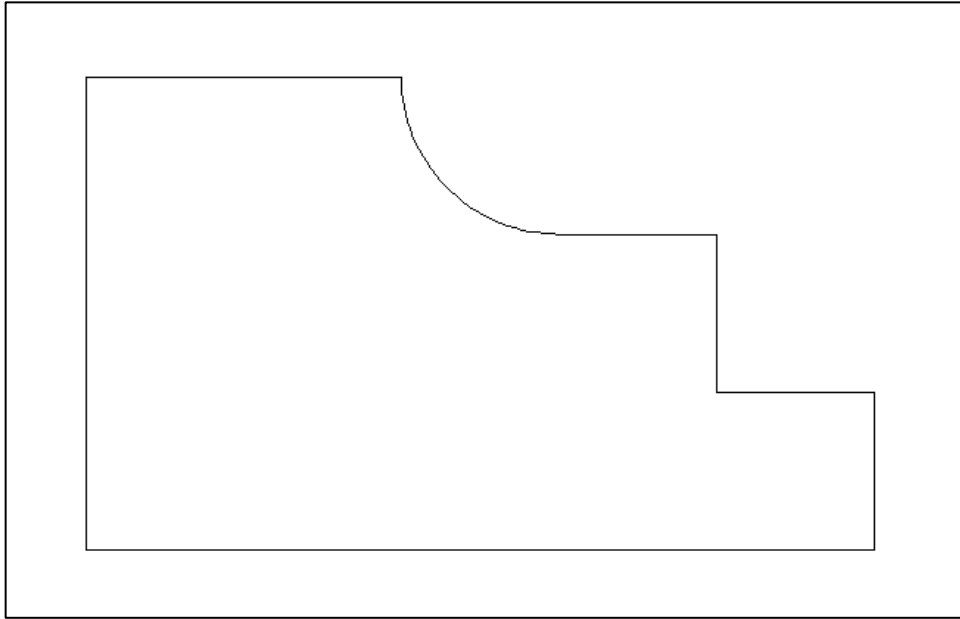
O Exemplo 2 mostrado nas Figuras 23, 24 e 25, tem perfil simplificado e foi inserido com o intuito de mostrar a diferença em relação ao Exemplo 1, quando se trata da execução de regiões côncavas, utilizando, na linha N230 o comando G02 (interpolação circular no sentido horário), ao contrário da linha N220 do Exemplo 1, que utiliza o comando G03 (interpolação linear no sentido anti-horário).

Figura 23 - Desenho da peça referente ao Exemplo 2



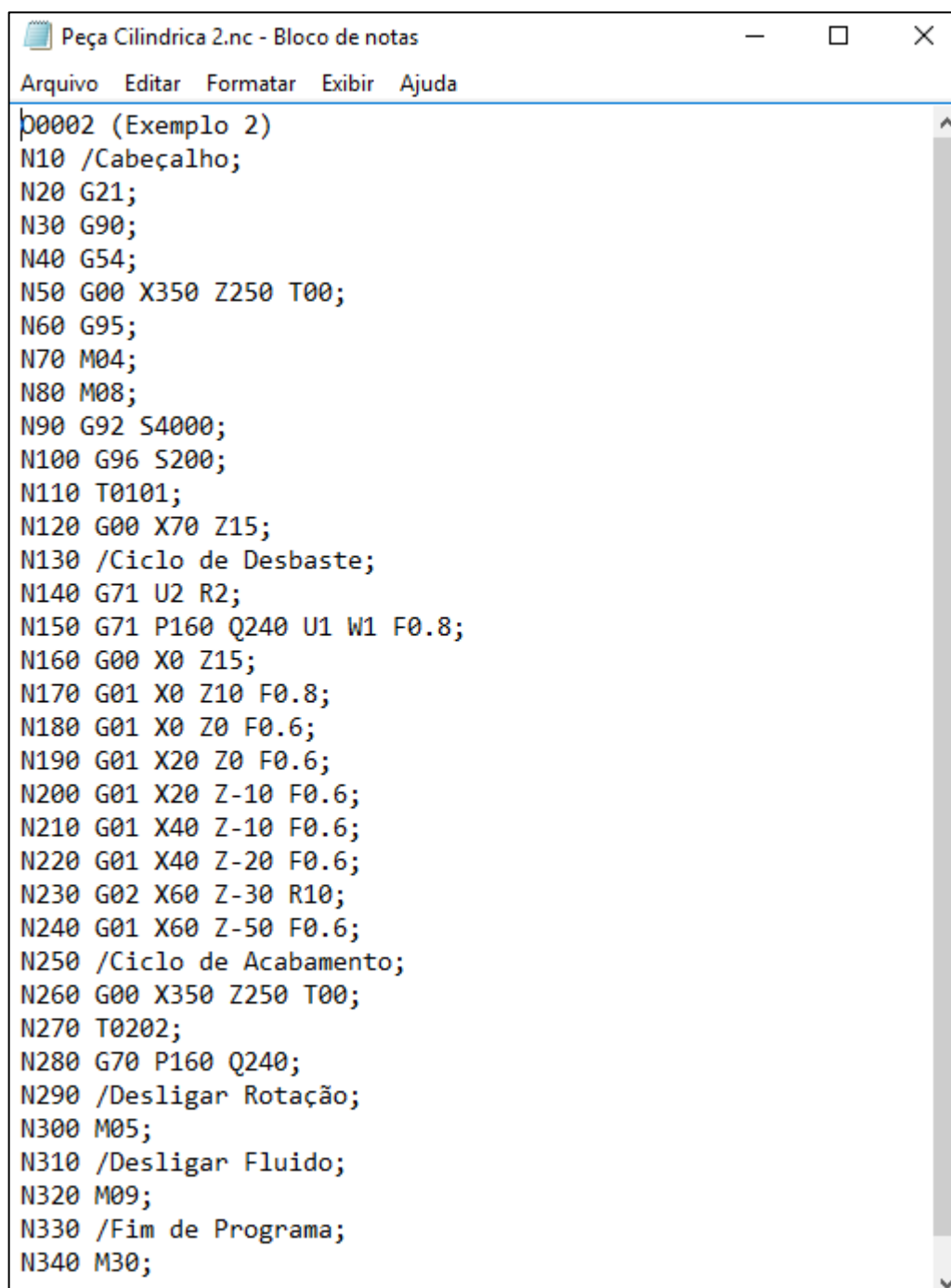
Fonte: Autor

Figura 24 - Desenho da peça em formato DXF compatível, referente ao Exemplo 2



Fonte: Autor

Figura 25 - Arquivo gerado no formato NC, referente ao Exemplo 2



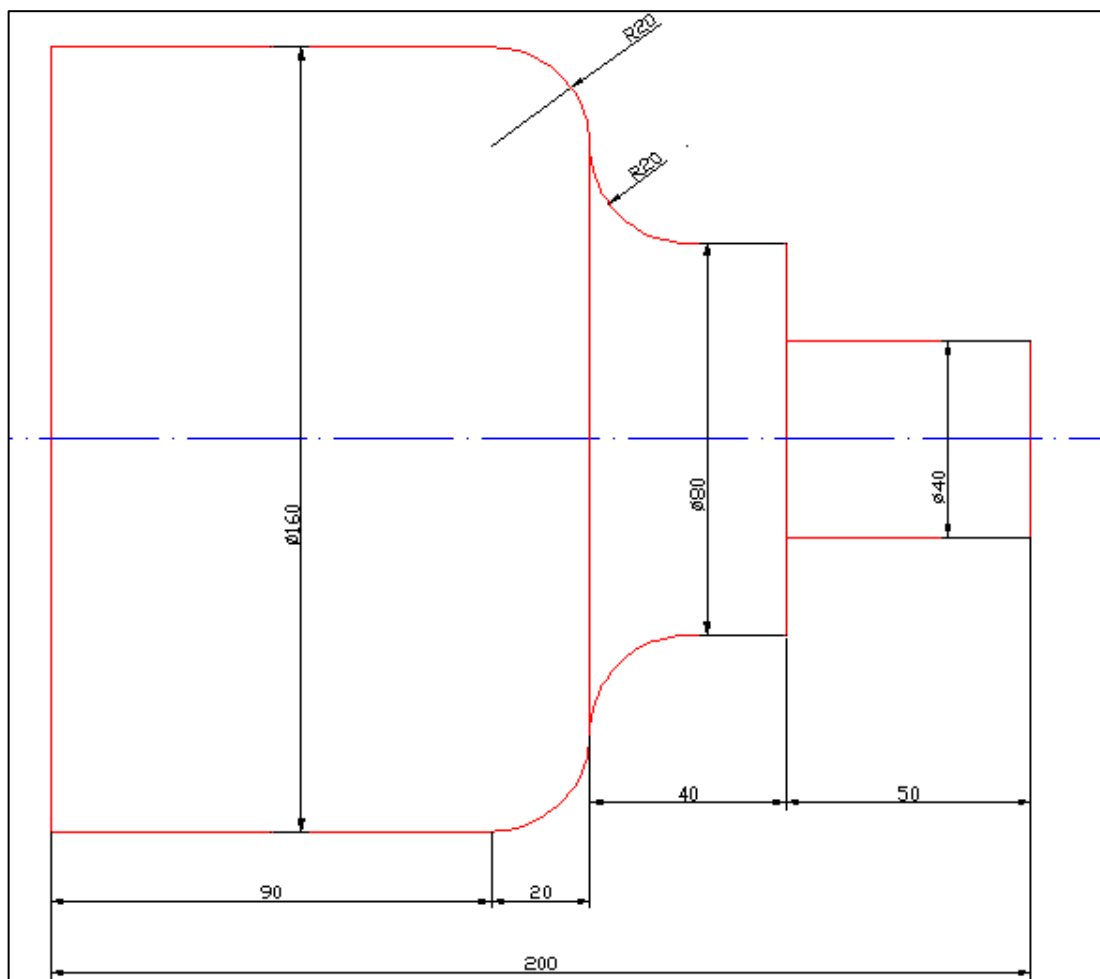
```
O0002 (Exemplo 2)
N10 /Cabeçalho;
N20 G21;
N30 G90;
N40 G54;
N50 G00 X350 Z250 T00;
N60 G95;
N70 M04;
N80 M08;
N90 G92 S4000;
N100 G96 S200;
N110 T0101;
N120 G00 X70 Z15;
N130 /Ciclo de Desbaste;
N140 G71 U2 R2;
N150 G71 P160 Q240 U1 W1 F0.8;
N160 G00 X0 Z15;
N170 G01 X0 Z10 F0.8;
N180 G01 X0 Z0 F0.6;
N190 G01 X20 Z0 F0.6;
N200 G01 X20 Z-10 F0.6;
N210 G01 X40 Z-10 F0.6;
N220 G01 X40 Z-20 F0.6;
N230 G02 X60 Z-30 R10;
N240 G01 X60 Z-50 F0.6;
N250 /Ciclo de Acabamento;
N260 G00 X350 Z250 T00;
N270 T0202;
N280 G70 P160 Q240;
N290 /Desligar Rotação;
N300 M05;
N310 /Desligar Fluido;
N320 M09;
N330 /Fim de Programa;
N340 M30;
```

Fonte: Autor

4.2.3 Exemplo 3

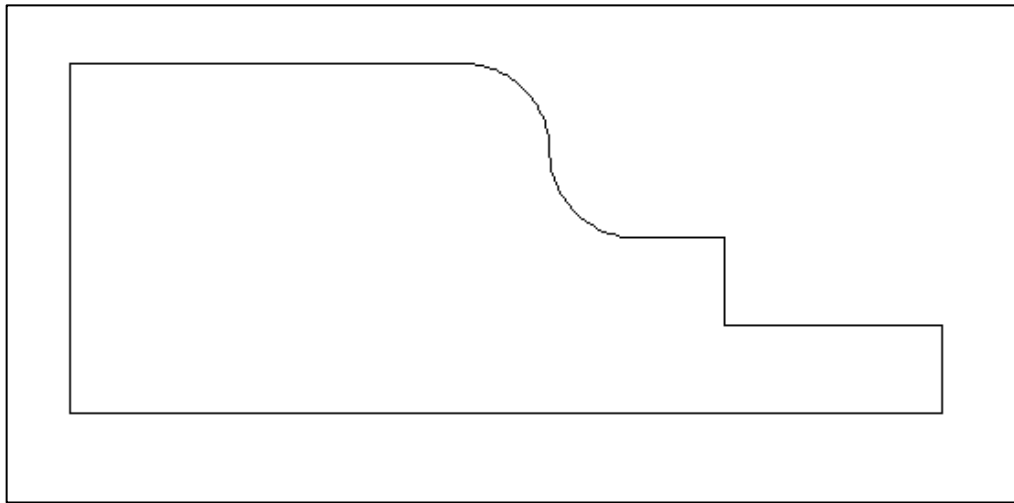
O último exemplo, representado pelas Figuras 26, 27 e 28, mostra o programa para a fabricação de uma peça com dois tipos diferentes de raios, ainda que de mesmo diâmetro, realizados um após o outros, representados nas linhas N230 e N240 da Figura 28.

Figura 26 - Desenho da peça referente ao Exemplo 3



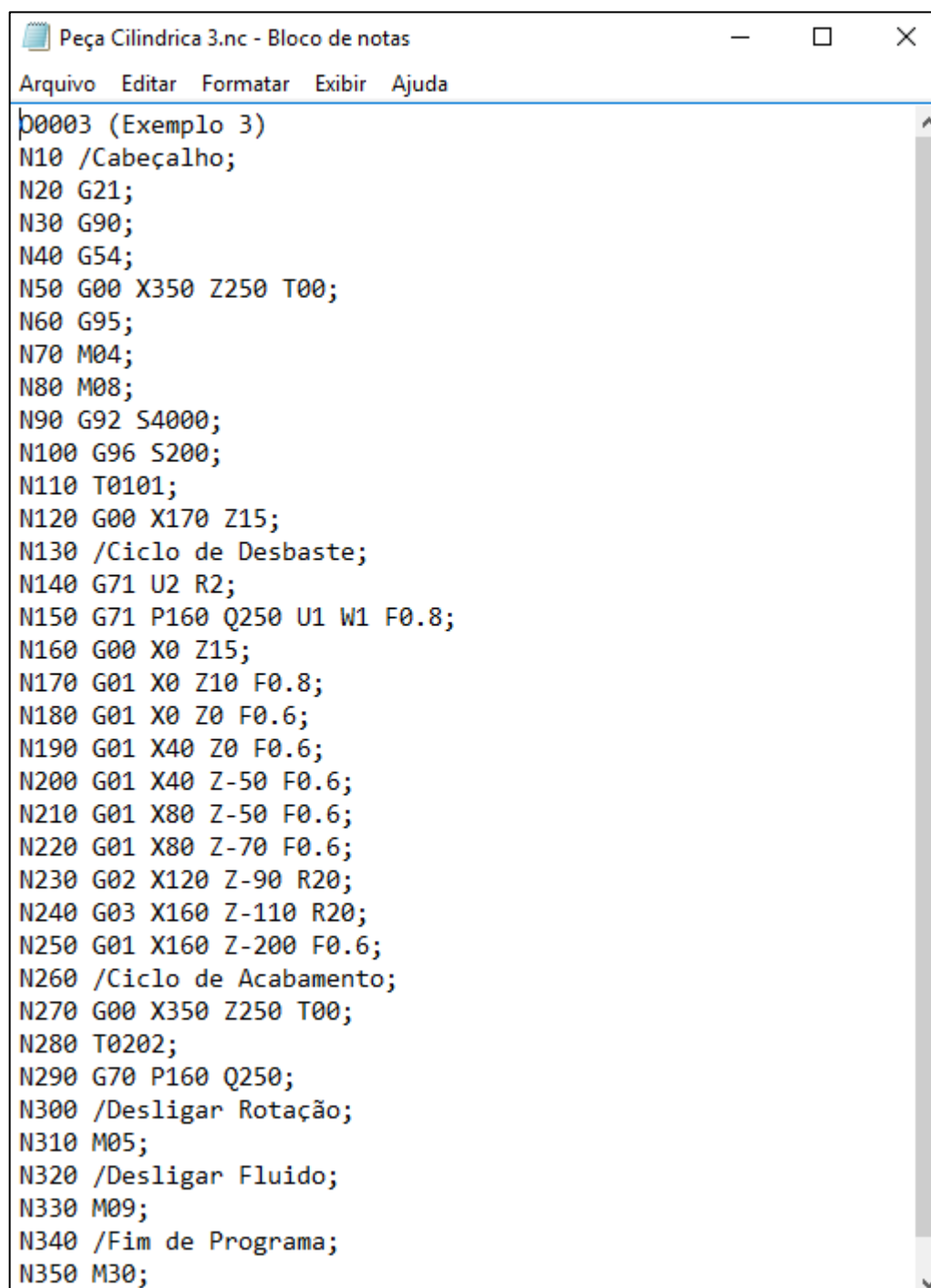
Fonte: Autor

Figura 27 - Desenho da peça em formato DXF compatível, referente ao Exemplo 3



Fonte: Autor

Figura 28 - Arquivo gerado no formato NC, referente ao Exemplo 3



```
O0003 (Exemplo 3)
N10 /Cabeçalho;
N20 G21;
N30 G90;
N40 G54;
N50 G00 X350 Z250 T00;
N60 G95;
N70 M04;
N80 M08;
N90 G92 S4000;
N100 G96 S200;
N110 T0101;
N120 G00 X170 Z15;
N130 /Ciclo de Desbaste;
N140 G71 U2 R2;
N150 G71 P160 Q250 U1 W1 F0.8;
N160 G00 X0 Z15;
N170 G01 X0 Z10 F0.8;
N180 G01 X0 Z0 F0.6;
N190 G01 X40 Z0 F0.6;
N200 G01 X40 Z-50 F0.6;
N210 G01 X80 Z-50 F0.6;
N220 G01 X80 Z-70 F0.6;
N230 G02 X120 Z-90 R20;
N240 G03 X160 Z-110 R20;
N250 G01 X160 Z-200 F0.6;
N260 /Ciclo de Acabamento;
N270 G00 X350 Z250 T00;
N280 T0202;
N290 G70 P160 Q250;
N300 /Desligar Rotação;
N310 M05;
N320 /Desligar Fluido;
N330 M09;
N340 /Fim de Programa;
N350 M30;
```

Fonte: Autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 OBJETIVOS ATINGIDOS

Durante o planejamento e desenvolvimento do projeto do Sistema Gerador CNC, muitas foram as dificuldades técnicas encontradas, de maneira que alterações na proposta inicial tiveram de ser feitas com o objetivo de obter como resultado uma ferramenta na qual a quantidade de erros pudesse ser minimizada. Por esse motivo, foi necessário, para atender aos principais objetivos iniciais, adequar o funcionamento com a utilização dos ciclos pré-programados do torno GL-240M, as funções G70 e G71, o que tornou mais prática a utilização das coordenadas disponíveis em um modelo.

De maneira geral, a ferramenta permite que se construa um programa CNC do início ao fim, sem grande necessidade de conhecimento aprofundado da programação da máquina por parte do usuário. Porém, como há a possibilidade de edição manual das linhas do programa, neste caso é recomendável que haja conhecimento prévio. Deve-se salientar ainda que é absolutamente necessário o conhecimento dos parâmetros de usinagem a serem inseridos nas etapas descritas no Anexo A.

Os programas gerados contêm linhas iniciadas com “/” que são comentários para a identificação dos trechos do programa em que cada função é desempenhada, e além disso, a quantidade de linhas é reduzida por conta, principalmente, da utilização dos ciclos pré-programados da máquina. Por esses fatores, considera-se que o resultado da correta operação do sistema pode proporcionar apoio quanto ao aspecto didático, facilitando o adequado entendimento do programa CNC.

Analisando-se de maneira geral o funcionamento do sistema, considera-se que, devido à simplificação das etapas e a automática identificação e tomada de dados do arquivo DXF, é possível obter uma grande redução de tempo na criação de um programa CNC para este tipo de máquina, principalmente nos casos de peças maiores e com mais detalhes.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Numa primeira avaliação, um avanço próximo a ser feito seria a função de estimativa de tempo de funcionamento da máquina durante a fabricação de uma peça. Esta função foi considerada no início do projeto e deve ser concluída com o estudo mais detalhado dos ciclos pré-programados da máquina, seguidos pela implementação no sistema.

Com a plataforma inicial obtida, próximos passos podem ser considerados, como a ampliação das possibilidades de operações a serem realizadas, conforme os ciclos disponíveis na máquina, como para a obtenção de roscas ou usinagem interna.

É possível ainda um avanço para utilização da ferramenta no apoio à programação de centros de usinagem controlados via CNC, o que demandaria um estudo mais aprofundado, uma vez que haveria a inclusão uma dimensão e conceitos diferentes da programação voltada para o torneamento.

REFERÊNCIAS

- AUTODESK. **Educação:** software gratuito para estudantes, educadores e escolas Autodesk. Disponível em: < <http://www.autodesk.com.br/education/>>. Acesso em: 08 out. 2016.
- BENZATTI, L. F. L. **Interface gráfica para programação e simulação de máquina CNC.** 2005. 44 f. Trabalho de Graduação em Ciência da Computação - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2005.
- DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais.** 8. ed. São Paulo: Art Liber, 2013. 272 p.
- GONÇALVES, M. A. F. **Geração de programas CNC através da implementação de funções direcionadas às características do processo produtivo.** 2013, 118f. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- GORLA, F. F. L. **Torneamento da liga de alumínio da classe 6005 utilizando ferramenta cerâmica.** 2015. 57 f. Trabalho de Graduação em Engenharia de Materiais – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.
- INDÚSTRIAS ROMI S.A. (Ed.). **Linha ROMI GL:** GL 400M. Disponível em: < <http://www.romi.com/produtos/linha-romi-gl/>>. Acesso em: 03 dez. 2016.
- INDÚSTRIAS ROMI S/A. **Linha ROMI T:** T 350. Disponível em: < <http://www.romi.com/produtos/linha-romi-t/>>. Acesso em: 03 dez. 2016.
- INDÚSTRIAS ROMI S/A. **Manual de programação e operação:** linha G / GL / GLM - CNC FANUC 0I-TD. Santa Bárbara D'Oeste. 252p. 2000.
- MICROSOFT. **Free developer software & services:** Visual Studio. Disponível em: < <https://www.visualstudio.com/free-developer-offers/>>. Acesso em: 08 dez. 2016.
- PROTOPTIMUS. **Máquinas CNC:** a história do comando numérico computadorizado. Disponível em: <<http://www.proptimus.com.br/maquinas-cnc-historia-comando-numerico-computadorizado/>>. Acesso em: 26 out. 2016.
- RIBEIRO, A. C.; PERES, M. P.; IZIDORO, N. **Curso de desenho técnico e AutoCAD.** São Paulo: Pearson, 2013, 362p.
- SANTOS, S. C.; SALES, W. F. **Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais.** São Paulo: ArtLiber, 2007. 246 p.
- SCHNEIDER, E. L. K. **Adequação e controle de um pós-processador para centro de usinagem vertical.** 2015. 65 f. Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2015.
- SOUZA, D. J. A. **Usinagem de superfícies definidas em CAD.** Estudos Tecnológicos em Engenharia 3.1 (2007): 58-73. Periódico. Santa Maria. Vol. 3, nº 1.

TRENT, E. M.; WRIGHT, P. K. **Metal Cutting**. 4. ed. Woburn: Butterworth Heinemann, 2000. 446 p.

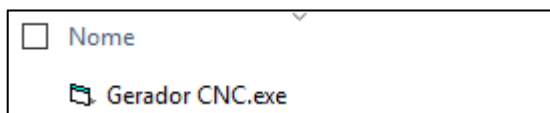
T.I ESPECIALISTAS. **A evolução do software**. Disponível em: <http://www.tiespecialistas.com.br/2013/03/a-evolucao-do-software/>>. Acesso em: 08 dez. 2016.

ZEID, I. **CAD/CAM theory and practice**. Singapore: McGraw-Hill Higher Education, 1991. 1052 p.

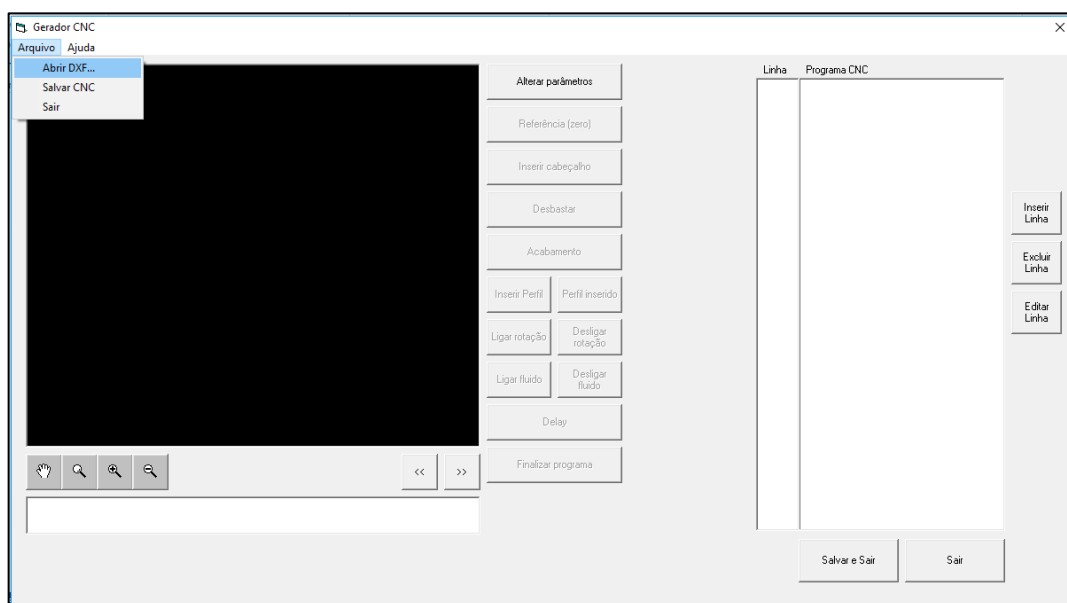
ANEXO A

Manual de utilização do Sistema Gerador CNC

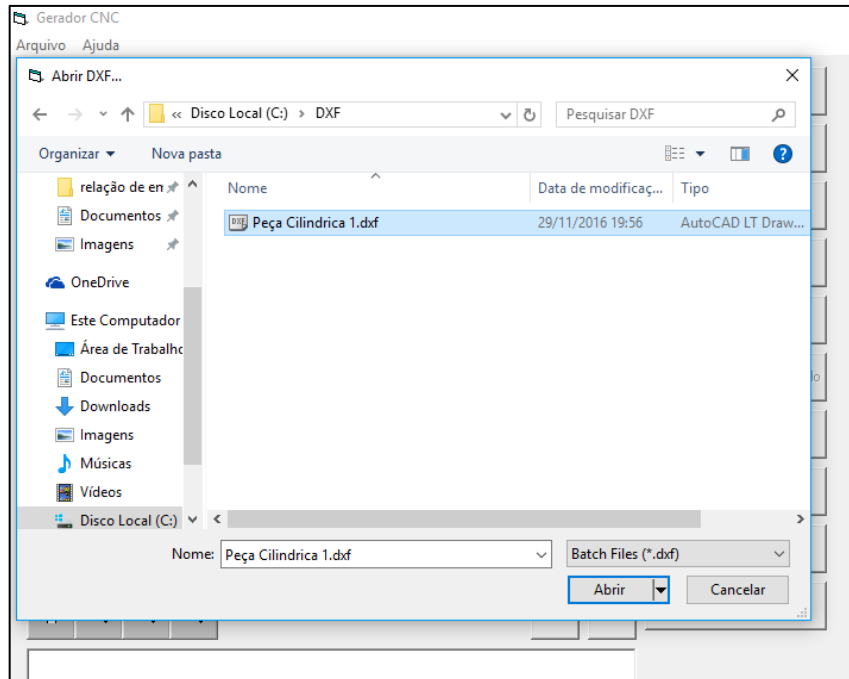
Passo 1: No Windows Explorer, execute o arquivo “Gerador CNC.exe”



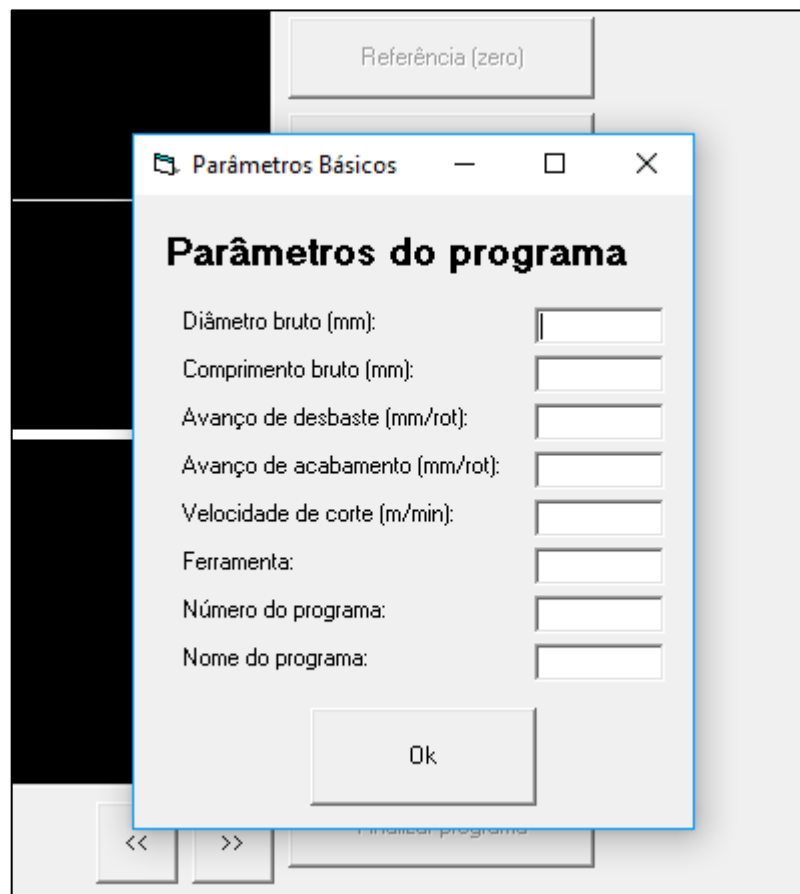
Passo 2: Na janela inicial, clique em “Arquivo” e depois “Abrir DXF” para importar o modelo.



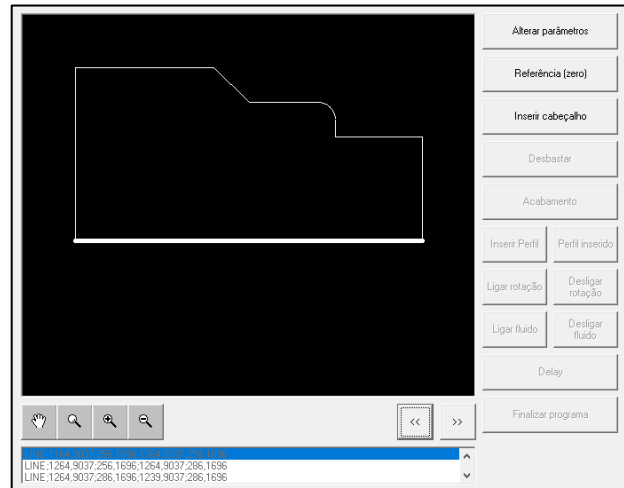
Passo 3: Procure o local onde o arquivo no formato DXF está armazenado, selecione-o e clique em “Abrir”.



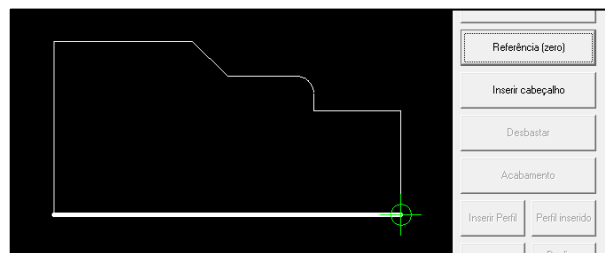
Passo 4: Insira os parâmetros solicitados para o programa CNC. Estes parâmetros serão utilizados na criação das linhas referentes ao cabeçalho e ao Ciclo de Desbaste. Ao inserir, clique em “Ok”.



Passo 5: Utilize os botões “<<” e “>>” para seleccionar o elemento que representa o eixo principal da peça, no comprimento final que se deseja obter, e clique em “Referência (zero)”.



Neste momento, o sistema está referenciado e o sinal do zero-peça aparecerá na extremidade do elemento.



Passo 6: Selecione o botão “Inserir cabeçalho”.

		Linha	Programa CNC	
Alterar parâmetros		N10	/Cabeçalho	Inserir Linha Excluir Linha Editar Linha
Referência (zero)		N20	G21	
Inserir cabeçalho		N30	G90	
Desbastar		N40	G54	
Acabamento		N50	G00 X350 Z250 T00	
Inserir Perfil		N60	G95	
Perfil inserido		N70	M04	
Ligar rotação		N80	M08	
Desligar rotação		N90	G32 S4000	
Ligar fluido		N100	G96 S200	
Desligar fluido		N110	T0101	
Delay				
Finalizar programa				

As primeiras linhas do programa serão inseridas na lista “Programa CNC”. Neste momento alguns botões serão habilitados.

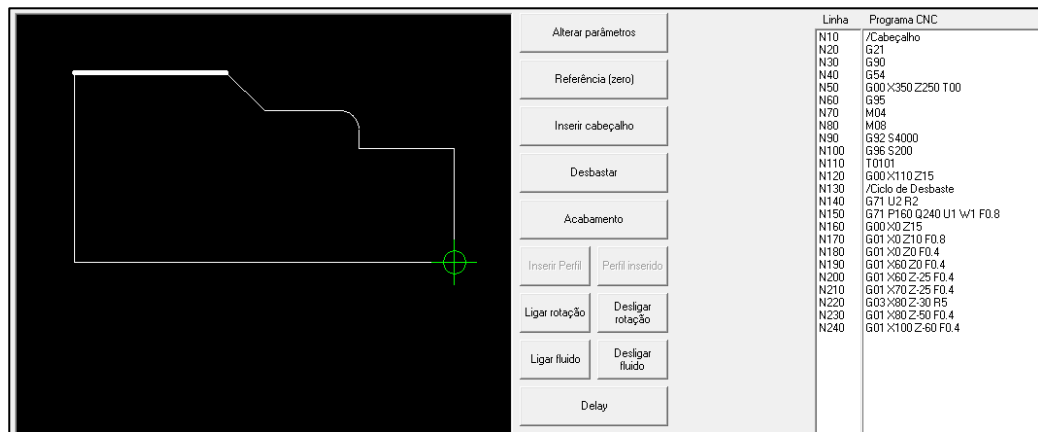
Passo 7: Clique em “Desbastar”. Na janela que abrirá, insira os valores para sobremetal e profundidade de desbaste.

Passo 8: Utilizando os botões “<<” e “>>” selecione o primeiro elemento que define o perfil da peça. Este elemento deve ter uma de suas extremidades na posição $X = 0$ e $Z = 0$. Em seguida clique em “Inserir perfil”.



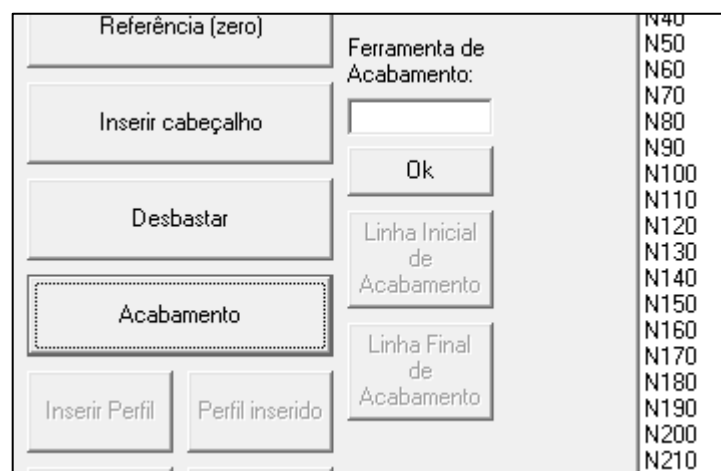
É possível notar que uma linha será inserida na lista “Programa CNC”.

Selecione o próximo elemento e clique novamente em “Inserir perfil”. Repita o procedimento até inserir o elemento que representa a última superfície tenha sido inserida, e então clique em “Perfil inserido”.



Neste momento, o ciclo de desbaste estará completo na lista “Programa CNC”.

Passo 9: Clique em “Acabamento”, digite a posição da ferramenta de acabamento e clique em “Ok”.



Em seguida, selecione, na lista “Linha” o item que representa a primeira linha do movimento de acabamento, e então clique em “Linha inicial de Acabamento”.

Ferramenta de Acabamento:	N50	G00 X350 Z250 T00
2	N60	G95
Ok	N70	M04
Linha Inicial de Acabamento	N80	M08
Linha Final de Acabamento	N90	G92 S4000
	N100	G96 S200
	N110	T0101
	N120	G00 X110 Z15
	N130	/Ciclo de Desbaste
	N140	G71 U2 R2
	N150	G71 P160 Q240 U1 W1 F0.8
	N160	G00 X0 Z15
	N170	G01 X0 Z10 F0.8
	N180	G01 X0 Z0 F0.4
	N190	G01 X60 Z0 F0.4
	N200	G01 X60 Z-25 F0.4
	N210	G01 X70 Z-25 F0.4
	N220	G03 X80 Z-30 R5
	N230	G01 X80 Z-50 F0.4
	N240	G01 X100 Z-60 F0.4

Selecione então a linha que representa o último movimento de acabamento e clique em “Linha Final de Acabamento”.

Ferramenta de Acabamento:	N50	G00 X350 Z250 T00
2	N60	G95
Ok	N70	M04
Linha Inicial de Acabamento	N80	M08
Linha Final de Acabamento	N90	G92 S4000
	N100	G96 S200
	N110	T0101
	N120	G00 X110 Z15
	N130	/Ciclo de Desbaste
	N140	G71 U2 R2
	N150	G71 P160 Q240 U1 W1 F0.8
	N160	G00 X0 Z15
	N170	G01 X0 Z10 F0.8
	N180	G01 X0 Z0 F0.4
	N190	G01 X60 Z0 F0.4
	N200	G01 X60 Z-25 F0.4
	N210	G01 X70 Z-25 F0.4
	N220	G03 X80 Z-30 R5
	N230	G01 X80 Z-50 F0.4
	N240	G01 X100 Z-60 F0.4

Neste momento o cliço de acabamento estará completo e será inserido o código referente na lista “Programa CNC”.

N250	/Ciclo de Acabamento
N260	G00 X350 Z250 T00
N270	T0202
N280	G70 P160 Q240

Passo 9: É possível fazer alterações no programa e a inserção de novas funções desejadas utilizando os botões “Inserir Linha”, “Excluir Linha” e “Editar Linha”

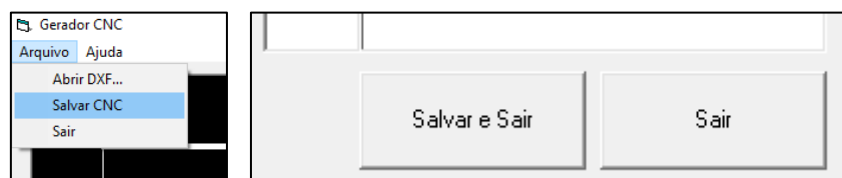


Caso não haja mais alterações a se fazer, selecione os botões “Desligar rotação”, “Desligar fluido”, “Delay” (caso necessário) e “Finalizar programa”.

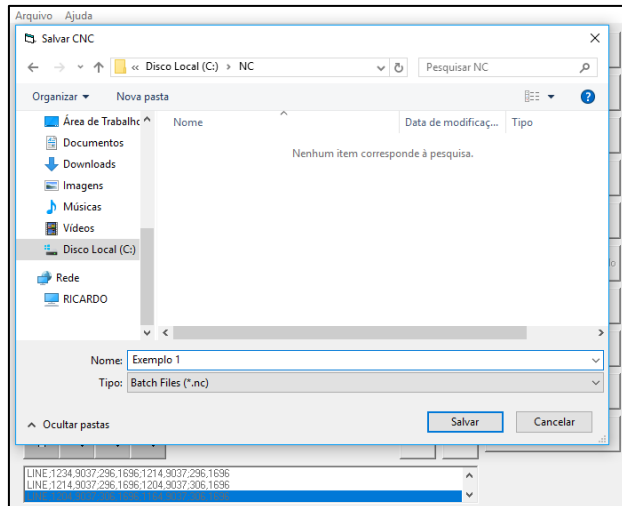


N290	/Desligar Rotação
N300	M05
N310	/Desligar Fluido
N320	M09
N330	/Delay
N340	G4 X10
N350	/Fim de Programa
N360	M30

Passo 10: Para salvar o arquivo no formato NC, vá ao menu “Arquivo” e depois clique em “Salvar CNC”, ou clique em “Salvar e Sair”, abaixo da lista “Programa CNC”. Caso não deseje salvar o arquivo, clique apenas em “Sair”.

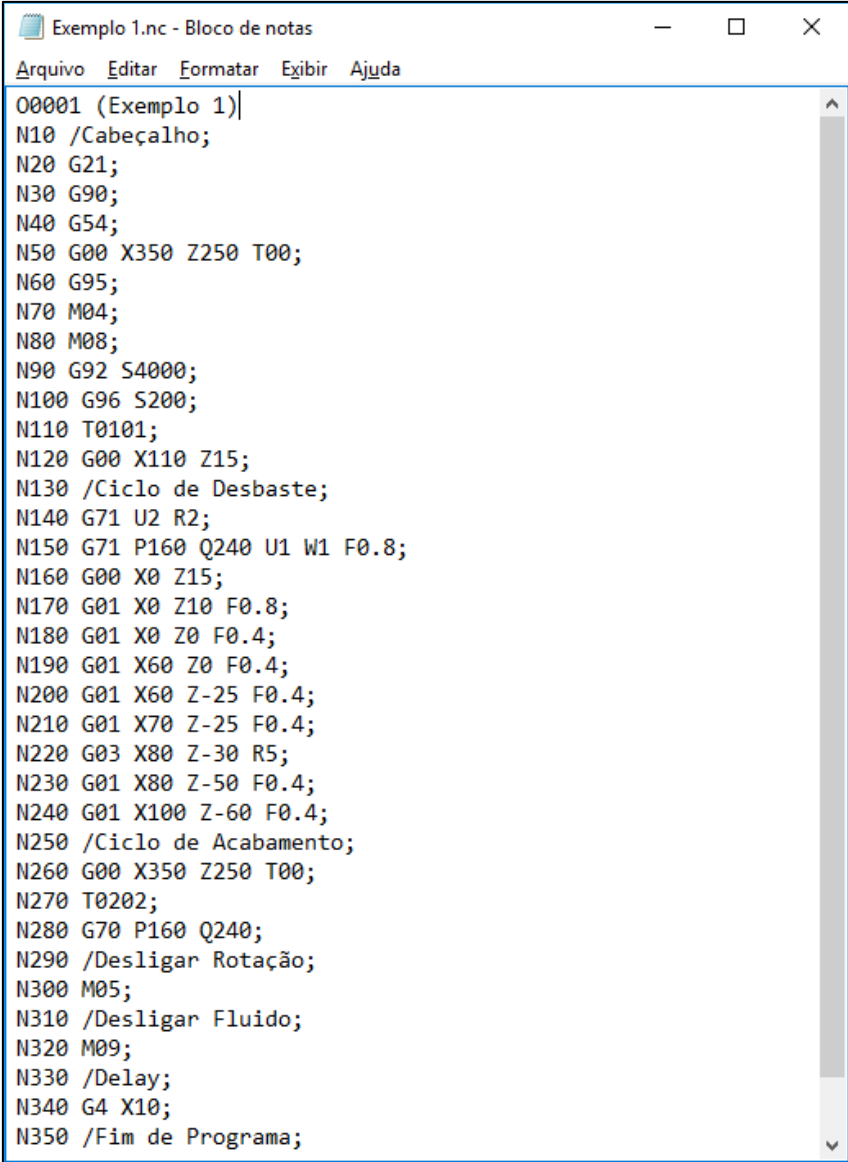


Caso opte por salvar, na janela que será aberta selecione o local onde deseja salvar o arquivo, e o identifique no campo “Nome:”, e então clique em “Salvar”.



O arquivo gerado ficará salvo no local especificado, e pode ser acessado utilizando o “Bloco de Notas” do Windows.

☐ Nome	Data de modificaç...	Tipo	Tamanho
 Exemplo 1.nc	04/12/2016 15:24	Arquivo NC	1 KB



```
Exemplo 1.nc - Bloco de notas
Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda
00001 (Exemplo 1)|
N10 /Cabeçalho;
N20 G21;
N30 G90;
N40 G54;
N50 G00 X350 Z250 T00;
N60 G95;
N70 M04;
N80 M08;
N90 G92 S4000;
N100 G96 S200;
N110 T0101;
N120 G00 X110 Z15;
N130 /Ciclo de Desbaste;
N140 G71 U2 R2;
N150 G71 P160 Q240 U1 W1 F0.8;
N160 G00 X0 Z15;
N170 G01 X0 Z10 F0.8;
N180 G01 X0 Z0 F0.4;
N190 G01 X60 Z0 F0.4;
N200 G01 X60 Z-25 F0.4;
N210 G01 X70 Z-25 F0.4;
N220 G03 X80 Z-30 R5;
N230 G01 X80 Z-50 F0.4;
N240 G01 X100 Z-60 F0.4;
N250 /Ciclo de Acabamento;
N260 G00 X350 Z250 T00;
N270 T0202;
N280 G70 P160 Q240;
N290 /Desligar Rotação;
N300 M05;
N310 /Desligar Fluido;
N320 M09;
N330 /Delay;
N340 G4 X10;
N350 /Fim de Programa;
```