



**COBENGE 2005**

**XXXIII - Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia**

“Promovendo e valorizando a engenharia em um cenário de constantes mudanças”

12 a 15 de setembro - Campina Grande - Pb

Promoção/Organização: ABENGE/UFPE

## **SELEÇÃO DE FERRAMENTAS E CONDIÇÕES DE USINAGEM EM TEMPO DE PROGRAMAÇÃO CNC PARA TORNOS COM OBJETIVO EDUCACIONAL**

**Sérgio Luis Rabelo de Almeida – slrabelo@terra.com.br**

Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie

Rua da Consolação, 930 - Cep 01302-907 -

Consolação - São Paulo - SP - Brasil

**Marco Stipkovic Filho – kovic@osite.com.br**

Escola Politécnica da USP – Departamento de Engenharia Mecatrônica

Av. Prof. Luciano Gualberto, 2231

05508-900 – São Paulo - SP

**Olívio Novaski – novaski@fem.unicamp.br**

Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP

Rua Mendeleiev, s/n - Campus Universitário– Campinas – SP

***Resumo:** Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um módulo de software que permite ao aluno realizar atividades referentes ao planejamento de processo de usinagem, especificamente a seleção de ferramentas para de metal duro e suas condições processuais tendo em vista os limites de força de corte e rugosidade superficial, ao mesmo tempo em que se elabora o programa CNC para uma peça torneada. Tais limites são estimados através de uma biblioteca de rede neural. O programa já possui uma versão experimental e vem sendo utilizado junto a alunos de formação profissional na programação e simulação.*

**Palavras-chaves:** planejamento de processo, programação CNC, simulação, software educacional, rede neural

### **1. Introdução**

A atividade de planejamento de processo consiste no conjunto de tomadas de decisões sobre como uma peça deverá ser feita, incluindo aspectos de máquina, seqüência de operações, ferramentas, condições processuais etc. E como tal é importante para o programador CNC tê-la realizado a priori, em condições otimizadas de forma a minimizar os custos de fabricação do componente em questão.

Especificamente quando é necessário especificar a ferramenta e suas condições de usinagem, esta pode ser feita em tempo de programação CNC, verificando suas implicações no tempo de fabricação e exequibilidade quanto as forças envolvidas no corte (desbaste) ou acabamento

superficial (acabamento). O objetivo deste trabalho é ilustrar o uso didático de uma ferramenta computacional para tal finalidade.

## 2. Considerações sobre a Seleção de Porta Ferramentas e Pastilhas de Metal Duro para Torneamento

O problema de seleção de ferramentas em geral, incluindo aquelas de metal duro, para uma determinada aplicação de usinagem está ligada ao tipo de material que vai ser usinado e o tipo de cavaco originário desta operação. Os cavacos, por sua vez, podem ser agrupados em três tipos diferentes: cavacos contínuos, ou longos, cavacos de cisalhamento e cavacos curtos ou de ruptura. Os cavacos contínuos, devido ao fato de se formarem em velocidade de cortes elevadas (com temperatura de corte maior) e terem um contato longo com a superfície de saída da ferramenta, originam um maior desgaste nesta superfície, formando uma cratera. Esta é mais pronunciada que nos casos onde o cavaco é de ruptura. A figura 1 ilustra estes tipos de cavaco:

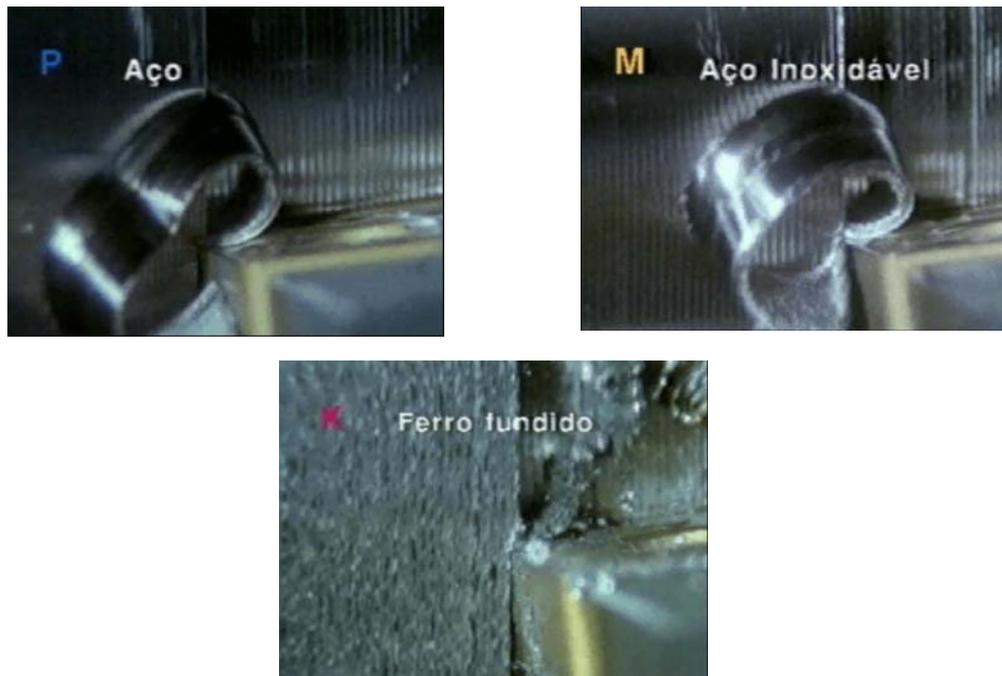


Figura 1 –Tipos mais comuns de cavaco

Assim se a usinagem de metais apresentar cavacos curtos, as composições mais simples de metal duro, contendo carboneto de tungstênio e cobalto como aglomerante são eficazes (classe M). Já na usinagem de metais que apresentam cavacos longos é imprescindível utilizar-se classes de incertos que possuam também carbonetos de titânio ou tântalo (classes P e K).

Outros fatores, além do cavaco, contribuem na seleção do metal duro para a operação de usinagem, como:

- Tipo de operação ou área de trabalho – A experiência mostra que as operações com grandes avanços e cortes interrompidos criam tensões elevadas e necessitam do emprego de classes mais tenazes, ou seja, com maior teor de cobalto,

- Velocidade de corte – A temperatura atuante na aresta de corte é medida que aumenta exige classes de maior resistência ao calor, portanto com menor teor de cobalto;

- Condições da máquina-ferramenta – Quanto mais rígidas e potentes as máquinas, menores são os riscos de se aplicar metal duro devido a sua fragilidade inerente.

- Porta-ferramenta – No caso porta e ferramenta, é importante o material do qual é feito, seu dimensionamento e o sistema de fixação do inserto.

## **2.1 Normas ISO Aplicáveis a insertos de Metal Duro e Porta-Ferramentas**

### **2.1.1 Insertos**

A ISO (Internacional Organization For Standardization), entidade internacional de normatização, que agrupa diversos países, recomendou a agrupamento do metal duro em três grandes grupos:

Grupo P = Constituído de metais duros de elevado teor de TiC e TaC, é empregado na usinagem de metais e ligas ferrosas que apresenta cavacos longos e dúcteis (aços em geral), onde é necessário um melhor desempenho quanto ao desgaste de cratera

Grupo M – Possui características intermediárias e é empregado nas usinagem de metais e e ligas ferrosas que apresentam cavacos tanto longos quanto curtos (aço inoxidável);

Grupo K – Primeiro tipo de metal duro a ser desenvolvido compreendendo os tipos ou classes empregados nas usinagem de metais e ligas ferrosas que apresentam cavacos curtos ou de ruptura (ferros fundidos e latões) e materiais não metálicos.

Além do agrupamento, segue-se um índice numérico que estabelece o posicionamento do inserto quanto as características de dureza, resistência ao desgaste e tenacidade. Em suma, a resistência ao desgaste e dureza tende a aumentar de K para P, e internamente a cada classe, quando a numeração é decrescente. A tenacidade por outro lado, tem comportamento inverso.

A ISO estabeleceu a norma n. 1832 de 1991 que rege a codificação de insertos intercambiáveis, permitindo sua completa identificação. A figura 2 mostra a estrutura do sistema. O código identificação é formado por 10 campos, sendo os sete primeiros mais comumente utilizados. A descrição de cada um destes campos pode ser observada abaixo:

- 1: Indica a forma do inserto e o ângulo inscrito entre arestas;
- 2: Indica o ângulo de folga da pastilha;
- 3: Indica a faixa de tolerância dimensional na espessura e no diâmetro inscrito da pastilha;
- 4: Indica o tipo de inserto ou a geometria de quebra-cavaco;
- 5: Indica o comprimento da aresta principal de corte em mm;
- 6: Indica a espessura do inserto em mm;

7. Indica o raio de ponta do inserto mm;
8. Indica a condição da aresta de corte; ou seja; o ângulo de saída, se é zero, negativo ou positivo;
9. Indica a direção de avanço do porta-ferramenta;
- 10: Indica a opção do fabricante, que pode ser constituído de mais dois algarismos.

### 2.1.2 Porta Ferramentas

A ISO também estabeleceu a norma n. 5608 de 1980 que rege a codificação de porta-ferramenta destinados ao torneamento externo, permitindo assim sua completa identificação é formada por 11 (onze) campos, sendo os 9 (nove) primeiros os mais comumente utilizados. A descrição de cada um destes campos pode ser observada abaixo:

- 1: Indica o tamanho da porta-ferramenta de bloco (“block tool”), sendo omitido caso seja um porta-ferramenta normal;
- 2: Indica o sistema de fixação do inserto no porta-ferramenta. Esta fixação pode ser por grampo (C), rígida (D) por alavanca (P), por parafuso (S) ou por cunha e grampo(M);
- 3: Indica a forma do inserto e o ângulo inscrito entre arestas;
- 4: Indica o formato do porta-ferramenta;
- 5: Indica o ângulo de folga da pastilha;
- 6: Indica o sentido da ferramenta, ou seja, o avanço a direita, esquerda ou neutra;
- 7: Indica a altura do porta-ferramenta em mm;
- 8: Indica a espessura do porta-ferramenta em mm;
- 9: Indica o comprimento do porta-ferramenta, representado por uma letra (entre ‘A’ e ‘X’) a qual está associado um comprimento tabelado em mm. Também pode indicar a unidade.
- 10: Indica o comprimento da aresta de corte em mm;
- 11: Indica a opção do fabricante, que pode ser constituído de mais três algarismos, separado do restante do código por um hífen. Pode ser utilizado para especificar um desenho especial de porta-ferramenta.



Figura 2 – Estrutura da norma ISO para pastilhas intercambiáveis e porta-ferramenta – parte I (adaptado da referência [15])

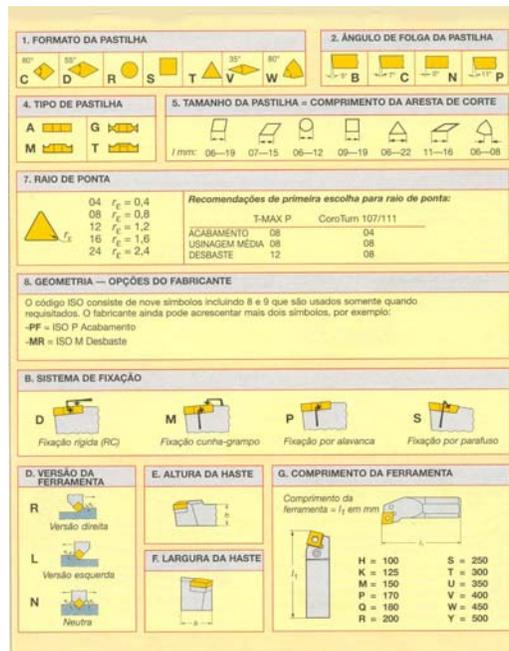


Figura 3 – Estrutura da norma ISO para pastilhas intercambiáveis e porta-ferramenta – parte II (adaptado da referência [15])

### 1.1 Procedimentos de Seleção segundo Fabricantes

Dentre os diversos fabricantes de pastilhas e portas ferramentas de metal duro, apenas a SANDIK - Coromant inclui em seus catálogos um procedimento claro para a seleção de ferramentas. Descrevemos a seguir a metodologia sugerida, o qual orientou a formulação do algoritmo computacional de seleção do módulo de planeamento.

#### 1.1.1 Seleção do Porta- Ferramentas

A seleção do porta-ferramenta para torneamento geral externo baseia-se principalmente na escolha do sistema de fixação do inserto. A tabela 1 mostra os diversos tipos de sistemas de fixação e sua adequabilidade quando são utilizados critérios como tipo de operação, fluxo de cavaco,, tempo de troca de inserto etc.

Observe que o porta-ferramenta que possui grau 2 são os mais adequados considerando-se um critério específico. Obviamente, a escolha do porta-ferramenta está ligada ao deslocamentos que são possíveis executar, como pode-se observar na figura 4 onde também constam os ângulos máximos permissíveis em operações que exigem deslocamento em mergulho.

Tabela 1 – Adequabilidade dos sistemas de fixação com relação à características da operação(adaptado a referência [15])

Sistema de fixação							
Torneamento/faceamento longitudinal	++	+	+		+	++	+
Perfilamento	++	+	+	+	++	++	+
Faceamento	++	+	+	+	+	++	+
Mergulho		+			++		++

++ = Sistema de ferramentas recomendado      + = Sistema alternativo de ferramentas

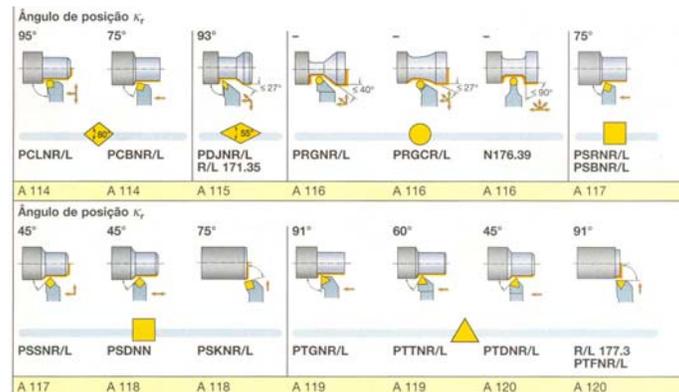


Figura 4 – Exemplo de deslocamentos possíveis para um porta-ferramenta (adaptado da referência [15])

Observe que um porta-ferramenta designação PDJNR , por exemplo, poderia apenas realizar operações de torneamento em mergulho com um ângulo entre trajetórias do perfil usinado de no máximo 27°.

O formato da pastilha e o ângulo de folga por sua vez também interfere na seleção do porta-ferramenta, uma vez que ambos os campos repetem –se na codificação do porta-ferramentas como no inserto (campos 1 e 2).

### 1.1.2 Seleção do Inserto

A primeira etapa é determinar a classe do inserto mais adequado para tendo em vista o tipo de cavado gerado pelo material em questão. Isto pode ser feito através da tabela 2 de recomendações para velocidade de corte onde, entrando-se a característica básica do material, pode-se obter a classe privilegiando a resistência ao desgaste (classe com numeração menor) ou a tenacidade (classe com numeração maior). Nesta mesma tabela encontramos sugestões sobre variações admissíveis para a velocidade de corte e avanço por classe.

Tabela 2 – Seleção da classe do inserto e dos parâmetros de corte

ISO	CMC No.	Material	Força de corte específica $k_c$ 0,4	Dureza Brinell	RESISTÊNCIA AO D			
					CT5015		GC1525	
					Velocidade de corte, $v_c$ m/min			
P Aços	01.1	Aços sem liga C = 0,1 – 0,25 % C = 0,25 – 0,55 % C = 0,55 – 0,80 %	2000	125	650 – 540 – 440	560 – 465 – 380		
	01.2		2100	150	570 – 480 – 385	485 – 415 – 335		
	01.3		2200	170	515 – 425 – 340	430 – 365 – 295		
	02.1	Aços baixa-liga, (elementos de liga ≤ 5%) Não-endurecidos Aços para rolamento Endurecidos e temperados Endurecidos e temperados	2150	180	480 – 400 – 320	375 – 320 – 255		
	02.12		2300	210	- - - - -	- - - - -		
	02.2		2550	275	285 – 235 – 190	200 – 165 – 135		
	02.2	2850	350	230 – 190 – 150	160 – 135 – 110			
	03.11	Aços alta-liga (elementos de liga > 5%) Raccoidos Aços-ferramenta endurecidos	2500	200	385 – 330 – 250	280 – 215 – 175		
	03.21		3900	325	195 – 165 – 130	145 – 115 – 90		
	06.1	Aços fundidos Sem liga Baixa-liga (elementos de liga ≤ 5%) Alta-liga, elementos de liga > 5%	2000	180	260 – 215 – 175	225 – 185 – 145		
06.2	2100		200	270 – 225 – 170	175 – 145 – 105			
06.3	2650		225	200 – 165 – 125	140 – 115 – 85			

O segundo passo é determinar, caso vários formatos de pastilhas sejam possíveis pela seleção do porta-ferramenta, qual o formato da pastilha mais adequado, ponderando-se outros fatores como versatilidade do inserto (A), resistência da aresta (S), tendência a vibrações (V) e potência disponível limitada. (P) (vide figura 6) esta Novamente as geometrias com grau 2 (dois) serão as mais adequadas e com 1 (um) as menos adequadas segundo cada característica.

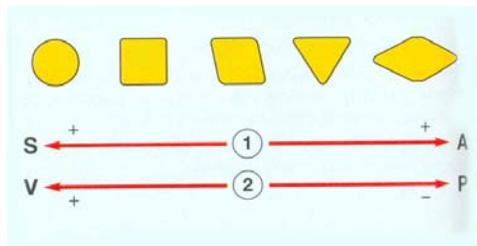


Figura 5 – Características dos Formatos de Pastilha

Em seguida, seleciona-se o tamanho da aresta de corte do inserto. Esta pode ser determinada através dos seguintes passos:

- Determinar a maior profundidade de corte admissível ( $a_{p_{max}}$ ). Esta pode ser calculada levando-se em conta a potência disponível na máquina, caso a operação seja desbaste ou pelo sobre-metal definido na operação anterior, se for acabamento.
- Calcular o comprimento efetivo da aresta de corte (L), em mm, considerando-se o ângulo de posicionamento do porta-ferramenta ( $K_r$ ), conforme recomendações do fabricante (vide figura 6):

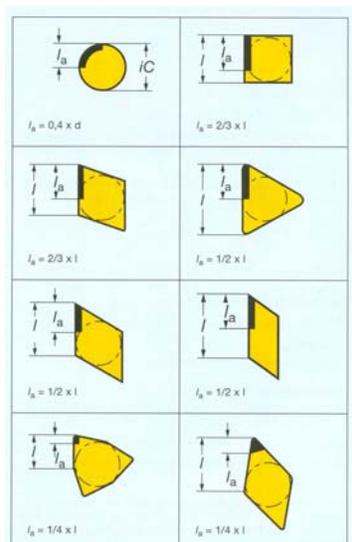


Figura 6 – Cálculo de comprimento efetivo da aresta de corte (adaptado da referência [15])

## 2. Descrição da Aplicação

A aplicação para utilização dos dados oriundos do planejamento para realizar o programa CNC consiste em um software dotado de interface para gerar o programa CNC em linguagem G e simular as possíveis trajetórias de ferramenta, conforme pode ser visto na figura 7. O software foi dotado com uma ajuda “on line” para uso durante a atividade de programação.

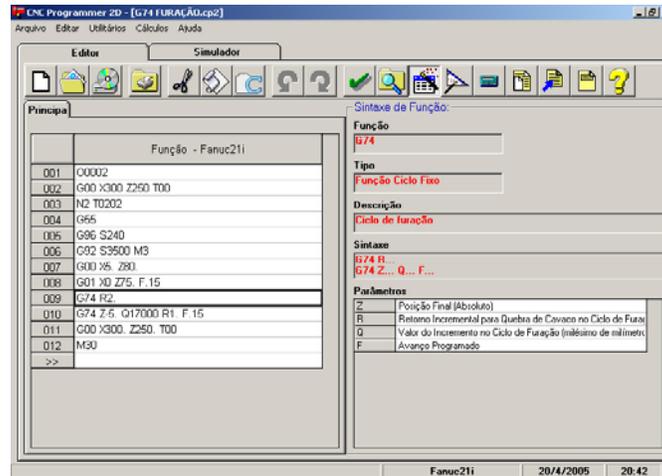


Figura 7 – Interface da janela de ajuda à sintaxe

O programa, batizado de CNC Programmer 2D permite o cadastramento e posterior uso em processo de diversos grupos de ferramentas usuais em torneamento a saber (figura 9): torneamento, rosqueamento, canal e furação, além de machos, alargadores, escariadores e rebaxadores. Todos esses grupos possuem um cadastro onde o usuário pode criar, alterar ou excluir ferramentas.

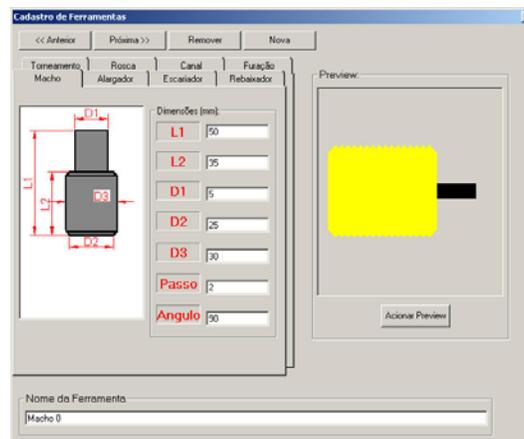


Figura 9 – Interface do cadastro de ferramentas

Um dos aspectos de inovação deste projeto é a implementação de um módulo no software que permita estimar os esforços de corte na usinagem (em desbaste) como também a rugosidade superficial em acabamento, tendo assim a possibilidade de selecionar conjunto de parâmetros de usinagem que tornam o processo exequível. A técnica escolhida foi a de rede neural, que pode ser

utilizada através de um do software comercial chamado NeuroSolutions (figura 10), desenvolvido pela ND Incorporated.

Para determinar estes parâmetros em tempo de execução do programa CNC foi utilizada uma biblioteca dinâmica (DLL) gerada pela aplicação NeuroSolutions v4.32. Essa aplicação consegue gerar uma aproximação de uma função específica, baseada em dados conhecidos de entrada e saída desta função e colocar essa função aproximada encapsulada dentro de uma DLL definida pelo usuário.

Neste caso foram testadas diferentes arquiteturas de rede com mesma estrutura (3-10-1) As redes foram treinadas com dados disponíveis na literatura consultada, porém nada impede que esta seja treinada com dados reais.

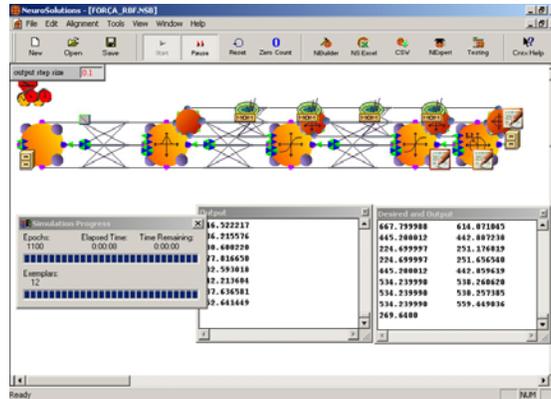


Figura 10 – Interface do software de rede neural

A função da DLL gerada pelo NS é permitir que outras aplicações possam utilizar os recursos da rede neural para aproximação. O método utilizado na geração da DLL é ilustrado no diagrama abaixo.

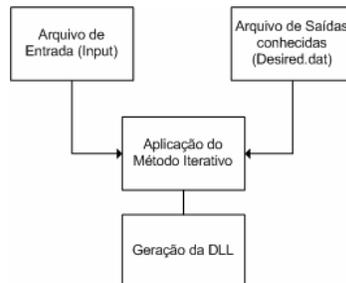


Figura 11 – Fluxograma para geração da DLL

Dentro do programa que vai chamar a função da DLL existe um padrão a ser seguido. Isso porque (no caso do VB) já é disponibilizado ao programador uma biblioteca para servir de interface entre o VB e a DLL gerada: a NeuroSolutions 4.32 Object Library.

Para o CNC Programmer 2D, o objetivo é de, baseados nos dados obtidos durante a simulação de um código CNC (profundidade de corte, velocidade de corte e avanço), o programa ser capaz de gerar um gráfico demonstrando a força de corte utilizada em função do tempo semelhante ao

gráfico abaixo. Tendo em vista as limitação impostas pela máquina podemos estimar o conjunto ótimo de parâmetros.

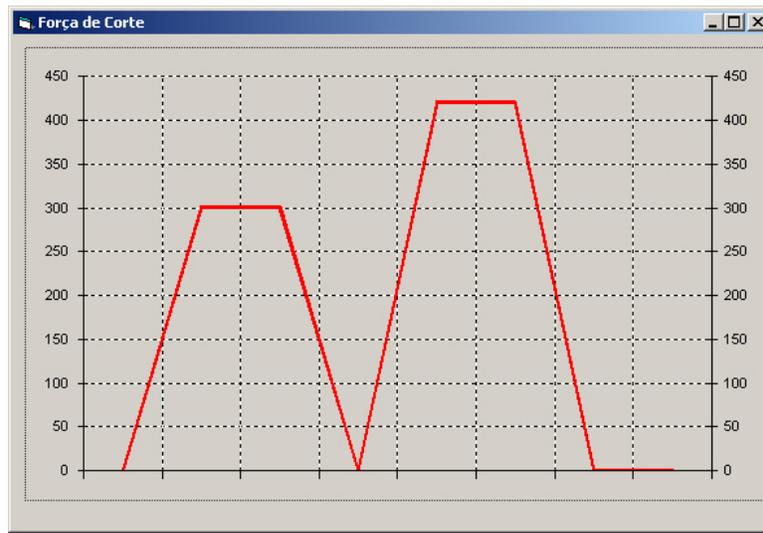


Figura 12 – Resultado da utilização da rede neural

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) DEBONI, José, Modelagem orientada a objetos com a UML São Paulo: Editora Futura, 2003. 220p
- (2) HORTON'S, Ivor Beginning Visual C++ 6 Indiana-USA. Wiley Publishing, Inc., 2003. 1180p
- (3) SIEMENS, Sinumerik 840D/810D: Princípios Fundamentais – Instruções de Programação, São Paulo, Edição 08.97, 1997. 350p
- (4) Microsoft Corporation, Help Online MSDN Library Visual Studio 6.0 release ,1997
- (5) Open CASCADE S.A., Help Online Open CASCADE Technology version 5.2 ,2004
- (6) Griver, Yair A.; Arnheiter, Matthew e Gellis, Michael, Visual Basic para UML – Guia do Programador, São Paulo, Editora Market Books, 2000. 01p
- (7) Loudon, Kyle, Dominando algoritmos em C, Rio de Janeiro, Editora Ciência Moderna, 2000. 87p
- (8) Ziviani, Nivio, Projeto de Algoritmos Com implementações em Pascal e C, São Paulo, Editora Pioneira, 2000, 56p
- (9) Pressman, Roger S., Engenharia de Software, São Paulo: Editora Makron Books, 1995. 3p
- (10) Microsoft Corporation, Help Online MSDN Library Visual Studio 6.0 release ,1997
- (11) COPPINI, N. L.; MARCONDES, F. C.; DINIZ, A. E. Tecnologia da usinagem dos materiais, 2. ed, São Paulo, Artliber editora, 2000
- (12) KO, J. H. et al. Development of a Virtual Machining System – part 1: approximation of the size effect for cutting forces prediction. International Journal of Tools and Manufacture. v.42, p. 1595 - 1605, 2002
- (13) NOVASKI, O. Introdução à engenharia de fabricação mecânica, 2. ed, São Paulo, Edgard Blücher, 1998

- (14) SANDVIK. Catálogo de produtos para usinagem. Ferramentas para torneamento. Sandvik Coromant. 2003
- (15) SANDVIK, Catálogo de produtos para usinagem. Ferramentas rotativas. Sandvik Coromant. 2003
- (16) Gibbs, D., et al, An Introduction of CNC Machining and Programming, Industrial Press, 596 páginas, 1991
- (17) Smid, P, CNC Programming Handbook, Book News, 600 páginas, 2000.
- (18) ROMI, Manual de Programação e Operação CNC Fanuc 21i Linha Discovery e Galaxy São Paulo: Edição S43784, 1998. 200p
- (19) BAEK, D. K. ; TAE, J. K., HEE, S. K Optimization of Feed Rate in Face Milling using a Surface Roughness Model. International Journal of Tools and Manufacture. v.41, p. 451 - 462, 2001
- (20) FILHO, J. C., DINIZ, A. E., Influence of Cutting Conditions on Tool Life and Surface Finish in Face Milling Process. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences. V. 24. march, 2002
- (21) PHAM, D. T. ;. Artificial Intelligence in Engineering. International Journal of Tools and Manufacture. v.39, p. 937 - 949, 1999
- (22) BRICENO, J. F., HAZIM, M., MUKHOPDHYAY, S. Selecting an Artificial Neural Network for Efficient Modeling and Accurate

## **TOOL AND MACHINING CONDITIONS SELECTION FOR TURNING IN CNC PROGRAMMING TIME WITH EDUCATIONAL PURPOSE**

**Abstract:** *This article reports the development of a software module which allows the student to perform the basics of process planning in CNC programming time for machining, including tool and parameters selection for a specific turning operation. These parameters are limited by force and roughness obtained via a neural network algorithm. The program has a experimental version which has been used with students in field in order to access the usage .*

**Key-words:** Process planning, CNC Programming, simulation, educational software, neural network