Universidade de Brasília Tecnologia de Comando Numérico Fresa

Análise de Erro Dimensional e Geométrico de Capabilidade

9 de Julho de 2014

Professor: A

Alberto J. Álvares

Aluno:

Juarez Aires Sampaio Filho 11/0032829

I. OBJETIVOS Este trabalho tem como objetivo praticar as etapas do planejamento, execução e aferição da qualidade de uma peça de madeira MDF na fresa disponível para os alunos no GRACO.	//BRAÇO 90° G01 Z-6.5 XO Y75 Z6.5 G00 XO Y-75 //BRAÇO 120°
II. Código G	G01 Z-6.5 X-25 Y43.30
\$AddRegPart 1	Z6.5
(configurações)	G00 X25 Y-43.30
G92 X100 Y100 Z20 //seta zero no centro da peça	//BRAÇO 150°
T1 M6 M21 //troca ferramenta e fecha a porta	G01 Z-6.5
G90 M3 S900 F450 //coordenadas absolutas e parâme	_
	Z6.5
(Braços início - 1.5 de profundidade)	G00 Y-37.5 X64.95
G00 X0 Y0 Z5	//BRAÇO 180°
G91 //coordenadas relativas	G01 Z-6.5
//BRAÇO 0°	X-50 Y0
G01 Z-6.5	Z6.5
X50 Y0	G00 X50 Y-0
Z6.5	//BRAÇO 210°
G00 X-50 Y-0	G01 Z-6.5
//BRAÇO 30°	Y-37.5 X-64.95
G01 Z-6.5	Z6.5
Y37.5 X64.95	G00 Y37.5 X64.95
Z6.5	//BRAÇO 240°
G00 Y-37.5 X-64.95	G01 Z-6.5
//BRAÇO 60°	X-25 Y-43.30
G01 Z-6.5	Z6.5
X25 Y43.30	G00 X25 Y43.30
Z6.5	//BRAÇO 270°
G00 X-25 Y-43.30	G01 Z-6.5

XO Y-75	G01 X40
Z6.5	Z-6.0
G00 X0 Y75	X3.21 Y3.83
//BRAÇO 300°	X-3.21 Y-3.83
G01 Z-6.5	X3.21 Y-3.83
X25 Y-43.30	X-3.21 Y3.83
Z6.5	Z6.0
G00 X-25 Y43.30	G90
//BRAÇO 330°	GOO XO YO
G01 Z-6.5	//TRAÇOS BRAÇO 30°
Y-37.5 X64.95	G00 X43.30 Y25 (50<30°)
Z6.5	Z-1.0
G00 Y37.5 X-64.95	G91
400 10110 It 01100	G01 X0.87 Y4.92 (5<80°)
G90	X-0.87 Y-4.92
(Braços - fim)	X4.67 Y-1.71(5<-20°)
(brugob rim)	X-4.67 Y1.71
(COROA - INÍCIO)	G90
G00 X0 Y0 Z5	Z5
G90	G00 X51.96 Y30 (60<30°)
G01 X25 Y0	Z-1.0
Z-1.5	G91
//PRIMEIRO QUADRANTE	G01 X0.87 Y4.92 (5<80°)
X33.81 Y9.06	X-0.87 Y-4.92
X21.65 Y12.5	X4.67 Y-1.71(5<-20°)
X24.75 Y24.75	X-4.67 Y1.71
X12.5 Y21.65	G90
X9.06 Y33.81	Z5
X0 Y25	GOO XO YO
//SEGUNDO QUADRANTE	
Y33.81 X-9.06	//TRAÇOS BRAÇO 60°
Y21.65 X-12.5	G00 X20 Y34.64
Y24.75 X-24.75	Z-1.0
Y12.5 X-21.65	G91
Y9.06 X-33.81	GO1 X-1.71 Y4.70
YO X-25	X1.71 Y-4.70
//TERCEIRO QUADRANTE	X4.91 Y0.87
X-33.81 Y-9.06	X-4.91 Y-0.87
X-21.65 Y-12.5	G90
X-24.75 Y-24.75	Z5
X-12.5 Y-21.65	GOO XO YO
X-9.06 Y-33.81	
X0 Y-25	//TRAÇOS BRAÇO 90°
//QUARTO QUADRANTE	G00 X0 Y50 (50<90°)
Y-33.81 X9.06	Z-1.0
Y-21.65 X12.5	G91
Y-24.75 X24.75	G01 X3.83 Y3.21 (5<40°)
Y-12.5 X21.65	X-3.83 Y-3.21
Y-9.06 X33.81	X-3.83 Y3.21(5<140°)
YO X25	X3.83 Y-3.21
Z5	G90
G90	Z5
(COROA - FIM)	G00 X0 Y60 (60<90°)
	Z-1.0
(TRAÇOS - INÍCIO - 1.0 de profundidade)	G91
G00 X0 Y0 Z5	G01 X3.83 Y3.21 (5<40°)
G91	X-3.83 Y-3.21
//TRAÇOS BRAÇO 0°	X-3.83 Y3.21(5<140°)

V2 02 V 2 04	VA C7 V 4 74
X3.83 Y-3.21	X4.67 Y-1.71
G90	X-0.87 Y-4.92(5<260°)
Z5	X0.87 Y4.92
	G90
	Z5
GOO XO YO	G00 X-51.96 Y-30 (60<210°)
	Z-1.0
//TRAÇOS BRAÇO 120°	G91
G00 X-20 Y34.64 (40<120°)	G01 X-4.67 Y1.71 (5<160°)
Z-1.0	X4.67 Y-1.71
G91	X-0.87 Y-4.92(5<260°)
G01 X1.71 Y4.70 (5<70°)	X0.87 Y4.92
X-1.71 Y-4.70	G90
X-4.92 Y0.87(5<170)	Z5
X4.92 Y-0.87	GOO XO YO
G90	
Z5	//TRAÇOS BRAÇO 240°
GOO XO YO	G00 X-20 Y-34.64 (40<240°)
	Z-1.0
//TRAÇOS BRAÇO 150°	G91
G00 X-43.30 Y25 (50<150°)	G01 X1.71 Y-4.70 (5<70°)
Z-1.0	X-1.71 Y4.70
G91	X-4.92 Y-0.87(5<170)
G01 X-4.67 Y-1.71 (5<200°)	X4.92 Y0.87
X4.67 Y1.71	G90
X-0.87 Y4.92(5<100°)	Z5
X0.87 Y-4.92	GOO XO YO
G90	GOO KO 10
Z5	//TRAÇOS BRAÇO 270°
G00 X-51.96 Y30 (60<150°)	G00 X0 Y-50 (50<270°)
Z-1.0	Z-1.0
G91	G91
G01 X-4.67 Y-1.71 (5<200°)	G01 X3.83 Y-3.21 (5<320°)
X4.67 Y1.71	X-3.83 Y3.21
X-0.87 Y4.92(5<100°)	X-3.83 Y-3.21(5<220°)
X0.87 Y-4.92	X3.83 Y3.21
G90	G90
Z5	Z5
GOO XO YO	G00 X0 Y-60 (60<270°)
	Z-1.0
//WD1000 DD100 1000	G91
//TRAÇOS BRAÇO 180°	G01 X3.83 Y-3.21 (5<320°)
G00 X-40 (40<180°)	X-3.83 Y3.21
Z-1.0	X-3.83 Y-3.21(5<220°)
G91	X3.83 Y3.21
G01 X-3.21 Y3.83	G90
X3.21 Y-3.83	Z5
X-3.21 Y-3.83	
X3.21 Y3.83	G00 X0 Y0
G90	
Z5	//TRAÇOS BRAÇO 300°
GOO XO YO	G00 X20 Y-34.64 (40<300°)
	Z-1.0
//TRAÇOS BRAÇO 220°	G91
G00 X-43.30 Y-25 (50<210°)	GO1 X-1.71 Y-4.70
Z-1.0	X1.71 Y4.70
G91	X4.91 Y-0.87
G01 X-4.67 Y1.71 (5<160°)	X-4.91 YO.87

G90	Z7.5
Z5	G00 X-25 Y-43.30
G00 X0 Y0	//BRAÇO 90°
	G01 Z-7.5
//TRAÇOS BRAÇO 330°	XO Y75
G00 X43.30 Y-25 (50<330°)	Z7.5
Z-1.0	G00 X0 Y-75
G91	
	//BRAÇO 120°
G01 X0.87 Y-4.92 (5<280°)	G01 Z-7.5
X-0.87 Y4.92	X-25 Y43.30
X4.67 Y1.71(5<380°)	Z7.5
X-4.67 Y-1.71	G00 X25 Y-43.30
G90	//BRAÇO 150°
Z5	G01 Z-7.5
G00 X51.96 Y-30 (60<330°)	Y37.5 X-64.95
Z-1.0	Z7.5
G91	G00 Y-37.5 X64.95
G01 X0.87 Y-4.92 (5<280°)	//BRAÇO 180°
X-0.87 Y4.92	G01 Z-7.5
X4.67 Y1.71(5<380°)	X-50 YO
X-4.67 Y-1.71	Z7.5
G90	G00 X50 Y-0
Z5	//BRAÇO 210°
GOO XO YO	G01 Z-7.5
(TRAÇOS - FIM)	Y-37.5 X-64.95
(3	Z7.5
(Moldura - 1º passe - 1.5mm- INÍCIO)	G00 Y37.5 X64.95
G90	//BRAÇO 240°
G00 X-75.0 Y-85.0 Z5	G01 Z-7.5
G01 Z-1.5	X-25 Y-43.30
X75	Z7.5
G03 X85 Y-75 R10	G00 X25 Y43.30
G01 Y75	//BRAÇO 270°
G03 X75 Y85 R10	G01 Z-7.5
G01 X-75	X0 Y-75
G03 X-85 Y75 R10	Z7.5
G01 Y-75	G00 X0 Y75
G03 X-75 Y-85 R10	//BRAÇO 300°
G01 Z5	G01 Z-7.5
(MOLDURA - 2° passe - FIM)	X25 Y-43.30
	Z7.5
G90	G00 X-25 Y43.30
(Braços 2º passe - 2.5mm)	//BRAÇO 330°
G00 X0 Y0 Z5	G01 Z-7.5
G91 //coordenadas relativas	Y-37.5 X64.95
//BRAÇO O°	Z7.5
G01 Z-7.5	G00 Y37.5 X-64.95
X50 Y0	
Z7.5	G90
G00 X-50 Y-0	(Braços 2º passe - fim)
//BRAÇO 30°	1
G01 Z-7.5	(COROA - 2° passe - 2.5mm INÍCIO)
Y37.5 X64.95	GOO XO YO Z5
Z7.5	G90
G00 Y-37.5 X-64.95	G01 X25 Y0
//BRAÇO 60°	Z-2.5
G01 Z-7.5	//PRIMEIRO QUADRANTE
X25 Y43.30	X33.81 Y9.06 Z-2.0

```
X21.65 Y12.5 Z-2.5
X24.75 Y24.75 Z-2.0
X12.5 Y21.65 Z-2.5
X9.06 Y33.81 Z-2.0
X0 Y25 Z-2.5
//SEGUNDO QUADRANTE
Y33.81 X-9.06 Z-2.0
Y21.65 X-12.5 Z-2.5
Y24.75 X-24.75 Z-2.0
Y12.5 X-21.65 Z-2.5
Y9.06 X-33.81 Z-2.0
YO X-25 Z-2.5
//TERCEIRO QUADRANTE
X-33.81 Y-9.06 Z-2.0
X-21.65 Y-12.5 Z-2.5
X-24.75 Y-24.75 Z-2.0
X-12.5 Y-21.65 Z-2.5
X-9.06 Y-33.81 Z-2.0
X0 Y-25 Z-2.5
//QUARTO QUADRANTE
Y-33.81 X9.06 Z-2.0
Y-21.65 X12.5 Z-2.5
Y-24.75 X24.75 Z-2.0
Y-12.5 X21.65 Z-2.5
Y-9.06 X33.81 Z-2.0
YO X25 Z-2.5
Z5
G90
(COROA - 2° passe - FIM)
(Moldura - 2° passe - 2.5 mm - INÍCIO)
G90
G00 X-75.0 Y-85.0 Z5
G01 Z-2.5
X75
G03 X85 Y-75 R10
G01 Y75
G03 X75 Y85 R10
G01 X-75
G03 X-85 Y75 R10
G01 Y-75
G03 X-75 Y-85 R10
G01 Z5
(MOLDURA - 2° passe - FIM)
(furos - 1° passe)
G01 X-75.0 Y-75.0 Z5
G01 Z-2.0
Z5
G01 X75.0 Y-75.0 Z5
G01 Z-2.0
Z5
G01 X75.0 Y75.0 Z5
G01 Z-2.0
Z5
G01 X-75.0 Y75.0 Z5
G01 Z-2.0
```

Z5

G01 X0 Y0 Z20 M30

III. SIMULAÇÃO

A figura a seguir foi obtida com a simulação no programa CNC Simulador.

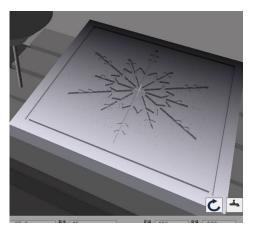


Figura 1: Simulação obtida com CNC Simulator

IV. Resultados

A peça produzida é mostrada a seguir.



Figura 2: resultado

Vamos na tabela II dados dos valores medidos, projetados, médias e desvio padrão.

V. Análise de Capacidade

Para uma análise rápida da capacidade de máquina, vamos tomar como variância das medidas feitas a média das variâncias de cada medida.

$$\overline{\hat{\sigma}} = 0,0113645925cm \tag{1}$$

O erro da máquina pode então ser estimado em:

$$\Delta = \frac{\widehat{\sigma}z}{\sqrt{n}} = \frac{0,041 \cdot 2,7764}{\sqrt{5}} = 0,0141107762cm \qquad (2)$$

variável	$x_1 \text{ (cm)}$	$x_2(cm)$	$x_3(cm)$	$x_4(cm)$	$x_5 \text{ (cm)}$	\overline{X} (cm)	$\widehat{\sigma}$ (cm)	Projetado(mm)	Erro(%)
medida 1	16,600	16,582	16,604	16,600	16,584	16,594	0,010	17,000	2,39
medida 2	16,640	16,650	16,626	16,634	16,634	16,637	0,009	17,000	2,14
medida 3	8,114	8,118	8,122	8,124	8,138	8,123	0,009	8,500	4,43
medida 4	8,080	8,104	8,124	8,086	8,102	8,099	0,017	8,500	4,72

Tabela I: Dados Experimentais e Estatísticos

Calculamos agora a capabilidade com um fator de segurança de 2 e uma tolerância de 1.0mm:

Cp =
$$\frac{\text{Tolerância}}{\text{fator de segurança·Erro Inerente}}$$

= $\frac{0.5}{2 \cdot 2 \cdot 0.0882386589} \approx 1.8$ (3)

Vemos que a máquina em que a peça foi usinada é capaz, e com folga, de usinar uma peça com requisitos de projeto de tolerância dimensional de 1mm. Vemos ainda que o erro percentual ficou abaixo de 5% em todas as medidas, mostrando que o processo foi preciso.

CPK

Vamos calcular o CPK. Esta medida se aplica quando a tolerância sofre maior restrição em relação a um dos limites(superior ou inferior).

$$CPK = min(CPI, CPS)$$
 (4)

onde:

$$CPI = \frac{\text{tolerância inferior}}{0.5 \cdot \text{variabilidade inerente}}$$
 (5)

$$CPS = \frac{\text{tolerância superior}}{0.5 \cdot \text{variabilidade inerente}} \tag{6}$$

É claro que o menor CP está naquele com menor tolerância. Vamos calcular para uma tolerância inferior de 0.8mm e superior de 1mm:

$$CPI = 2,83$$

 $CPS = 3,54$
 $CPK = CPI = 2,83$ (7)

Vemos que ainda sim a máquina é capaz.

Referências

- Paul L. Meyer Probabilidade Aplicações à Estatística2^aed. LTC, 2009.(pag. 359, exemplo 14.18
- [2] Duke University, Department of Statistical Science FAQ'S ABOUT THE STUDENT-T DISTRIBUTION www.isds.duke.edu/courses/Fall98/sta110b/tfaq.html acesso em 9 de Julho de 2014
- [3] Stat Trek Student's t Distribution http://stattrek.com/probability-distributions/t-distribution.aspx?tutorial=ap acesso em 9 de Julho de 2014