
Universidade de Brasília

Tecnologia de Comando Numérico

Fresa

Análise de Erro Dimensional e Geométrico de Capabilidade

9 de Julho de 2014

Professor: 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.

II. CÓDIGO G

\$AddRegPart 1

(configurações)

G92 X100 Y100 Z20 //seta zero no centro da peça

T1 M6 M21 //troca ferramenta e fecha a porta

G90 M3 S900 F450 //coordenadas absolutas e parâmetros de usinagem

(Braços início - 1.5 de profundidade)

G00 X0 Y0 Z5

G91 //coordenadas relativas

//BRAÇO 0°

G01 Z-6.5

X50 Y0

Z6.5

G00 X-50 Y-0

//BRAÇO 30°

G01 Z-6.5

Y37.5 X64.95

Z6.5

G00 Y-37.5 X-64.95

//BRAÇO 60°

G01 Z-6.5

X25 Y43.30

Z6.5

G00 X-25 Y-43.30

//BRAÇO 90°

G01 Z-6.5

X0 Y75

Z6.5

G00 X0 Y-75

//BRAÇO 120°

G01 Z-6.5

X-25 Y43.30

Z6.5

G00 X25 Y-43.30

//BRAÇO 150°

G01 Z-6.5

Y37.5 X-64.95

Z6.5

G00 Y-37.5 X64.95

//BRAÇO 180°

G01 Z-6.5

X-50 Y0

Z6.5

G00 X50 Y-0

//BRAÇO 210°

G01 Z-6.5

Y-37.5 X-64.95

Z6.5

G00 Y37.5 X64.95

//BRAÇO 240°

G01 Z-6.5

X-25 Y-43.30

Z6.5

G00 X25 Y43.30

//BRAÇO 270°

G01 Z-6.5

```

X0 Y-75
Z6.5
G00 X0 Y75
//BRAÇO 300°
G01 Z-6.5
X25 Y-43.30
Z6.5
G00 X-25 Y43.30
//BRAÇO 330°
G01 Z-6.5
Y-37.5 X64.95
Z6.5
G00 Y37.5 X-64.95

G90
(Braços - fim)

(COROA - INÍCIO)
G00 X0 Y0 Z5
G90
G01 X25 Y0
Z-1.5
//PRIMEIRO QUADRANTE
X33.81 Y9.06
X21.65 Y12.5
X24.75 Y24.75
X12.5 Y21.65
X9.06 Y33.81
X0 Y25
//SEGUNDO QUADRANTE
Y33.81 X-9.06
Y21.65 X-12.5
Y24.75 X-24.75
Y12.5 X-21.65
Y9.06 X-33.81
Y0 X-25
//TERCEIRO QUADRANTE
X-33.81 Y-9.06
X-21.65 Y-12.5
X-24.75 Y-24.75
X-12.5 Y-21.65
X-9.06 Y-33.81
X0 Y-25
//QUARTO QUADRANTE
Y-33.81 X9.06
Y-21.65 X12.5
Y-24.75 X24.75
Y-12.5 X21.65
Y-9.06 X33.81
Y0 X25
Z5
G90
(COROA - FIM)

(TRAÇOS - INÍCIO - 1.0 de profundidade)
G00 X0 Y0 Z5
G91
//TRAÇOS BRAÇO 0°

```

```

G01 X40
Z-6.0
X3.21 Y3.83
X-3.21 Y-3.83
X3.21 Y-3.83
X-3.21 Y3.83
Z6.0
G90
G00 X0 Y0
//TRAÇOS BRAÇO 30°
G00 X43.30 Y25 (50<30°)
Z-1.0
G91
G01 X0.87 Y4.92 (5<80°)
X-0.87 Y-4.92
X4.67 Y-1.71(5<-20°)
X-4.67 Y1.71
G90
Z5
G00 X51.96 Y30 (60<30°)
Z-1.0
G91
G01 X0.87 Y4.92 (5<80°)
X-0.87 Y-4.92
X4.67 Y-1.71(5<-20°)
X-4.67 Y1.71
G90
Z5
G00 X0 Y0

//TRAÇOS BRAÇO 60°
G00 X20 Y34.64
Z-1.0
G91
G01 X-1.71 Y4.70
X1.71 Y-4.70
X4.91 Y0.87
X-4.91 Y-0.87
G90
Z5
G00 X0 Y0

//TRAÇOS BRAÇO 90°
G00 X0 Y50 (50<90°)
Z-1.0
G91
G01 X3.83 Y3.21 (5<40°)
X-3.83 Y-3.21
X-3.83 Y3.21(5<140°)
X3.83 Y-3.21
G90
Z5
G00 X0 Y60 (60<90°)
Z-1.0
G91
G01 X3.83 Y3.21 (5<40°)
X-3.83 Y-3.21
X-3.83 Y3.21(5<140°)

```

X3.83 Y-3.21
G90
Z5

G00 X0 Y0

//TRAÇOS BRAÇO 120°

G00 X-20 Y34.64 (40<120°)

Z-1.0

G91

G01 X1.71 Y4.70 (5<70°)

X-1.71 Y-4.70

X-4.92 Y0.87(5<170)

X4.92 Y-0.87

G90

Z5

G00 X0 Y0

//TRAÇOS BRAÇO 150°

G00 X-43.30 Y25 (50<150°)

Z-1.0

G91

G01 X-4.67 Y-1.71 (5<200°)

X4.67 Y1.71

X-0.87 Y4.92(5<100°)

X0.87 Y-4.92

G90

Z5

G00 X-51.96 Y30 (60<150°)

Z-1.0

G91

G01 X-4.67 Y-1.71 (5<200°)

X4.67 Y1.71

X-0.87 Y4.92(5<100°)

X0.87 Y-4.92

G90

Z5

G00 X0 Y0

//TRAÇOS BRAÇO 180°

G00 X-40 (40<180°)

Z-1.0

G91

G01 X-3.21 Y3.83

X3.21 Y-3.83

X-3.21 Y-3.83

X3.21 Y3.83

G90

Z5

G00 X0 Y0

//TRAÇOS BRAÇO 220°

G00 X-43.30 Y-25 (50<210°)

Z-1.0

G91

G01 X-4.67 Y1.71 (5<160°)

X4.67 Y-1.71

X-0.87 Y-4.92(5<260°)

X0.87 Y4.92

G90

Z5

G00 X-51.96 Y-30 (60<210°)

Z-1.0

G91

G01 X-4.67 Y1.71 (5<160°)

X4.67 Y-1.71

X-0.87 Y-4.92(5<260°)

X0.87 Y4.92

G90

Z5

G00 X0 Y0

//TRAÇOS BRAÇO 240°

G00 X-20 Y-34.64 (40<240°)

Z-1.0

G91

G01 X1.71 Y-4.70 (5<70°)

X-1.71 Y4.70

X-4.92 Y-0.87(5<170)

X4.92 Y0.87

G90

Z5

G00 X0 Y0

//TRAÇOS BRAÇO 270°

G00 X0 Y-50 (50<270°)

Z-1.0

G91

G01 X3.83 Y-3.21 (5<320°)

X-3.83 Y3.21

X-3.83 Y-3.21(5<220°)

X3.83 Y3.21

G90

Z5

G00 X0 Y-60 (60<270°)

Z-1.0

G91

G01 X3.83 Y-3.21 (5<320°)

X-3.83 Y3.21

X-3.83 Y-3.21(5<220°)

X3.83 Y3.21

G90

Z5

G00 X0 Y0

//TRAÇOS BRAÇO 300°

G00 X20 Y-34.64 (40<300°)

Z-1.0

G91

G01 X-1.71 Y-4.70

X1.71 Y4.70

X4.91 Y-0.87

X-4.91 Y0.87

G90
 Z5
 G00 X0 Y0

 //TRAÇOS BRAÇO 330°
 G00 X43.30 Y-25 (50<330°)
 Z-1.0
 G91
 G01 X0.87 Y-4.92 (5<280°)
 X-0.87 Y4.92
 X4.67 Y1.71(5<380°)
 X-4.67 Y-1.71
 G90
 Z5
 G00 X51.96 Y-30 (60<330°)
 Z-1.0
 G91
 G01 X0.87 Y-4.92 (5<280°)
 X-0.87 Y4.92
 X4.67 Y1.71(5<380°)
 X-4.67 Y-1.71
 G90
 Z5
 G00 X0 Y0
 (TRAÇOS - FIM)

 (Moldura - 1° passe - 1.5mm- INÍCIO)
 G90
 G00 X-75.0 Y-85.0 Z5
 G01 Z-1.5
 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)

 G90
 (Braços 2° passe - 2.5mm)
 G00 X0 Y0 Z5
 G91 //coordenadas relativas
 //BRAÇO 0°
 G01 Z-7.5
 X50 Y0
 Z7.5
 G00 X-50 Y-0
 //BRAÇO 30°
 G01 Z-7.5
 Y37.5 X64.95
 Z7.5
 G00 Y-37.5 X-64.95
 //BRAÇO 60°
 G01 Z-7.5
 X25 Y43.30

Z7.5
 G00 X-25 Y-43.30
 //BRAÇO 90°
 G01 Z-7.5
 X0 Y75
 Z7.5
 G00 X0 Y-75
 //BRAÇO 120°
 G01 Z-7.5
 X-25 Y43.30
 Z7.5
 G00 X25 Y-43.30
 //BRAÇO 150°
 G01 Z-7.5
 Y37.5 X-64.95
 Z7.5
 G00 Y-37.5 X64.95
 //BRAÇO 180°
 G01 Z-7.5
 X-50 Y0
 Z7.5
 G00 X50 Y-0
 //BRAÇO 210°
 G01 Z-7.5
 Y-37.5 X-64.95
 Z7.5
 G00 Y37.5 X64.95
 //BRAÇO 240°
 G01 Z-7.5
 X-25 Y-43.30
 Z7.5
 G00 X25 Y43.30
 //BRAÇO 270°
 G01 Z-7.5
 X0 Y-75
 Z7.5
 G00 X0 Y75
 //BRAÇO 300°
 G01 Z-7.5
 X25 Y-43.30
 Z7.5
 G00 X-25 Y43.30
 //BRAÇO 330°
 G01 Z-7.5
 Y-37.5 X64.95
 Z7.5
 G00 Y37.5 X-64.95

 G90
 (Braços 2° passe - fim)

 (COROA - 2° passe - 2.5mm INÍCIO)
 G00 X0 Y0 Z5
 G90
 G01 X25 Y0
 Z-2.5
 //PRIMEIRO QUADRANTE
 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
Y0 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
Y0 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)
G90
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 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 Simulator.

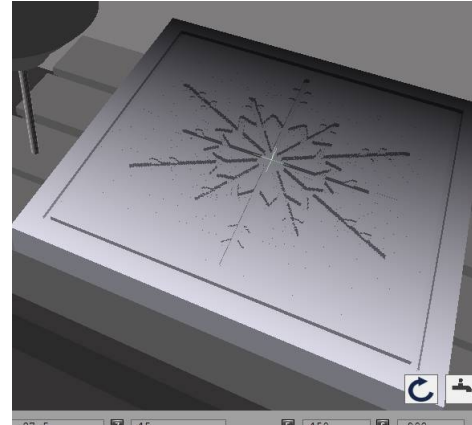


Figura 1: Simulação obtida com CNC Simulator

IV. RESULTADOS

A peça produzida é mostrada a seguir.

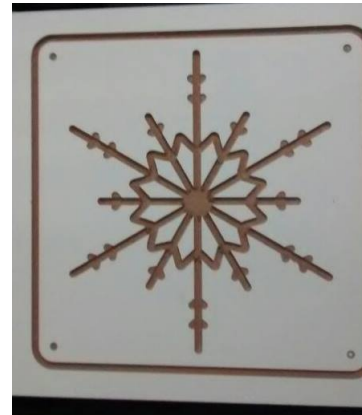


Figura 2: resultado

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.

$$\bar{\sigma} = 0,0113645925cm \quad (1)$$

O erro da máquina pode então ser estimado em:

$$\Delta = \frac{\hat{\sigma}_z}{\sqrt{n}} = \frac{0,041 \cdot 2,7764}{\sqrt{5}} = 0,0141107762cm \quad (2)$$

variável	x_1 (cm)	x_2 (cm)	x_3 (cm)	x_4 (cm)	x_5 (cm)	\bar{X} (cm)	$\hat{\sigma}$ (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 capacidade com um fator de segurança de 2 e uma tolerância de 1.0mm:

$$C_p = \frac{\text{Tolerância}}{\text{fator de segurança} \cdot \text{Erro Inerente}} = \frac{1.0}{2 \cdot 0.0882386589} \approx 1.8 \quad (3)$$

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).

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

onde:

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

$$CPS = \frac{\text{tolerância superior}}{0.5 \cdot \text{variabilidade inerente}} \quad (6)$$

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

$$\begin{aligned} CPI &= 2,83 \\ CPS &= 3,54 \\ CPK &= CPI = 2,83 \end{aligned} \quad (7)$$

Vemos que ainda sim a máquina é capaz.

REFERÊNCIAS

- [1] Paul L. Meyer *Probabilidade Aplicações à Estatística* 2ªed. 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