

ANÁLISE SOBRE O CUSTO DE FABRICAÇÃO DE CASTANHAS MOLES E GRAMPOS DE FIXAÇÃO ATRAVÉS DA MANUFATURA ASSISTIDO POR COMPUTADOR

Gutemberg Ferreira Diniz, gutemberg_ferreira@hotmail.com¹
Erijanio Nonato Silva, engenheiro.mecanico.erijanio@outlook.com¹
Eric Ramalho Ferreira de Carvalho, eng.ericramalho@gmail.com¹
Marcos Vinicyus de Araújo Oliveira, vinicyusmarcos@ufrn.edu.br¹
Prince Azsemergh Nogueira de Carvalho, prince.cfv@gmail.com²
João Dehon Rocha Júnior, joaodehonjunior@hotmail.com¹
Joseane Azevedo Dantas, joseaneazdantas@gmail.com¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Avenida Hermes Fonseca - s/n Museu Camara CA, RN, 59084-100.

²Universidade Federal Rural do Semi-Árido, R. Francisco Mota, 572 - Pres. Costa e Silva, Mossoró - RN, 59625-900.

Resumo: O referido trabalho fundamenta-se no estudo, análise e projeto baseados em sistemas CAD/CAM de duas peças metálicas. A peça 1 é uma castanha usada em placas de tornos e a peça 2 é uma base de grampo de fixação. Na fabricação dependendo do grau de complexidade da geometria da peça, se faz necessário o uso de ferramentas que possibilitam as etapas de desenho (CAD) e simulação do processo de usinagem (CAM) da peça, os quais oferecerem a principal vantagem de reduzir custos no processo. Para isso foi fundamental neste projeto o uso do Creo Parametric 3.0. Os custos levantados abrangem desde gastos de manutenção da empresa até gastos que se relacionam diretamente com a produção das peças. A simulação forneceu o tempo direto de usinagem que somado ao tempo de setup da máquina, afiação e trocas de ferramenta, para os lotes resulta em 209,1 e 60,9 horas, peça 1 e 2, respectivamente. A partir do exposto o custo por hora das peças resulta em R\$ 243,55. Além de perceber o custo total e sua complexidade neste projeto é possível verificar também as operações críticas dos processos os quais foram o fresamento de contorno d 2,44 min para a peça 1 e o desbaste de volume 4 de 4,65 min para a peça 2. O sistema CAD/CAM demonstrou de forma satisfatória a sua importância no projeto de fabricação obtendo parâmetros de usinagem e tempo de cada processo e ao mesmo tempo manipulando esses parâmetros torna-se possível otimizar o projeto no todo.

Palavras-chave: CAX, tempo de usinagem, custo de fabricação, CNC

1. INTRODUÇÃO

As empresas pertencentes ao ramo de manufatura necessitam se adequar aos enormes desafios no que se refere às exigências de mercado e, conseqüentemente, a concorrência. As exigências para a obtenção de produtos com qualidade adequada, com custos mais baixos e ciclos de vida maiores colocam uma pressão extra sobre o processo de introdução do produto no mercado. O custo e a qualidade são essencialmente concebidos nos estágios iniciais deste processo. O engenheiro tem a responsabilidade de permitir que o produto esteja em conformidade com os requisitos do cliente, cumprir as especificações e adequar a qualidade em todos os aspectos do produto, incluindo a fabricação e montagem, tudo dentro de escalas de tempo estreitas. A necessidade de entender e quantificar as conseqüências das decisões de projeto na fabricação e qualidade do produto se torna cada vez mais importante nos dias atuais (SWIFT e BOOKER, 2003).

Para isso existem ferramentas que possibilitam o projetista realizar todo o planejamento, projeto e simulação de execução das etapas de fabricação por usinagem, visando auxiliar na redução de custos, são os sistemas CAX, os quais são capazes de modelar desde a geometria à simulação do processo de usinagem. De acordo com Agostinho (2007) apud Vieira (2013), esse sistema é um agrupamento de todas as técnicas, hardwares, componentes, estruturas de dados, programação, equipamentos, e se estende até o nível gerencial objetivando integrar toda uma linha de produção.

Uma das etapas desse sistema é a Manufatura Integrada por Computador (Computer Aided Manufacturing - CAM) que teve avanços significativos na área de produção industrial. Um conceito bastante difundido e que tem ganhado espaço é o de Indústria 4.0 (ou “quarta revolução industrial”) que possui em seu funcionamento todo o conceito de robótica, controle e automação, associados aos processos de manufatura, com isso possibilita reduzir custos, aumentar a produção e nivelar a qualidade dos produtos (JAIMES et al, 2017).

A primeira etapa constituinte desse método é o desenvolvimento do modelo geométrico. Segundo Xu (2009), o desenvolvimento da modelagem geométrica é acoplado a três departamentos de ciências e tecnologias. São técnicas de computação gráfica, esquemas de representação geométrica tridimensional (3D) e avanços de hardware. Esse estudo inicia-se na década de 1960. As abordagens básicas de modelagem geométrica utilizadas nos sistemas CAx atuais são modelagens por forma de arame, superfície e sólidos. A modelagem por forma de arame é constituída de entidades básicas que podem incluir pontos, linhas, arcos e círculos, cônicos e outros tipos de curvas. Tais entidades são formadas por curvas paramétricas no espaço. As representações do tipo superfície dependem fortemente dos conjuntos de entidades formadas pelo tipo forma de arame, uma vez que essas formarão as faces da superfície. A modelagem tipo sólido possui maior riqueza de detalhes, algumas vezes é possível modelar sólidos usando apenas forma de arame e superfície. No entanto, para outros tipos de abordagens de simulação, as quais não estão no escopo deste trabalho, a modelagem de sólido pode ser realizada de outras formas.

A segunda etapa é o desenvolvimento do projeto no sistema CAM que, de acordo com Figueira (2003), pode ser definido como um auxiliador através da computação da preparação da manufatura, representando as tecnologias usadas na produção, discorrendo não só a respeito da automação da manufatura, como do Comando Numérico Computadorizado (CNC), Controlador Lógico Programável (CLP), coletores de dados (DNC), e também da tomada de decisão, plano operacional, etc.

Segundo Singh (1996) apud Xu (2009), o desenvolvimento de um planejamento de processo pode envolver um número de atividades básicas:

- Análise das necessidades da peça;
- Seleção da matéria-prima;
- Determinação das operações de manufatura e suas sequencias;
- Seleção da máquina-ferramenta;
- Seleção das ferramentas, dispositivos de fixação e inspeção do equipamento;
- Determinação das condições de usinagem (velocidade de corte, avanço e profundidade de corte) e o tempo total de manufatura.

Esses passos na maioria das vezes não são lineares e bem definidos, ou seja, em cada projeto ocorre adaptações. Portanto, esses passos são interdependentes (XU, 2009). O diagrama mostrado na Figura 1 auxilia o entendimento do processo e os passos que são realizados pelo projetista ao desenvolver a manufatura em sistemas CAD/CAM.

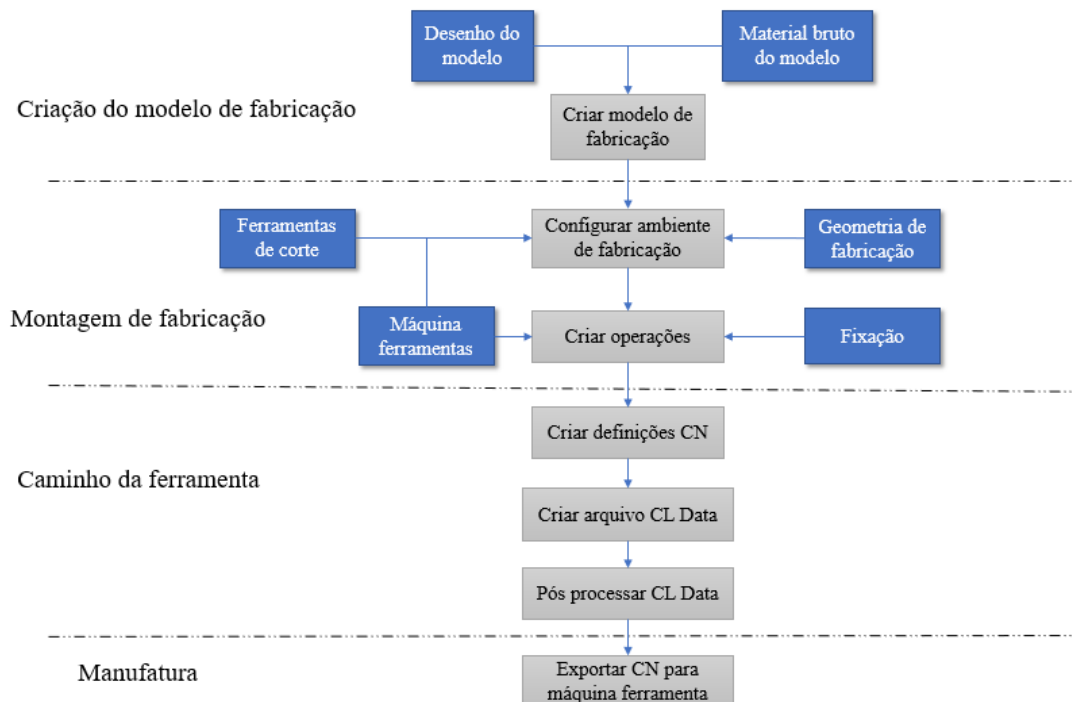


Figura 1: Etapas do projeto e manufatura. Fonte: adaptado de Xu (2009).

Tendo especificado a matéria-prima, máquina ferramenta e condições de corte, na etapa de determinação das condições de usinagem e tempos no processo com base no fluxograma da Figura 1, surge um desafio de como controlar a redução do custo e o aumento do fluxo de produção. O controle das variáveis de operação de usinagem (ex. fresamento) acontece primeiramente pela manipulação adequada de velocidade de corte (v_c), avanço (f), profundidades axial e radial de corte (a_p ou a_e) e as estratégias de usinagem. Sendo assim é necessário calcular o somatório dos tempos na usinagem e relacionar com o custo total (GROOVER, 2010). No entanto, o tempo total de um processo de usinagem vai além daqueles relacionados à usinagem efetiva. Um tempo importante no processo de fabricação em série é o tempo de setup. O setup é uma atividade de preparação da máquina antes de iniciar a produção de qualquer produto, porém enquanto esta

não é concluída, o processo se mantém parado. Conforme Cakmakci (2008), quanto menor for o tempo de preparação da máquina, menor poderá ser o tempo de produção do lote, logo maior será a eficiência.

Além de custos nos tempos do processo existe uma estimativa usada para obtenção do custo total no âmbito de empresa que se baseia em dois aspectos (FILHO, 2008):

- O custo estrutural fixo (CEF): é o gasto incorrido para manter a estrutura de uma firma em condições adequadas de operação;

- Os gastos variáveis (GV): são aqueles que guardam proporção direta com o volume realizado e faturado de vendas.

O custo estrutural fixo (CEF), segundo Filho (2008), envolve custos inerentes aos salários e encargos trabalhistas, manutenção geral (estrutura e equipamentos), bem como a depreciação e/ou aluguel de equipamentos e estrutura física necessária. Enquanto que os GV se referem aos tributos e taxas, tais como PIS, COFINS, ICMS entre outros, além dos custos inerentes aos insumos como, por exemplo, matéria prima aplicada. É necessário que administrador conheça, entenda e estude a influência desses fatores no projeto.

Com base no exposto, esse trabalho tem como objetivo obter o custo da fabricação de lotes de duas peças distintas através da ferramenta CAM. Sendo necessário para tal a concepção de modelos, o levantamento dos tempos de cada operação de manufatura simulada, dos custos de ferramentas específicas, de equipamentos, de manutenção, de área e de funcionários necessários.

2. PROCEDIMENTO COMPUTACIONAL

A metodologia deste trabalho foi baseada por pesquisas bibliográficas relacionadas com usinagem e CAM, seguida da escolha de peças utilizadas como modelo, estudo das etapas de fabricação, determinação de parâmetros de usinagem, simulações de manufatura e refinamento das etapas de usinagem através das estratégias de manufatura. Duas peças, denominadas peças 1 e 2, com aplicações distintas, foram selecionadas para realização do estudo. A peça 1 é uma castanha mole utilizada para fixação de peças em tornos CNC fabricada em aço SAE 1020. A peça 2 é um tipo de grampo de fixação fabricado em aço SAE 1045. As propriedades mecânicas e algumas aplicações dos aços utilizados são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades dos materiais utilizados no trabalho.

Aço	Limite de resistência à tração (MPa)	Limite de escoamento (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Dureza Brinell (HB)	Aplicações
SAE 1020	420	350	205	121	Engrenagens, eixos, virabrequins
SAE 1045	585	450	190-210	163	

Para realização da modelagem, desde o desenho à simulação de manufatura, foi utilizado o software Creo Parametric 3.0 pertencente à PTC e disponível no Laboratório de Manufatura da UFRN. Também foi utilizado, como ferramenta de auxílio, o software Excel® da Microsoft. As dimensões das peças foram tomadas, inicialmente, a partir de catálogos de fabricantes. Entretanto, visando modelar as peças para aplicações mais específicas, algumas alterações foram realizadas nas peças. A Figura 2 mostra a representação das peças 1 e 2 já modeladas.

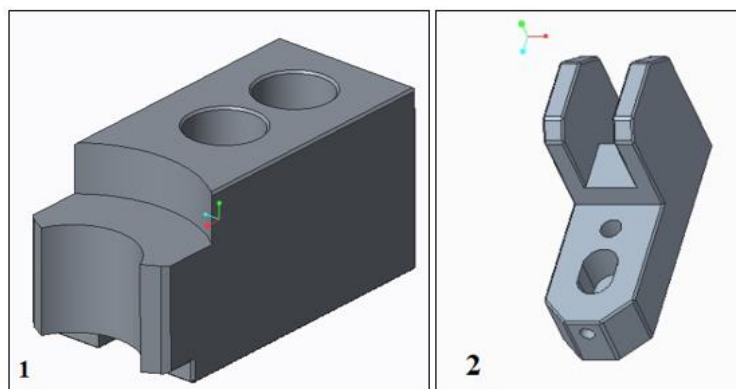


Figura 1: Representação das peças 1 e 2. Fonte: Autoria própria (2017).

Após modelagem, as vistas ortogonais necessárias foram geradas (apresentadas em anexo) e os modelos foram transferidos para o módulo de manufatura do software para realização da simulação das etapas de usinagem de cada peça. No módulo de manufatura o primeiro passo foi definir o material bruto para usinagem de cada peça. A quantidade de material bruto para as peças foi selecionada com base nas operações e fixações necessárias para realização das operações.

Na peça 1, foi deixado um sobremetal de tal forma que as dimensões do material bruto ficaram 74 x 35,8 x 46,6 mm. Na peça 2 o sobremetal requereu um bloco de material bruto com 64 x 24 x 42 mm.

A simulação das etapas de usinagem no módulo CAM foi realizada levando em consideração um centro de usinagem CNC ROMI D600 com as ferramentas existentes no magazine do laboratório de manufatura da UFRN. Além disso, algumas outras ferramentas foram criadas no magazine cadastrado no software, as quais se faziam necessárias para determinadas operações. Os parâmetros de usinagem necessários para realização das etapas foram selecionados através de catálogos atualizados e específicos das empresas Sandvik Coromant e Amatoool os quais variaram conforme material, qualidade final e operação.

Para a realização das operações de usinagem nas peças se torna conveniente a adoção de referências, ou seja, determinar as posições de usinagem. Essas referências podem ser tomadas com base nas vistas ortogonais. Conforme anexos, a primeira posição de usinagem, denominada lado 1, é representada pela vista superior para peça 1, ou seja, a ferramenta inicia o faceamento na superfície representada por essa vista. Após todas as etapas de usinagem realizadas no lado 1 a matéria prima foi então reposicionada para usinagem da superfície representada pela (aquela que seria) vista inferior. Por fim, a peça 1 foi reposicionada para usinagem do padrão serrilhado como mostrado na Figura 3.

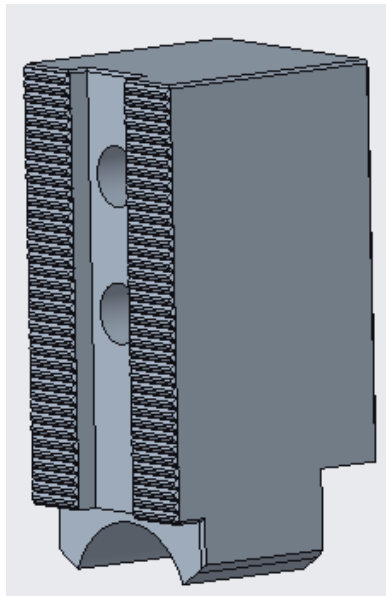


Figura 2: Posicionamento para usinagem do padrão serrilhado. Fonte autoria própria (2017).

Para a peça 2 a vista inferior é adotada como sendo o lado 1, a vista superior como sendo o lado 2, a vista lateral esquerda como sendo o lado 3 e a vista frontal como sendo o lado 4. Portanto, as operações se iniciam na face inferior da peça, em seguida na face superior, face lateral direita e por fim na face frontal.

Especificada as referências em que ocorrerão as operações em cada lado da peça, se faz necessário criar os sistemas de coordenadas, pontos de início e fim dos processos e planos de segurança para cada lado da geometria. Portanto, as sequências criadas no software foram baseadas de acordo com essas considerações. Com base em experimentos executados no Laboratório de Manufatura da UFRN, foi determinado um tempo de 0,25 minutos para cada mudança de lado de usinagem.

Após o levantamento dos tempos de manufatura das operações, foi realizado um levantamento, de forma adaptada àquela mostrada por Filho (2008), dos custos inerentes à fabricação dos lotes. No modelo adotado foi relacionado todos os custos com a variável tempo de produção das peças. Foram considerados lotes de 900 e 120 peças para os tipos de peça 1 e 2 respectivamente.

O estudo foi realizado considerando-se o custo de uma empresa contida em uma unidade industrial maior e funcionando em dois turnos de oito horas cada. Para tal, a empresa considerada arcará com o custo de 45 m² de área necessários para alocar um centro CNC ROMI D600, uma serradora Franho FM 500 e a estrutura administrativa. Foi considerado um efetivo de mão de obra composto por três funcionários, sendo um auxiliar administrativo e dois operadores.

Os custos considerados para realização do trabalho foram: investimento em equipamentos, área locada, seguro, folha salarial incluindo benefícios dos funcionários, custo de energia na região e custos de insumos, tais como aquisição e afiação de ferramentas. Os custos foram obtidos através de dados nacionais e cotações via contato por internet e telefone em empresas específicas do ramo.

O custo do investimento inicial envolvendo aquisição de todo o maquinário e equipamentos de escritório necessários para o funcionamento da empresa foi orçado em R\$ 460.000,00, sendo considerada depreciação destes em 10 anos. O valor de locação de área necessária foi orçado em R\$ 14,00 por metro quadrado, tendo sido tomado como base valores de áreas industriais na cidade de Natal/RN e já incluindo IPTU. Ainda foi orçado um seguro no valor de R\$ 1.000,00 por ano.

Baseado no funcionamento da empresa, foi possível, com base em médias nacionais e locais, obter o custo de mão de obra por funcionário. Considerando um salário na média nacional e benefícios de vale alimentação, transporte e plano de saúde local obteve-se um custo por funcionário de R\$ 4.775,37 (CALCULADOR, 2017). O consumo de energia utilizada na planta da empresa também depende do regime de funcionamento. Sendo 16 kWh o consumo de todos equipamentos utilizados, o consumo total por dia é de 256 kWh. O custo foi tomado segundo dados disponíveis no site da Confederação Nacional das Indústrias [CNI] (2017), cujo informa o custo do kWh no estado do Rio Grande do Norte como sendo R\$ 0,426.

Para o levantamento dos custos inerentes às ferramentas foi considerada que a vida útil destas é, em unidade de tempo, 30 minutos tanto para ferramentas de pastilhas intercambiáveis quanto para ferramentas inteiriças. Entretanto, para as ferramentas inteiriças foi considerada a possibilidade de afiação após os 30 minutos de uso, em que se adotou como sendo 10 a quantidade máxima de afiações por ferramenta e que cada afiação custou 15% do valor total da ferramenta. Com base em experimentos realizados no Laboratório de Manufatura da UFRN, foi adotado um tempo de 2 minutos para troca de ferramentas e um tempo de setup de 20 minutos.

O custo da matéria prima utilizada é, obviamente, um valor impactante no processo e, após pesquisa, foram obtidos os valores por quilo de R\$ 13,40 e R\$ 16,40 para as peças 1 e 2 respectivamente. Também foi considerado R\$ 1.500,00 como custo fixo, utilizado para compra de utilidades de limpeza, copa e de escritório.

Por fim, foram adicionados os encargos tributários considerando que a empresa do presente trabalho se enquadra no regime simples. Conforme a tabela do simples nacional (tabela que quantifica os encargos tributários para diversos tipos de empresas) as taxas e os respectivos encargos são: 3,60% de PIS/COFINS, 18% de ICMS e 15% de IPI. Nesse estudo será considerado que todos os encargos incidirão sobre o custo de produção.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização das simulações de manufatura com base na metodologia apresentada foi possível reunir os custos de manufatura para os lotes das peças especificadas. As Tabelas 2 e 3 mostram os resultados dos tempos diretos de usinagem para cada processo, de cada peça, especificando posição e tipo de ferramentas utilizadas e mostra como resultado o tempo total para fabricação de uma peça de cada lote.

Tabela 2. Tempo direto de usinagem - Peça 1.

PLANO DE PROCESSO - CÁLCULO DE TEMPO							
Produto	Material	Material bruto		Fixação	Máquina ferramenta	Página	
Catânia mole	Aço SAE 1020	74,05 x 35,8 x 46,55 mm		Morsa mecânica	ROMI D600	01 de 01	
Operações (Lado)	Operação elementar	Posição da ferramenta	Especificação da ferramenta	Número de passes	Tc (min)	Ts (min)	Tapr (min)
11 (LADO 1)	Faceamento	T12	R390-011 T3 08M-PM CLASSE GC 1030	1	0,75	0,25	0,07
	Contorno	T12	R390-011 T3 08M-PM CLASSE GC 1030	1	2,44		0,07
	Desbaste circular 1	T12	R390-011 T3 08M-PM CLASSE GC 1030	4	0,49		0,07
	Acabamento circular 1	T12	R390-011 T3 08M-PM CLASSE GC 1030	1	1,35		0,07
	Desbaste circular 2	T12	R390-011 T3 08M-PM CLASSE GC 1030	1	0,33		0,07
	Acabamento circular 2	T12	R390-011 T3 08M-PM CLASSE GC 1030	1	1,64		0,07
	Furo passante 1 - 6,5 mm	T18	R840-0650-50-A0A CLASSE GC 1220	1	0,13		0,07
	Furo passante 2 - 8,5 mm	T15	R840-0850-50-A0A CLASSE GC 1220	1	0,17		0,07
	Furo cego - 24 mm	T13	R840-1500-30-A0A CLASSE GC 1220	1	0,13		0,07
	Rebaixo furo	T8	R216.24-05050BCC08P	1	0,16		0,07
	Chanfro integral	T6	316-12CM600-12045G	1	0,36		0,07
4 (LADO 2)	Desbaste sobremetal	T12	R390-011 T3 08M-PM CLASSE GC 1030	3	0,85	0,25	0,07
	Faceamento	T12	R390-011 T3 08M-PM CLASSE GC 1030	1	0,7		0,07
	Desbaste lateral	T12	R390-011 T3 08M-PM CLASSE GC 1030	2	0,14		0,07
	Desbaste transversal	T10	R216.34-10050-CC16P	2	2,13		0,07
1 (LADO 3)	Serrilhado	T20	R215.64-36A32-6012	1	2,22	0,25	0,07
LEGENDA: Tc - tempo de corte; Ts - tempo de secundário; Tapr - tempo de aproximação e de afastamento				Parcial lado 1	7,95	0,25	0,77
				Total lado 1	8,97		
				Parcial lado 2	3,82	0,25	0,28
				Total lado 2	4,35		
				Parcial lado 3	2,22	0,25	0,07
				Total lado 3	2,54		
				TOTAL	15,86		

Tabela 3. Tempo direto de usinagem – Peça 2.

PLANO DE PROCESSO - CÁLCULO DE TEMPO							
Produto	Material	Material bruto		Fixação	Máquina ferramenta	Página	
Base da fixação	Aço SAE 1045	62 x 40 x 22 mm		Morsa mecânica	ROMI D600	01 de 01	
Operações (Lado)	Operação elementar	Posição da ferramenta	Especificação da ferramenta	Número de passes	Tc (min)	Ts (min)	Tapr (min)
5 (LADO 1)	Faceamento 1	T14	R390-050C5-11M060 (GC 1030)	1	0,63	0,25	0,07
	Furação 1	T02	R840-0330-30-A0A (GC 1220)	1	0,25		0,07
	Desbaste de volume 1	T03	R216.24-10050BCC16P 1640	1	0,79		0,07
	Contorno integral 1	T03	R216.24-10050BCC16P 1640	1	2,64		0,07
	Chanfro integral 1	T09	316-12CM600-12045G (acoplamento E12)	1	0,34		0,07
12 (LADO 2)	Desbaste de Perfil 1	T14	R390-050C5-11M060 (GC 1030)	7	1,56	0,25	0,07
	Contorno Integral 2	T03	R216.24-10050BCC16P 1640	1	3,68		0,07
	Desbaste de volume 2	T07	R216.24-05050BCC08P 1640	2	1,33		0,07
	Desbaste de volume 3	T03	R216.24-10050BCC16P 1640	4	2,01		0,07
	Furação 2	T16	Broca 05,0009 (Catálogo Amatools)	1	0,86		0,07
	Desbaste de perfil 2	T19	R390-012A 16-11L3 (GC 4220)	4	0,45		0,07
	Fresamento de superfície 1	T09	R216-10A 16-050 (GC 4220)	1	0,25		0,07
	Desbaste de volume 4	T05	R216.24-06050BCC10P 1640	5	4,65		0,07
	Fresamento de superfície 2	T05	R216.24-06050BCC10P 1640	1	0,27		0,07
	Contorno parcial 1	T03	R216.24-10050BCC16P 1640	1	1,85		0,07
	Contorno parcial 2	T03	R216.24-10050BCC16P 1640	1	1,24		0,07
2 (LADO 3)	Chanfro parcial 1	T09	316-12CM600-12045G (acoplamento E12)	1	0,23	0,25	0,07
	Contorno parcial 3	T03	R216.24-10050BCC16P 1640	1	2,58		0,07
1 (LADO 4)	Furação 4	T11	R840-0800-30-A0A (GC 1220)	1	0,29	0,25	0,07
				Parcial lado 1	4,65	0,25	0,35
				Total lado 1	5,25		
				Parcial lado 2	18,38	0,25	0,84
				Total lado 2	19,47		
				Parcial lado 3	2,82	0,25	0,14
				Total lado 3	3,21		
				Parcial lado 4	0,29	0,25	0,07
				Total lado 4	0,61		
				TOTAL	28,54		

LEGENDA:

Tc - tempo de corte;

Ts - tempo de secundário;

Tapr - tempo de aproximação e de afastamento

A partir das Tabelas 2 e 3 foi possível demonstrar que a peça 2 apresenta maior complexidade e necessita assim de maior tempo para produção por peça. Por uma multiplicação direta é possível encontrar que o tempo direto para produção dos lotes das peças 1 e 2 são de 197,55 e 57,10 horas, respectivamente. No entanto, para obtenção do tempo de produção de cada lote deve ser levado em consideração outros tempos que não estão contabilizados nas Tabelas 2 e 3. São esses: tempo de setup da máquina e tempo de troca de ferramenta. As Tabelas 4 e 5 mostram a influência do tempo de troca de ferramentas na produção dos lotes estudados, e o tempo setup da máquina é de 40 minutos para produção dos dois lotes.

Tabela 4. Tempo indireto de usinagem – Peça 1.

TROCA DE FERRAMENTAS DESGASTADAS NO LOTE - PEÇA 1						Tamanho do lote:	900
Produto	Material		Sistema de fixação		Máquina ferramenta		Página
Castanha Mole	SAE 1020		Morsa mecânica		ROMI D600		01 de 01
Posição da ferramenta	Operação elementar	Lado da Usinagem	Tempo parcial (min)	Somatório (min)	Vida da ferramenta (min)	Peças usinadas por troca	Número de trocas
T12	Faceamento	L1	0,75	8,69	30	3	261
	Contorno		2,44				
	Desbaste circular 1		0,49				
	Acabamento circular 1		1,35				
	Desbaste circular 2		0,33				
	Acabamento circular 2		1,64				
	Desbaste sobremetal	L2	0,85				
	Faceamento		0,7				
	Desbaste lateral		0,14				
T18	Furo passante 1 - 6,5 mm	L1	0,13	0,13	30	231	4
T15	Furo passante 2 - 8,5 mm	L1	0,17	0,17	30	176	5
T13	Furo cego - 24 mm	L1	0,13	0,13	30	231	4
T08	Rebaixo furo	L1	0,16	0,16	30	188	5
T06	Chanfro integral	L1	0,36	0,36	30	83	11
T10	Desbaste transversal	L2	2,13	2,13	30	14	64
T20	Serrilhado	L3	2,22	2,22	30	14	64
						Número de trocas de ferramentas:	418
						Tempo total de troca (min):	836

Tabela 5. Tempo indireto de usinagem – Peça 2.

TROCA DE FERRAMENTAS DESGASTADAS NO LOTE - PEÇA 2						Tamanho do lote:	120
Produto	Material		Sistema de fixação		Máquina ferramenta		Página
Base da fixação	SAE 1045		Morsa mecânica		ROMI D600		01 de 01
Posição da ferramenta	Operação elementar	Lado da Usinagem	Tempo parcial (min)	Somatório (min)	Vida da ferramenta (min)	Peças usinadas por troca	Número de trocas
T14	Faceamento 1	L1	0,63	2,19	30	14	9
	Desbaste de perfil 1	L2	1,56				
T02	Furação 1	L1	0,25	0,49	30	61	2
	Furação 3	L3	0,24				
T03	Desbaste de Volume 1	L1	0,79	14,79	30	2	60
	Contorno integral 1		2,64				
	Contorno integral 2	L2	3,68				
	Desbaste de Volume 3		2,01				
	Contorno parcial 1		1,85				
	Contorno parcial 2		1,24				
	Contorno parcial 3	L3	2,58				
T09	Chanfro integral 1	L1	0,34	0,57	30	53	2
	Chanfro parcial 1	L2	0,23				
T07	Desbaste de volume 2	L2	1,33	1,33	30	23	5
T05	Desbaste de volume 4	L2	4,65	4,92	30	6	20
	Fresamento de superfície 2		0,27				
T16	Furação 2	L2	0,86	0,86	30	35	3
T19	Desbaste de perfil 2	L2	0,45	0,45	30	67	2
T04	Fresamento de superfície 1	L2	0,25	0,25	30	120	1
T11	Furação 4	L4	0,29	0,29	30	103	1
						Número de trocas de ferramentas:	105
						Tempo total de troca (min):	210

Os tempos obtidos nas Tabelas 4 e 5, se somados aos tempos direto do lote e de setup, mostram o que o real tempo para produção dos lotes das peças 1 e 2 são de 209,1 e 60,9 horas, respectivamente. O tempo de produção de cada lote em dias trabalhados, considerando as 16 horas por dia é de aproximadamente 13,7 dias para peça 1 e 3,81 dias para peça 2. Além disso, as Tabelas 4 e 5 mostram que as ferramentas que possuem maior necessidade de troca são as ferramentas T12, para peça 1, e T3 para peça 2. A ferramenta T12 é constituída por 3 pastilhas intercambiáveis de metal duro e a T3 é inteiriça de metal duro.

Os tempos de usinagem são parâmetros que auxiliam no levantamento dos custos de produção. Entretanto, como já citado anteriormente, outros custos não ligados diretamente aos tempos devem ser mensurados. A Tabela 6 mostra o demonstrativo do custo para com a matéria prima utilizada como material bruto nas simulações de CAM para as peças 1 e 2.

Tabela 6. Custo do material bruto.

Matéria prima		
Material	SAE 1020 - Peça 1	SAE 1045 - Peça 2
Densidade (g/cm ³)	7,87	7,87
Volume material bruto (cm ³)	123,40	54,56
Massa (kg)	0,971	0,429
Preço (R\$/kg)	R\$ 13,40	R\$ 16,40
Custo por peça (R\$)	R\$ 13,01	R\$ 7,04
Obs.: Cotações levam em consideração o material vendido nas dimensões do material bruto.		

A metodologia explanada em conjunto com os tempos de usinagem e custo de matéria prima supracitadas são suficientes para se obter o custo de produção para ambos os lotes em estudo. Esse custo é mostrado na Tabela 7.

Tabela 7. Custo total detalhado de produção.

Detalhamento de despesas	por mês	por dia (22 dias)	por hora (16 horas por dia)
Folha de pagamento	R\$ 14.326,11	R\$ 651,19	R\$ 40,70
Energia	R\$ 2.400,36	R\$ 109,11	R\$ 6,82
Aluguel/IPTU	R\$ 630,00	R\$ 28,64	R\$ 1,79
Depreciação equipamentos - 10 anos	R\$ 3.833,33	R\$ 174,24	R\$ 10,89
Seguros	R\$ 1.000,00	R\$ 45,45	R\$ 2,84
Insumos	R\$ 28.943,76	R\$ 1.315,63	R\$ 82,23
Materia prima	R\$ 12.557,54	R\$ 570,80	R\$ 35,67
Utilidades	R\$ 2.000,00	R\$ 90,91	R\$ 5,68
TOTAL	R\$ 65.691,10	R\$ 2.985,96	R\$ 186,62

A Tabela 7 mostra o custo total por hora para produção dos dois lotes em estudo com base nas premissas adotadas na metodologia. A linha que diz respeito aos insumos contempla o custo total de compra de ferramentas e afiações para os dois lotes. Do custo total de insumos apresentado, R\$ 18.323,98 é referente ao lote de peças 1 e R\$ 20.245,28 referente ao lote de peças 2, o que mostra o impacto da aquisição de novas ferramentas para realização implementação de uma linha de produção. A Tabela 7 também mostra que o custo por hora para produção dos dois lotes é de R\$ 178,29 sem o acréscimo dos impostos. Deve-se observar que o custo da matéria prima não foi contabilizado como custo de produção por hora, sendo esse um custo fixo referente ao tamanho do lote. Em uma aproximação, conforme citado na metodologia, no que tange aos impostos, conclui-se que o custo por hora de produção das peças é de R\$ 243,55 e, consequentemente, um custo total de produção de R\$ 65.761,75. Apesar de não ser o foco do trabalho é possível, estimando um percentual de 20% para o lucro por peça, estimar que os preços de venda das peças 1 e 2 é de R\$ 67,79 e R\$ 147,54 respectivamente.

4. CONCLUSÃO

A realização do presente trabalho teve como principal objetivo o levantamento dos custos envolvidos na fabricação de peças distintas e em tamanhos de lotes também distintos através dos tempos de produção obtidos com auxílio da ferramenta CAM, fazendo relação com outros parâmetros impactantes no custo total da produção.

Os dados obtidos mostram a criticidade de determinadas operações nos diferentes tipos de peças que elevam os custos de produção destas. Na peça 1, a operação mais crítica foi a de contorno, a qual requereu 2,44 minutos. Já para a peça 2, a operação desbaste de volume 4 foi a mais crítica com 4,65 minutos.

A pesquisa contemplou também a quantificação de outros custos inerentes à fabricação de peças em lotes e obteve os valores de custo final unitário para ambas as peças estudadas de R\$ 56,50 e R\$ 122,95, peça 1 e peça 2 respectivamente. Os custos individuais dos lotes estudados foram de R\$ 50.926,31 para o lote da peça 1 e de R\$ 14.835,44 para peça 2. A obtenção desses valores mostra a eficiência do método utilizado no que diz respeito à obtenção de parâmetros sem necessidade da fabricação. Como sugestão para estudos futuros pode-se realizar uma pesquisa de campo contemplando as taxas de lucro aplicadas no setor, bem como analisar os parâmetros utilizados no que diz respeito ao sistema de fixação e possibilidade de otimização do custo.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM) da UFRN, ao professor Dr. Adilson José por todas as contribuições na elaboração do presente artigo, aos colegas que ajudaram na revisão do texto e ao Laboratórios de Manufatura (LabMan) da referida instituição.

6. REFERÊNCIAS

- [1] CALCULADOR, 2017. Disponível em: <http://www.calculador.com.br/calculo/custofuncionario-empresa>. Acesso em: 20/09/17.
- [2] CAKMAKCI, MEHMET. Process improvement: performance analysis of the setup time reduction-SMED in the automobile industry. *International journal of advanced manufacturing technology*, v. 41, n. 1-2, 2008.
- [3] CNI, 2017. Disponível em: <http://perfilestados.portaldaindustria.com.br/estado/rn>. Acesso em: 20/09/17.
- [4] FILHO, João Edson F. de Queiroz. Contabilidade de Custos e Formação de Preços. Conselho Regional de Contabilidade – CRC – CE. Fortaleza, CE, Brasil. 2008.
- [5] FIGUEIRA, R. J. C. M. CAD/CAD/CAM/CIM. Instituto Politécnico do Porto. Porto, Portugal. 2003. (Projecto).
- [6] GROOVER, Mikell. P. Fundamentals of Modern Manufacturing. 4th ed. Industrial and Systems Engineering Lehigh University, 2010.
- [7] JAIMES, Crishtian Ivan Riaño et al. Modelo de integração para inspeção em malha fechada aderente a step-nc. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Cristhian_Riano_Jaimes/publication/319018775_Modelo_de_Integracao_para_Ispcao_em_Malha_Fechada_Aderente_a_STEPNC/links/598b57b6a6fdcc58acb39dbe/Modelo-de-Integracao_para_Ispcao-em-MalhaFechada-Aderente-a-STEP-NC.pdf Acesso em: 29/11/2017.
- [8] SODEXO, 2017. Disponível em: <https://www.sodexobeneficios.com.br/institucional/salade-imprensa-sodexo/preco-medio-da-refeicao-no-centro-oeste-aumentou-14-no-ultimoano.htm>. Acesso em 20/11/17.
- [9] SWIFT, K. G. BOOKER, J. D. Process Selection: from Design to Manufacture. 2th edition. Department of Engeneering University of Hull, UK, 2003.
- [10] VIEIRA, T.L.P., Monografia de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, 2013, “CIM – Manufatura Integrada por Computador”, Ouro Preto, MG, Brasil.
- [11] XU, XUN. Integrating Advanced Computer-Aided Design, Manufacturing, and Numerical Control: Principles and Implementations. 1th ed. University of Auckland, New Zealand, 2009.
- [12] BORDALO, S.N., FERZIGER, J.H. and Kline, S.J., 1989, “The Development of Zonal Models for Turbulence”, *Proceedings of the 10th Brazilian Congress of Mechanical Engineering*, Vol. 1, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 41-44.
- [13] CLARK, J.A., 1986, Private Communication, University of Michigan, Ann Harbor.
- [14] COIMBRA, A.L., 1978, “Lessons of Continuum Mechanics”, Ed. Edgard Blücher, São Paulo, Brazil, 428 p.
- [15] LEE, Y.B., 2003, “Studies on the growth of the frost layer based on heat and mass transfer through porous media”, Ph.D. thesis, Seoul National University, Seoul.
- [16] SOVIERO, P.A.O. and LAVAGNA, L.G.M., 1997, “A Numerical Model for Thin Airfoils in Unsteady Motion”, *RBCM- J. of the Brazilian Soc. Mechanical Sciences*, Vol. 19, No. 3, pp. 332-340.
- [17] SPARROW, E.M., 1980, “Forced Convection Heat Transfer in a Duct Having Spanwise-Periodic Rectangular Protuberances”, *Numerical Heat Transfer*, Vol. 3, pp. 149-167.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

ANALYSIS OF THE COST OF MANUFACTURE OF SOFT CHESTNUT AND FIXING CLAMPS THROUGH COMPUTER ASSISTED MANUFACTURING

E Gutemberg Ferreira Diniz, gutemberg_ferreira@hotmail.com¹
E.N. Silva, engenheiro.mecanico.erijanio@outlook.com¹
E.R.F. de Carvalho, eng.ericramalho@gmail.com¹
M.V.A. Oliveira, vinicyusmarcos@ufrn.edu.br¹
P.A.N. de Carvalho, prince.cfv@gmail.com²
J.D.R. Júnior, joaodehonjunior@hotmail.com¹
J.A.Dantas, joseaneazdantas@gmail.com¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Avenida Hermes Fonseca - s/n Museu Camara CA, RN, 59084-100.

²Universidade Federal Rural do Semi-Árido, R. Francisco Mota, 572 - Pres. Costa e Silva, Mossoró - RN, 59625-900.

Abstract. *This paper is based on the study, analysis and design based on two-piece metal CAD/CAM systems. Part 1 is a nut used in lathing plates and part 2 is a fixing clamp base. In manufacturing, depending on the degree of complexity of the part geometry, it is necessary to use tools that allow the design (CAD) and simulation of the machining process (CAM) of the part, which offer the main advantage of reducing costs in the process. For this was fundamental in this project the use of Creo Parametric 3.0. The costs raised range from the company's maintenance expenses to expenses directly related to the production of the parts. The simulation provided the direct machining time which added to the machine setup time, sharpening and tool changes, for the lots results in 209.1 and 60.9 hours, parts 1 and 2, respectively. From the above, the cost per hour of the pieces results in R \$ 243,55. In addition to realizing the total cost and its complexity in this project it is also possible to verify the critical operations of the processes which were the contour milling d 2.44 min for part 1 and the volume 4 roughness 4. of 4.65 min for the part 2. The CAD/CAM system satisfactorily demonstrated its importance in manufacturing design by obtaining machining and time parameters of each process and at the same time manipulating these parameters makes it possible to optimize the whole design.*

Keywords: *CAX, machining time, manufacturing cost, CNC*