

COMPARAÇÃO ENTRE PERFIS DE DENTES DE ENGRENAGENS TEÓRICO E REAL UTILIZANDO MÉTODOS DE TRAÇAGEM E USINAGEM.

Cláudio Parreira Lopes, claudio@div.cefetmg.br

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais CEFET-MG, rua Álvares de Azevedo 400 bairro Bela Vista, Divinópolis-MG, CEP 35503-822

Wagner Custódio de Oliveira, wagner@div.cefetmg.br

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais CEFET-MG, rua Álvares de Azevedo 400 bairro Bela Vista, Divinópolis-MG, CEP 35503-822

Durval Uchôas Braga, durval@ufsj.edu.br

Universidade Federal de São João Del Rei, praça Frei Orlando 170 bairro Centro, São João Del Rei-MG, CEP 36307-352

RESUMO: Engrenagens são elementos de máquinas presentes na maioria dos equipamentos mecânicos. O processo de fabricação deste elemento pode ser realizado em máquinas convencionais ou controladas por computador (CNC). As ferramentas para obtenção de um perfil de dente de engrenagem são específicas e necessitam de máquinas dedicadas. Muitas alternativas têm sido utilizadas para substituir o processo de fabricação convencional, podendo citar o emprego de novos modelos de ferramentas ou a utilização de métodos para traçagem e obtenção do perfil evolvente. Este projeto de pesquisa tem como objetivo avaliar o método de traçagem e de usinagem para um modelo de engrenagem de dentes retos, tendo como variável a geometria e a dimensão do dente. Através da análise estatística de variância auxiliada pelo contraste estatístico, pode-se observar que quando utilizam-se os valores construtivos do módulo M5 em engrenagens de 26, 30 e 34 dentes, o traçado proposto por Casillas apresenta a melhor semelhança com o perfil obtido de maneira convencional, sendo este o mais indicado para o fresamento de engrenagens de dentes retos em máquinas CNC.

PALAVRAS-CHAVE: engrenagens, fresamento, CNC, traçagem.

ABSTRACT: Gears are machine elements in most mechanical equipment. The fabrication process of this element can be realized in conventional machines or computer controlled (CNC). The tools for obtaining a gear tooth profile are specific and require dedicated machines. Many alternatives have been used to replace the conventional manufacturing process, may cite the use of new types of tools or the use of methods for tracing and obtaining the involute profile. This research project aims to evaluate the method of machining and scribing for a model of spur gear, with the variable geometry and size of the tooth. Through statistical analysis of variance statistical aided by contrast, one can observe that when the building module M5 values of gears 26, 30 and 34 teeth are used, the route proposed by Casillas has the best resemblance to the profile obtained conventional way, which is the most suitable for the milling of spur gears on CNC machines.

KEYWORDS: gears, milling, CNC, scribing.

INTRODUÇÃO

Segundo Radzevick (2012), as engrenagens estão presentes em praticamente qualquer projeto de máquina, sendo raro de se encontrar um equipamento que não tenha pelo menos um conjunto de rodas dentadas na sua composição. Graças à ampla aplicação, o projeto e o *design* deste elemento de máquina tem mudado frequentemente, principalmente com o objetivo de atender os requisitos funcionais e estruturais.

Melconian (2012) divide os processos de fabricação de engrenagens em três grandes grupos: usinagem, fundição e estampagem. Do grupo usinagem, o processo é realizado com auxílio de ferramentas de forma (fresa módulo, fresa caracol), em diferentes tipos de máquinas convencionais ou controladas por comando numérico (fresadora ferramenteira,

fresamento por geração utilizando processo Renânia ou *Fellows*, centros de usinagem). A desvantagem da utilização de processos que utilizam ferramentas de forma é que para cada perfil de dente são necessários diferentes perfis de ferramentas. Assim, deve-se investir na aquisição de ferramental específico, que varia em dimensões e características geométricas.

Segundo Indufresa (2010), para obter-se um jogo completo de ferramentas modulares padrão DIN-3972, utilizadas na fabricação de engrenagens métricas, seriam necessárias pelo menos 675 fresas diferentes entre módulo M0,3 e módulo M20. Outra alternativa seria a utilização de insertos intercambiáveis em metal duro, disponibilizado por empresas tradicionais de ferramentas, que compõe uma linha específica para usinagem de engrenagens, conforme mostrado na Fig. 1 (a) e Fig. 1 (b).

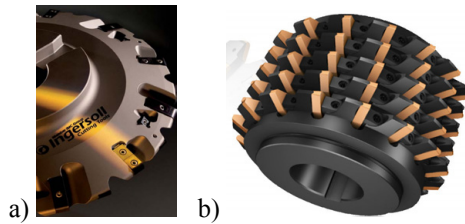


Figura 1. a) Fresa módulo intercambiável (INGERSOLL, 2014); b) Fresa de geração processo Renânia (SANDVIK, 2014)

Neste caso, apesar das inúmeras vantagens do emprego de ferramentas intercambiáveis, o ferramental também possui alto valor de aquisição e as máquinas que o utilizam são muitas vezes dedicadas, não permitindo mudanças de arranjo. Tradicionalmente, a grande maioria das indústrias prefere trabalhar com processos que utilizam ferramentas tipo módulo, seja pela facilidade de aquisição, seja pelo custo reduzido do ferramental quando comparado a outros métodos.

Este projeto de pesquisa tem como objetivo avaliar uma alternativa de fabricação para um modelo específico de engrenagem. Por ser o tipo mais comum, estudou-se o perfil de engrenagens cilíndricas de dentes retos.

Também optou-se por realizar a usinagem numa máquina convencional e numa máquina controlada por comando numérico, devido à facilidade de obtenção de perfis variados via fabricação assistida por *software* CAM. Através da escolha de um módulo padronizado, procurou-se investigar qual técnica de traçagem seria a mais indicada para aproximação geométrica e dimensional entre um perfil obtido por usinagem convencional e um perfil obtido por usinagem CNC, de modo a minimizar o emprego de ferramentas de forma, e consequentemente, reduzir os insumos necessários para sua obtenção.

REVISÃO DA LITERATURA

Perfil evolvente de dentes de engrenagens.

Segundo Dudley (2012), a forma geométrica mais comum de engrenamento consiste numa cremalheira com dentes de perfil reto. Esta geometria pode ser observada na Fig. 2. A inclinação do perfil da cremalheira é chamada de ângulo de pressão (ϕ). A linha de ação forma uma reta normal ao perfil da cremalheira, onde os círculos ao redor do centro de rotação e tangentes à linha de ação são chamados de círculos de base. A curva do perfil do dente é a evolvente do círculo de base.

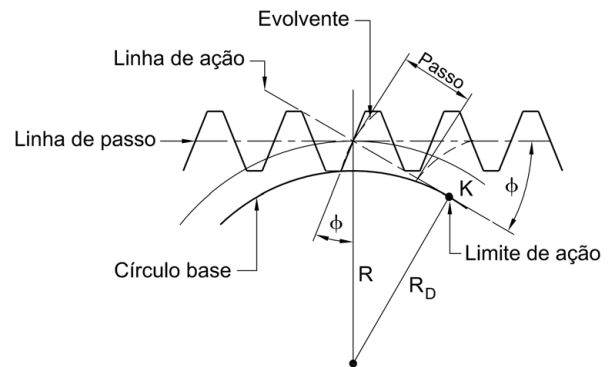


Figura 2. Cremalheira com dentes retos para perfil evolvente (adaptado de DUDLEY, 2012)

O passo da linha de base é a distância entre a linha de ação e os perfis sucessivos semelhantes da cremalheira com os perfis sucessivos semelhantes da evolvente. O limite de ação é determinado pelo ponto K de tangência da linha de ação com cada um dos círculos de base, sendo também o centro de curvatura do perfil do dente em torno da zona de engrenamento.

A evolvente de uma circunferência também é definida como a trajetória que descreve um ponto de uma linha reta quando ocorre o rolamento sem deslizamento entre a linha e a circunferência geratriz, sendo esta chamada de circunferência de base da evolvente. Uma curva evolvente tem duas extremidades opostas que encontram-se no mesmo ponto sobre a circunferência de base, onde o raio de curvatura é igual a zero. Todas as evolventes de uma mesma circunferência de base são congruentes e paralelas; aquelas que são traçadas através de diferentes circunferências de base são geometricamente semelhantes. A Figura 3 mostra os elementos da geometria do perfil evolvente.

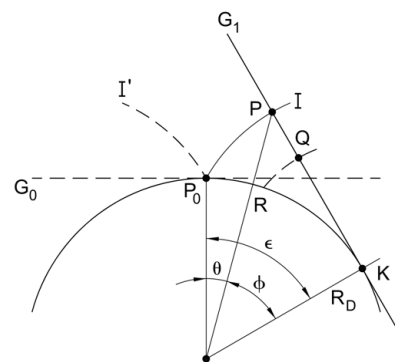


Figura 3. Elementos da geometria do perfil evolvente (adaptado de DUDLEY, 2012)

A linha geratriz G está originalmente na posição G_0 tangente à circunferência base no ponto P_0 . Ao girar sobre a circunferência base através do ângulo de rolamento ϵ , se desloca até a posição G_1 , onde segue à circunferência de base no ponto K . Ao mover-se do ponto P_0 da geratriz até o ponto P , diz-se que descreveu uma curva evolvente I . Ao efetuar a mesma operação, porém em sentido contrário, ocorre a traçagem da outra

extremidade I'. No outro ponto da linha geratriz, indicado como ponto Q, gera outra evolvente congruente e paralela a curva I. Uma linha reta sujeita a um movimento de rotação e simultaneamente sujeita a um movimento de translação proporcional ao primeiro movimento, também descreve a evolvente de um círculo.

Portanto, a linha geratriz é sempre normal a evolvente e o ângulo \varnothing é a inclinação da evolvente com relação ao vetor de geração R. O ângulo polar θ , juntamente com R, forma as coordenadas da curva. As equações paramétricas polares para traçado da evolvente podem ser observadas na Eq. 1 e na Eq. 2. O ângulo de rolamento ε deverá ser dado em radianos, sendo igual à tangente de \varnothing .

$$R = R_D \cdot \sec \varnothing \quad (1)$$

$$\hat{\theta} = \tan(\phi - \hat{\phi}) \quad (2)$$

A expressão $\tan(\phi - \hat{\phi})$ é conhecida como função evolvente de \varnothing e é descrita em tabelas específicas para serem utilizadas no cálculo de perfis evolventes.

Para construção, uma engrenagem de dentes retos é basicamente composta pelos seguintes elementos: módulo (m), número de dentes (Z), diâmetro externo (De), diâmetro primitivo (Dp), diâmetro de base (Db), passo (P) e altura total do dente (H). As equações para cálculo são amplamente conhecidas e podem ser identificadas na Eq. 3, Eq. 4, Eq. 5, Eq. 6 e Eq. 7.

$$De = m \cdot (Z + 2) \quad (3)$$

$$Dp = m \cdot Z \quad (4)$$

$$Db = Dp \cdot \cos \varnothing \quad (5)$$

$$P = m \cdot \pi \quad (6)$$

$$H = 2,167 \cdot m \quad (7)$$

Uma vez determinadas as dimensões principais de uma engrenagem, escolhe-se o processo de fabricação mais adequado para sua obtenção. Quando opta-se pelo processo de usinagem que emprega ferramentas de forma, fresas do tipo módulo são a primeira opção de escolha. Diversos autores sugerem diferentes métodos de obtenção do perfil evolvente (quando não utiliza-se ferramentas de forma), que podem ser obtidos através do desenvolvimento geométrico e dimensional do perfil. Childs (2004) propõe o método de traçagem utilizando um *software* CAD. O método consiste em calcular o diâmetro primitivo e determinar o passo através de círculos tangenciais entre si. Em seguida desenham-se linhas perpendiculares às linhas dos centros através de seus respectivos pontos de tangência. Estas linhas serão unidas por uma linha que representará o ângulo de pressão do engrenamento. Ainda com auxílio do CAD, são desenhadas linhas

perpendiculares à linha do ângulo de pressão através do centro de cada engrenagem; as distâncias radiais de cada uma destas linhas serão os raios da circunferência de base do pinhão e da engrenagem movida, respectivamente. Este método de obtenção do perfil evolvente pode ser observado na Fig. 4.

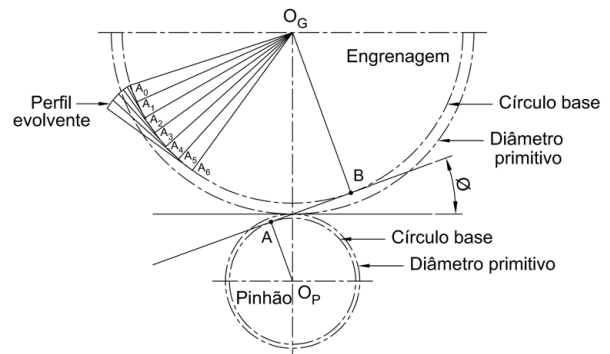


Figura 4. Traçado do perfil evolvente (adaptado de CHILDS, 2004)

Segundo Provenza (2010), o traçado aproximado de perfis evolventes pode ser obtido empregando-se o Odontógrafo de Grant. Este método consiste em calcular os valores de r, r1 e r3 através da consulta a uma tabela contendo constantes padronizadas. De acordo com o número de dentes da engrenagem, são atribuídos valores a f e f' que são inseridos nas respectivas fórmulas, obtendo assim as dimensões aproximadas do perfil do dente da engrenagem. Um exemplo de perfil a ser calculado com este método pode ser observado na Fig. 5.

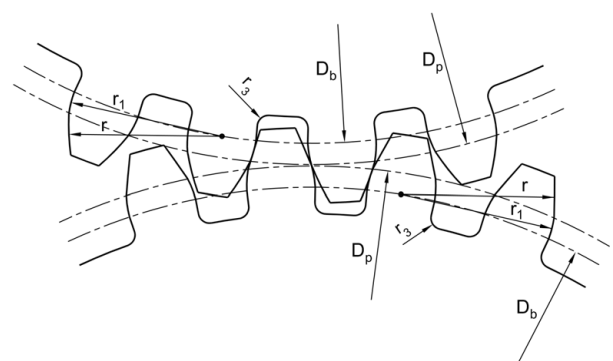


Figura 5. Traçado do perfil evolvente (adaptado de PROVENZA, 2010)

As equações para cálculos dos valores de r, r1 e r3 podem ser identificadas nas Eq. 8, Eq. 9 e Eq. 10.

$$r = f \cdot m \quad (8)$$

$$r1 = f' \cdot m \quad (9)$$

$$r3 = m / 6 \quad (10)$$

Casillas (2003) utiliza um método similar ao Odontógrafo de Grant, porém emprega diferentes fórmulas de acordo com o número de dentes da engrenagem. Para engrenagens com menos de 30 dentes e para engrenagens com mais de 30 dentes, utiliza uma metodologia de cálculo baseada no ângulo de pressão, onde obtém diferentes valores de R , R_1 , R_2 e R_3 . Um exemplo de perfil a ser calculado com este método pode ser observado na Fig. 6.

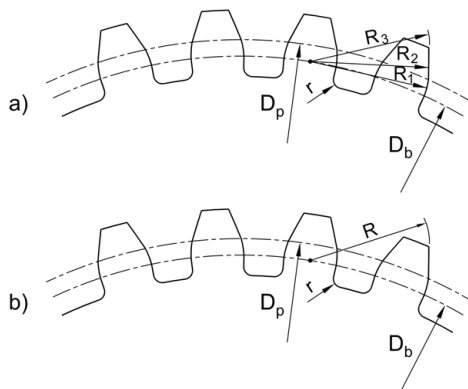


Figura 6. a) Traçado do perfil para engrenagens com menos de 30 dentes; b) Traçado do perfil para engrenagens com mais de 30 dentes (adaptado de CASILLAS, 2003)

As equações para cálculos dos valores de R , R_1 , R_2 e R_3 podem ser identificadas nas Eq. 11, Eq. 12, Eq. 13 e Eq. 14.

$$R = D_p / 8 \quad (11)$$

$$R_1 = 0,068 \cdot D_p \quad (12)$$

$$R_2 = 0,2140 \cdot D_p \quad (13)$$

$$R_3 = 0,321 \cdot D_p \quad (14)$$

Pressupõe-se que um destes métodos propostos pelos autores citados possui uma aproximação geométrica aproximada com o perfil obtido através do fresamento convencional, portanto, pode ser utilizado como alternativa de fabricação quando dispõe-se de uma máquina CNC e não se deseja investir com aquisição de ferramental específico. O objetivo específico deste projeto de pesquisa é identificá-lo.

METODOLOGIA

Os procedimentos experimentais foram realizados no Laboratório de Fabricação Mecânica e no Laboratório de Usinagem CNC do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) Campus Divinópolis. Os ensaios de fresamento foram executados em corpos de prova de alumínio ABNT-5052, com dureza entre 47-68 HB.

As montagens foram feitas numa fresadora Nardini modelo Diplomat 3001 e num centro de usinagem

Denford modelo Triac PC, conforme mostrado na Fig. 7 (a) e na Fig. 7 (b).

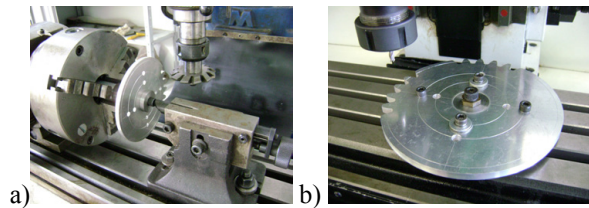


Figura 7. a) Fresadora ferramenteira Nardini; b) Centro de usinagem Denford.

Para fresadora ferramenteira, o perfil do dente foi obtido através de corte tangencial, com largura de corte (a_c) igual à altura total do dente de 10,83 (mm), avanço por dente (f_z) de 0,08 (mm/z) e velocidade de corte (v_c) igual a 220 (m/min).

Para centro de usinagem, o perfil do dente foi obtido através de fresamento frontal, com profundidade de corte (a_p) igual à espessura total do corpo de prova de 6,5 (mm), avanço por dente (f_z) de 0,12 (mm/z) e velocidade de corte (v_c) também igual a 220 (m/min).

O sistema de fixação do porta-ferramenta no cone Morse ISO-30 da fresadora ferramenteira foi realizado através de aperto manual com parafuso e no centro de usinagem através de fixação pneumática.

As variáveis independentes adotadas no processo foram o número de dentes das engrenagens (em três níveis Z26, Z30 e Z34) e o método de obtenção do perfil evolvente (em quatro níveis Módulo, Childs, Grant e Casillas), conforme mostrado na Tab. 1.

Tabela 1. Variáveis independentes

Fator de controle	Unidade	Níveis
Número de dentes (Z)	-	3
Traçado do perfil	-	4

Para usinagem na fresadora ferramenteira, a ferramenta utilizada foi uma fresa de aço rápido sem cobertura, módulo M5 (26-34 dentes) com ângulo de pressão 20° , diâmetro externo de 90 (mm), 12 dentes. Para centro de usinagem, a ferramenta utilizada foi uma fresa de topo de aço rápido sem cobertura, com diâmetro de 4,76 (mm), raio de ponta (r_e) igual a 0,5 (mm) e 4 dentes.

Os ensaios foram realizados num único nível de perfil, sendo este equivalente ao material retirado entre dois dentes consecutivos, conforme mostrado na Fig. 8. Para cada método de traçagem foram realizadas cinco réplicas, num total de $3 \times 4 \times 5 = 60$ ensaios. A ordem de execução dos ensaios obedeceu à montagem realizada em cada máquina utilizada.

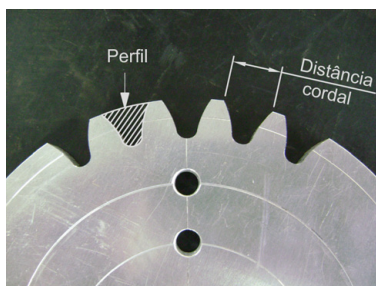


Figura 8. Determinação do perfil fresado.

Para cada perfil de dente fresado foram realizadas medições da distância cordal, equivalente ao comprimento interno do dente, conforme mostrado também na Fig. 8. As medições foram realizadas utilizando-se um microscópio portátil USB Veho modelo VMS-004D numa ampliação de 25x, conforme mostrado na Fig. 9.

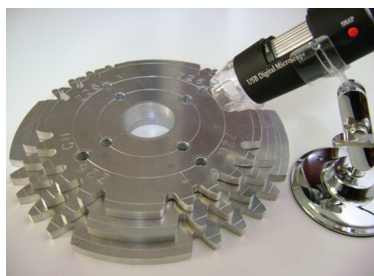


Figura 9. Microscópio portátil VEHO.

Para verificação estatística dos dados, foi empregado o método de análise de variância (ANOVA), adotando-se um nível de confiança igual a 95%.

Para obtenção da trajetória de corte da ferramenta na usinagem CNC, utilizou-se a linguagem de programação Fanuc presente no centro de usinagem Denford. O desenho do perfil foi realizado na plataforma CAD por meio do *software* Zwcad em versão demonstrativa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 representa as distâncias cordais medidas quando realizou-se a usinagem convencional empregando-se a ferramenta módulo, em três níveis de número de dentes e cinco réplicas.

Tabela 2. Distância cordal para usinagem com ferramenta módulo

Distância cordal	Módulo				
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5
Z26	13,810	13,762	13,786	13,833	13,739
Z30	13,953	13,977	13,905	14,071	13,882
Z34	14,095	14,048	14,048	14,095	14,024

A Tabela 3 representa as distâncias cordais medidas quando realizou-se a usinagem CNC empregando-se o método de Childs, em três níveis de número de dentes e cinco réplicas.

Tabela 3. Distância cordal para usinagem pelo modelo de Childs

Distância cordal	Childs				
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5
Z26	14,167	14,191	14,263	14,214	14,262
Z30	14,120	14,167	14,215	14,167	14,048
Z34	13,976	14,214	14,119	14,238	14,000

A Tabela 4 representa as distâncias cordais medidas quando realizou-se a usinagem CNC empregando-se o método de Grant, em três níveis de número de dentes e cinco réplicas.

Tabela 4. Distância cordal para usinagem pelo modelo de Grant

Distância cordal	Grant				
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5
Z26	14,096	14,072	14,119	14,286	13,953
Z30	14,214	14,048	14,024	14,071	14,024
Z34	14,143	14,215	14,167	14,262	14,024

A Tabela 5 representa as distâncias cordais medidas quando realizou-se a usinagem CNC empregando-se o método proposto por Casillas, em três níveis de número de dentes e cinco réplicas.

Tabela 5. Distância cordal para usinagem pelo modelo proposto por Casillas

Distância cordal	Casillas				
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5
Z26	13,857	13,905	13,906	13,976	13,858
Z30	13,833	13,881	14,000	13,881	13,810
Z34	14,048	14,000	14,071	14,096	13,976

A Tabela 6 representa a análise de variância executada para verificação da influência das variáveis independentes.

Tabela 6. Análise de variância para distância cordal medida

Distância cordal	GL	Média	F(calc.)	F(tab.)	Decisão	
Total	1,1909	59	-	-	-	
Método	0,6045	3	0,2015	36,1198	2,7981	Tem influência
No. de dentes	0,0965	2	0,0482	8,6471	3,1907	Tem influência
Método x no. de dentes	0,2221	6	0,0370	6,6356	2,2946	Tem influência
Erro	0,2678	48	0,0056	-	-	-

Da análise da Tabela 6 observa-se que a variável método, número de dentes e interação entre ambas possuem influência na distância cordal medida nos corpos de prova. Assim, observa-se que diferentes métodos de obtenção do perfil evolvente geram diferentes valores da distância cordal, o que pode

influenciar o perfil geométrico e dimensional do dente de uma engrenagem. Porém, conforme citado na revisão bibliográfica, acredita-se que um dos métodos tenha uma aproximação mais aceitável ao modelo obtido através da usinagem convencional, visto que é o método mais utilizado pelas indústrias.

Para esta comparação e tomada de decisão, optou-se por aplicar a análise estatística de contraste. Assim, por contraste, quando comparou-se o traçado de Childs com os demais, este assemelhou-se dimensionalmente ao traçado de Grant, porém foi diferente do traçado Módulo e do traçado de Casillas. O traçado de Casillas, neste caso específico, apresentou a melhor aproximação dimensional quando comparado ao perfil obtido com a ferramenta modular.

Isto se deve ao método de traçagem adotado pelos autores: Casillas e Grant utilizam uma mesma técnica de traçagem que parte da linha de construção D_b , porém suas tabelas para obtenção dos raios possuem constantes diferentes.

Childs realiza a obtenção do perfil evolvente através do traçado individual, ponto a ponto, desenvolvendo a trajetória prevista para rolamento do ponto de contato.

As tabelas do Odontógrafo de Grant provavelmente foram obtidas realizando o mesmo traçado de Childs, e de maneira empírica, foram determinados valores para as constantes de aproximação dos raios. Nota-se que o traçado de Childs não desenvolve raios, mas sim segmentos de reta que são unidos gerando um perfil aproximado, assim, quanto maior o número de segmentos maior também será a aproximação com as curvas propostas por Grant.

No caso do traçado proposto por Casillas, pressupõe-se que as constantes adotadas para determinação dos raios foram mais precisas quando comparadas aos outros dois métodos. Dos autores estudados, este foi o único que apresentou fórmulas diferenciadas quanto ao número de dentes; os demais autores sugerem apenas a alteração das constantes através de consulta às tabelas.

Como os raios obtidos pelo traçado de Casillas possuem maior valor numérico quando comparados aos raios obtidos pelo traçado de Grant, acredita-se que dentro da área cordal medida a influência dimensional tenha sido menos afetada pelo distanciamento entre os pontos extremos dos dentes.

Outra observação pode ser realizada quando avaliou-se o contraste estatístico, porém analisando-se o número de dentes de cada engrenagem fresada: para $Z=26$ dentes e $Z=30$ dentes, não foram encontradas diferenças significativas com relação à distância cordal entre os perfis usinados, independente do método utilizado.

Porém, quando analisou-se o número de dentes $Z=34$ notou-se que os valores da distância cordal apresentaram diferenças significativas. Novamente acredita-se que o traçado de Casillas, que aborda formulação diferente para dentes de engrenagens com valores maiores que 30 dentes (conforme citado na revisão bibliográfica), apresentou uma aproximação mais satisfatória ao perfil real obtido pelo fresamento

com ferramenta de forma. Em todas dimensões realizadas, independente do método empregado, pode-se observar uma boa relação dimensional no ponto de engrenamento localizado no diâmetro primitivo, o que sugere um funcionamento correto do conjunto de engrenagens, porém diferenças na dimensão cordal foram encontradas principalmente no método de Grant e Childs, o que pode ocasionar folgas e aumento do ruído das engrenagens quando estiverem em ciclo de funcionamento.

Um perfil efetivo, além de garantir o engrenamento pelo diâmetro primitivo, deve permitir que o esforço de transmissão do movimento seja distribuído em todo contorno do dente. Neste estudo de caso específico, para módulo M5 e para o número de dentes adotados, isto foi obtido de maneira mais satisfatória através do modelo de traçagem proposto por Casillas.

CONCLUSÕES

Da análise comparativa entre perfis teórico e real de dentes de engrenagens de módulo M5 em engrenagens com 26, 30 e 34 dentes, quando utiliza-se métodos de traçagem e usinagem, conclui-se que:

- O método de traçagem possui diferenças significativas na dimensão cordal.
- O método de traçagem que mais se assemelha ao perfil de dente obtido pelo fresamento convencional é o traçado proposto por Casillas.
- A distância cordal apresentou maior diferença quando o número de dentes foi igual a 34, coincidindo com a formulação matemática proposta por Casillas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) Campus Divinópolis, a Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ) e a FAPEMIG pelo apoio ao grupo de pesquisadores.

REFERÊNCIAS

- Casillas, A.L. “Máquinas - Formulário Técnico”. São Paulo: Editora Mestre Jou, 2003.
- Childs, Peter. “Mechanical Design”. 2th ed. United Kingdom: Elsevier Butterworth Heinemann, 2004.
- Dudley, Darle W. “Gear Handbook - The Design, Manufacture an Application of Gears”. McGraw-Hill. 2012.
- Indufresa. “Catálogo de Ferramentas de Precisão Indufresa Indaço”. 4. ed. São Paulo: 2010.
- Ingersoll. “Cutting Tools Catalogue Gear Production”. 2014. Disponível em: <www.ingersoll-imc.com>. Acesso em: 25 jul. 2014.
- Melconian, Sarkis. “Elementos de Máquinas”. 10. ed. São Paulo: Editora Érica, 2012.
- Provenza, Francesco. “Desenhista de Máquinas”. São Paulo: Editora F. Provenza, 2010.
- Radzevich, Stephen P. “Handbook of Practical Gear Design and Manufacture”. 2th ed. New York: CRC Press, 2012.
- Sandvik. “Tooling Concepts Gear Milling”. 2014. Disponível em: <www.reduktordergisi.com>. Acesso em: 25 jul. 2014.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este artigo.