

# USINABILIDADE E RESISTÊNCIA À USINAGEM DOS MATERIAIS: PROPOSTAS DE NOVAS APLICAÇÕES DESTAS PROPRIEDADES<sup>1</sup>

*Nivaldo Lemos Coppini<sup>2</sup>*

*Júlio Cesar Dutra<sup>3</sup>*

*Rodolfo Strifezzi dos Santos<sup>4</sup>*

## **Resumo**

Este trabalho tem por objetivo apresentar e discutir os conceitos de usinabilidade e de resistência à usinagem dos materiais sob nova ótica de suas aplicações e mensurações. Devido à grande importância no desenvolvimento de “aços de corte fácil” as aplicações foram direcionadas para estes materiais. Os conceitos de Usinabilidade e de Resistência à Usinagem são relembrados, bem como as principais formas de medida destas propriedades dos materiais. Novos ensaios foram propostos visando determinar o valor das propriedades. Foram utilizados dados experimentais de usinagem retirados da literatura, visando avaliar a consistência dos ensaios propostos. Foram propostas e discutidas as melhores aplicações das propriedades em questão. Concluiu-se que a usinabilidade, de acordo com a proposta do trabalho, deverá ser utilizada através de ensaios comparativos os mais próximos possíveis das condições do chão de fábrica, permitindo selecionar o aço tecnologicamente mais viável para fabricação de uma determinada peça em usinagem. O ensaio proposto é mais rápido e confiável do que aqueles existentes na literatura, pois, permite comparar e selecionar aços possíveis de serem aplicados na prática, em um específico cenário de fabricação. A resistência à usinagem é uma propriedade intrínseca dos materiais. É proposta para a finalidade específica de desenvolver materiais de corte fácil em siderúrgicas. É medida pelo Índice de Coppini (CI – Coppini Index) através de um ensaio padronizado, simples e confiável que caracteriza o aço sem necessidade de comparações com outros, à semelhança do que ocorre com as demais propriedades intrínsecas dos materiais.

**Palavras-chave:** Usinabilidade; Resistência à usinagem; Usinagem.

## **USINABILIDADE E RESISTÊNCIA À USINAGEM DOS MATERIAIS: PROPOSTAS DE NOVAS DE APLICAÇÕES DAS PROPRIEDADES**

### **Abstract**

The purpose of this work is to present and discuss the machinability and machining strength concepts under a new point of view concerned with their applications and also, how to measure these properties. To develop “easy to cut steels” is a very important task, so the applications were directed to these materials. A new way to measure the properties were proposed. The reliability of the proposed test was based on experimental dates from the literature. The best way to apply both the properties is proposed. It was possible to conclude that machinability, following the proposition of this work, must be used through comparative tests as close as possible of the shopping floor condition. The main application is to select the best steel to be used for a specific cutting process workpiece. The proposed test is very simple and reliable than that one published in the specialized literature. In the other hand the machining strength is a material intrinsic property. For this reason is proposed to be applied for “easy to cut steels” development in steels makers industries and it is measured by Coppini Index (CI) based on standard test. It is not need to be related to a standard material, because it is a material intrinsic property.

**Key words:** Machinability; Machining strength; Cutting process.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Doutor em Engenharia Mecânica e Professor da Universidade Nove de Julho (São Paulo).*

<sup>3</sup> *Doutor em Engenharia de Materiais, Professor da Universidade Nove de Julho (São Paulo) e Professor do Departamento de Materiais do Centro de Tecnologia da FEI.*

<sup>4</sup> *Graduando em Engenharia de Produção e Pesquisador da Universidade Nove de Julho (São Paulo)*

# 1 INTRODUÇÃO

Destro,<sup>(1)</sup> em 1993, publicou os primeiro resultados de suas pesquisas desenvolvidas durante sua dissertação de mestrado<sup>(2)</sup> na qual propôs a criação da propriedade intrínseca dos materiais e denominou-a de “Resistência à Usinagem”. Em 1995, Destro<sup>(3)</sup> deu continuidade ao seu trabalho e publicou os resultados de sua tese de doutorado.<sup>(4)</sup> Concluiu que a sua proposta era viável e desenvolveu uma forma de quantificar a referida propriedade, através de um índice que, em homenagem ao seu orientador definiu-o como CI (Coppini Index).

Este trabalho tem por objetivo apresentar e discutir os conceitos de usinabilidade e de resistência à usinagem dos materiais sob nova ótica de suas aplicações e mensurações.

## 1.1 Usinabilidade

Usinabilidade é uma propriedade “tecnológica” (não intrínseca) dos materiais. O Índice de Usinabilidade de um material é sempre medido em comparação a outro adotado como padrão.<sup>(5)</sup> É considerada tecnológica por, além de depender das propriedades intrínsecas do material depender também das condições de usinagem, das características da ferramenta e da máquina, da presença ou não de fluídos de corte, etc.

Muitas vezes um material é dito de usinabilidade ruim simplesmente porque é difícil de se conseguir um bom acabamento superficial. Nestes casos, não existem comparações com outros materiais, mas a prática da usinagem leva à realização de procedimentos de otimização do processo até que se consiga acabamento superficial satisfatório.

São inúmeros os critérios e também inúmeros os ensaios adotados para a medida da do Índice de Usinabilidade.<sup>(6,7)</sup> os critérios são baseados na vida da ferramenta, ou na força de usinagem, no acabamento superficial, na produtividade, nas características geométricas e térmicas do cavaco, entre outros. Geralmente os mais utilizados e aceitos adotam o critério baseado na vida da ferramenta e são realizados os ensaios chamados de longa duração, que consiste no levantamento exaustivo, demorado e dispendioso da vida da ferramenta em faixa de velocidades de corte bastante ampla. Além disso, o ensaio tem que ser feito também para o material adotado como padrão, duplicando as dificuldades mencionadas.

Tendo em vista os aspectos relatados sobre o conceito de usinabilidade e sobre os critérios e ensaios que são realizados para determinar o Índice de Usinabilidade, os autores apresentam, mais adiante neste trabalho, sugestões de aplicação desta propriedade, de forma a racionalizar e direcionar o seu uso.

## 1.2 Resistência à Usinagem

Resistência à Usinagem é uma propriedade intrínseca dos materiais que representa a maior ou menor dificuldade que um material oferece ao ser usinado. É expressa pelo valor de CI (Coppini Index). Destro<sup>(4)</sup> definiu a propriedade conforme mencionado e propôs que o valor de CI fosse determinado através de um ensaio padronizado sobre um corpo de prova conforme ilustra a Figura 1. Sua proposta permitia que barras de materiais com diâmetros diferentes tivessem valores padronizados para serem determinados em função dos valores dos mesmos, como consta do exemplo da Tabela 1.

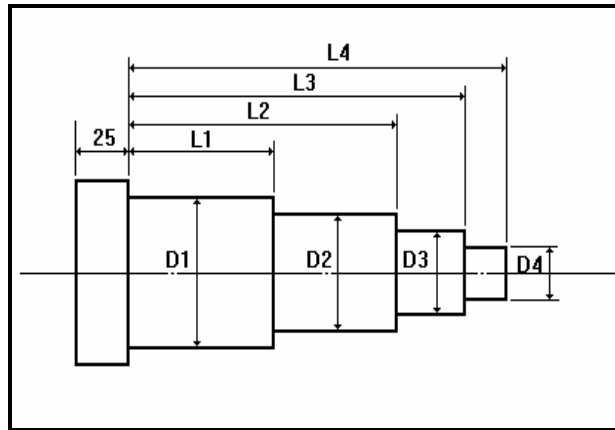


Figura 1. Corpo de prova utilizado por para determinação do Índice de Coppini.<sup>(4)</sup>

Tabela 1. Valores dos diâmetros e dos comprimentos de usinagem para os corpos de prova<sup>(4)</sup>

Diâmetro	Classe de Diâmetro												
	K	KL	M	ML	N	NL	P	PL	Q	QL	R	RL	S
Comprimento													
D1	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
L1	86	68	56	48	42	37	33	30	28	26	24	22	21
D2	18	23	28	33	38	43	48	53	58	63	68	73	78
L2	96	74	61	51	44	39	35	32	29	26	24	23	21
D3	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76
L3	109	82	66	55	47	41	36	33	30	27	25	23	22
D4	14	19	24	29	34	39	44	49	54	59	64	69	74
L4	126	91	71	59	50	43	38	34	31	28	26	24	22

O valor de CI foi proposto para ser calculado por:

$$CI = \sum_{i=1}^N F_{fi} / N$$

Onde:

$F_{fi}$  é o valor da força de avanço medida através de dinamômetro em cada i-ésimo escalonamento [N]

N é o número de escalonamentos do corpo de prova

Assim, o valor de CI nada mais é do que a média das forças de avanço medidas ao longo de todo o ensaio e trás consigo a influência do desgaste da ferramenta. Foi escolhida a força de avanço por ser esta menos influenciável pelo valor do desgaste. Considerando os aspectos abordados por Destro, os autores apresentam mais adiante neste trabalho, uma nova proposta, mais simples e eficiente para o ensaio de determinação do valor de CI e sugerem e discutem as principais aplicações da propriedade de Resistência à Usinagem.

### 1.3 Fundamentação Teórica

Para proposição de uso adequado do conceito de usinabilidade foi necessário considerar os conceitos de vida e de velocidades de corte estratégicas possíveis de serem aplicada para diferentes cenários de fabricação visando a otimização do processo em chão de fábrica e durante a fabricação de peças por usinagem. Trata-se de utilizar o modelo de procedimento para determinação dos coeficientes da equação de vida de Taylor, x e K.<sup>(8)</sup> O procedimento prevê determinar os coeficientes de Taylor utilizando-se do valor de duas velocidades de corte e

respectivas vidas das arestas de corte, conseguidas durante a ocorrência do processo, no momento da produção das peças cuja usinagem pretende-se que seja otimizada. Estes valores substituídos nas equações (1) e (2), permitem a determinação dos coeficientes de Taylor.

$$x = \frac{\log(T_1 \times T_2^{-1})}{\log(v_{c2} \times v_{c1}^{-1})} \quad (1)$$

$$K = T_1 \times v_{c1}^x \quad (2)$$

A partir destes coeficientes, é possível determinar o custo de fabricação por peça e as velocidades de corte de mínimo custo, de máxima produção e de mínimo custo limite através das equações de 3 a 6.

$$K_p = C_1 + \frac{\pi \times d \times l_f}{60 \times 1000 \times f \times v_c} C_2 + \frac{\pi \times d \times l_f \times v^{(x-1)}}{1000 \times f \times K} C_3 \quad (3)$$

$$v_{cnc} = \left\{ \frac{K \times (S_h + S_m)}{60 \times (x-1) \times \left[ K_{ft} + \left( \frac{S_h + S_m}{60} \right) \times t_{ft} \right]} \right\} \quad (4)$$

$$v_{cncLim} = \left\{ \frac{K \times (S_h + S_m)}{60 \times (x-1) \times K_{ft}} \right\}^{\frac{1}{x}} \quad (5)$$

$$v_{cncxp} = \sqrt[x]{\frac{K}{(x-1) \cdot t_{ft}}} \quad (6)$$

onde:

( $K_p$ ) é o custo de fabricação por peça [R\$];

( $C_1$ ) é o custo independente da velocidade de corte [R\$];

( $d$ ) é o diâmetro da peça ou da ferramenta [mm];

( $l_f$ ) é o percurso de avanço [mm];

( $f$ ) é o avanço por rotação [mm/volta];

( $C_2$ ) é o custo homem mais o custo da máquina [R\$/h];

( $C_3$ ) é o custo da ferramenta mais o custo para trocar a ferramenta [R\$];

( $T$ ) é a vida de uma aresta de corte de uma ferramenta [min];

( $x$ ) e ( $K$ ) são os coeficientes da equação de vida de Taylor;

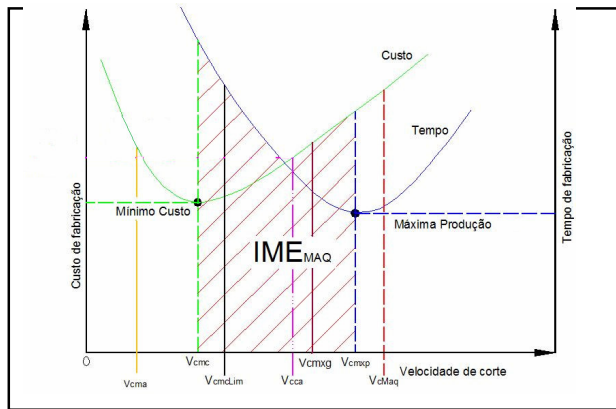
( $S_h$ ) é o salário homem mais encargos [\$/hora];

( $S_m$ ) é o salário máquina [\$/hora];

( $K_{ft}$ ) custo de uma aresta de corte da ferramenta [\$/];

( $t_{ft}$ ) é o tempo de troca da aresta mais os tempos de ajustes devido à troca [min].

A Figura 2 ilustra o Intervalo de Máxima Eficiência constituído pelas velocidades de corte de mínimo custo e máxima produção. Ilustra, também, a velocidade máxima da máquina que pode ser maior ou menor que a velocidade de máxima produção dependendo do tempo de troca da aresta de corte da ferramenta



**Figura 2.** Intervalo de Máxima Eficiência, com apresentação de todas as velocidades estratégicas compatíveis com diversos cenários de fabricação.<sup>(7,9)</sup>

Quando o tempo de troca da aresta de corte for muito pequeno ou zero, a velocidade de máxima produção será maior que a velocidade máxima da máquina e desta forma, esta representará, juntamente com a velocidade de mínimo custo limite o Intervalo de Máxima Eficiência da Máquina.<sup>(7)</sup>

Ainda na Figura 2 podem ser observadas as velocidades estratégicas de acordo com diferentes cenários de fabricação. Assim:

- $V_{cma}$  = velocidade de custo mínimo admissível – para ser utilizada em cenários em que existe ociosidade da máquina. Representa economia de custo com ferramentas;
- $V_{cmc}$  = velocidade de mínimo custo – para ser utilizada quando o menor custo for o objetivo do cenário em foco e o tempo de troca da ferramenta for grande;
- $V_{cmclim}$  = velocidade de mínimo custo limite – para ser utilizada quando o menor custo possível for o foco do cenário em questão e o tempo de troca da ferramenta for zero ou muito próximo de zero;
- $V_{cca}$  = velocidade de custo máximo admissível – para ser utilizada em cenários que um custo por peça maior do que o de mínimo custo é tolerável e permite maior produção;
- $V_{cmxg}$  = velocidade de máximo ganho – para ser utilizada em cenários regidos por teoria das restrições;
- $V_{cmxp}$  = velocidade de máxima produção – para ser utilizada em cenários que exijam a máxima produção horária possível.
- $V_{cMaq}$  = velocidade máxima da máquina – para ser utilizada em cenários que exijam máxima produção e que o tempo de troca da ferramenta seja zero ou próximo de zero.

Na equação 3, o custo por peça pode ser calculado para cada cenário acima apresentado, bastando para isto substituir o valor de (v) pelo da velocidade de corte correspondente ao mesmo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O método utilizado para realização deste trabalho é o exploratório. Considerado o seu objetivo foi realizada uma revisão da literatura sobre Usinabilidade e Resistência à Usinagem. Procedimentos para utilização das propriedades foram apresentados e discutidos visando a racionalização e maior facilidade de aplicação prática das mesmas. Um ensaio novo é proposto, porém, sua acreditação é feita com base em

dados experimentais retirados de ensaios da literatura, o que permite realizar testes preliminares do que é proposto. A obtenção de resultados próprios para testar as propostas realizadas deverá ocorrer no futuro.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Proposta de Aplicação do Conceito de Usinabilidade

Considerado e aceito que a usinabilidade é uma propriedade tecnológica dos materiais e, portanto, dependente de fatores ligados ao processo de usinagem, os autores propõem utilizar esta propriedade baseado nos seguintes quesitos:

- não utilizar os ensaios de usinabilidade para desenvolvimento de materiais de corte fácil;
- realizar os ensaios de usinabilidade para otimizar o processo, pois, o material da peça foi determinado em projeto e está fixado;
- o padrão de usinabilidade é o sistema máquina, ferramenta e peça, determinados pelo planejamento do processo;
- considerar o cenário de fabricação para aplicar o procedimento de otimização, realizando o ensaio com base no conceito de vida de ferramenta; e
- Utilizar como índice de usinabilidade a relação dos custos obtidos para cada uma das situações do sistema e característico do cenário de fabricação em análise.

O exemplo a seguir facilita o entendimento da proposta: Se o cenário de fabricação for o de mínimo custo e o tempo de troca da ferramenta for zero, não sendo relevante considerar a produção horária de peças, a proposta é a de utilizar o custo para velocidade de mínimo custo limite para determinar o Índice de Usinabilidade, conforme segue:

1. determinar os coeficientes  $x_A$  e  $K_A$  da equação de vida de Taylor para a situação A, não otimizada, utilizando as equações 1 e 2;
2. calcular a velocidade de custo limite  $v_{cmLimA}$  e com ela o valor do custo de fabricação por peça  $K_{pLimA}$  de acordo com as equações 5 e 3, válidos para o cenário;
3. promover alterações no processo visando sua otimização: alterar o avanço, e/ou a profundidade de usinagem, e/ou providenciar a trocar da ferramenta, etc., caracterizando esta situação B como sendo a otimizada e almejada. Eventualmente, se o projeto da peça permitir, trocar também o material da peça;
4. repetir os passos 1 e 2 acima para as novas condições do sistema;
5. calcular o índice de usinabilidade como segue:

$$IU = \frac{K_{pLimA}}{K_{pLimB}} \times 100 \quad (7)$$

Se IU for maior que 100, a situação A é mais adequada que a B e vice-versa.

O mesmo procedimento deverá ser usado para qualquer dos demais cenários que se pretenda realizar a otimização do processo, bastando para isto considerar os custos para as velocidades de corte características de cada um, conforme apresentado no item sobre fundamentação teórica. É importante observar que a proposta sempre privilegia a situação de menor custo, independente do cenário de fabricação analisado, por ser este o fator de competitividade geralmente preponderante sobre outro qualquer. Nada impede, por outro lado, que uma

condição de produtividade seja utilizada, bastando para isto, fazer o IU como dependente deste fator.

### 3.2 Proposta de Aplicação do Conceito de Resistência à Usinagem

A Resistência à Usinagem é proposta para desenvolvimento de materiais de corte fácil. Sua aplicação é relevante para materiais ferrosos e mais especificamente para aços. Isto porque estes materiais são mais resistentes à usinagem.

Diferentemente do proposto por Destro,<sup>(4)</sup> os autores deste trabalho propõem que o Índice de Coppini (CI) seja o resultado da relação entre a massa de material desgastado da ferramenta ( $m_{ferr}$ ) e a massa do material usinado no corpo de prova ( $m_{cp}$ ). Tais massas deverão ser medidas através de ensaio, que poderá ser realizado na própria siderúrgica que pretenda caracterizar seus aços quanto a esta propriedade e em especial produzir materiais de corte fácil. Alternativamente os ensaios poderão também ser realizados em laboratórios de centros de pesquisas e universidades. O ensaio proposto seria o de usinar continuamente ou em fases consecutivas, um volume do corpo de prova do material a ter seu CI determinado, suficiente para provocar um dado desgaste na ferramenta padronizada para o ensaio.

O cálculo do CI fica:

$$CI = m_{ferr}/m_{cp} \quad (8)$$

O corpo de prova sugerido deve ter dimensões e geometria as mais convenientes possíveis para as siderúrgicas. Assim por exemplo, uma siderúrgica especializada em produção de barras laminadas ou trefiladas cobrindo uma determinada gama de diâmetros, poderá optar por ensaios de torneamento cilíndrico simplesmente padronizando os corpos de prova a serem ensaiados e as condições de ensaio de forma adequada ao aço em análise.

Neste sentido, à semelhança do que ocorre com outras propriedades intrínsecas dos materiais, a Resistência à Usinagem também carece de escalas de medidas e de ensaios específicos para estas escalas. Um exemplo típico desta afirmação é a dureza com suas escalas e tipos de ensaios para realização de medidas.

Para mostrar a validade da proposta, foram utilizados dados retirados da literatura.<sup>(10)</sup>

A Figura 3 mostra o resultado de um ensaio de vida realizado com os aços AISI 630 C (Convencional) e 630 RUM (Resistência à Usinagem Melhorada). A composição destes aços inoxidáveis (% peso) consta da Tabela 2.

Na impossibilidade de medir as massas  $m_{ferr}$  e  $m_{cp}$ , mas com o objetivo de testar preliminarmente a proposta do presente trabalho, foram utilizados apenas os dados para o ensaio de longa duração retirados da figura 3 para calculá-las.

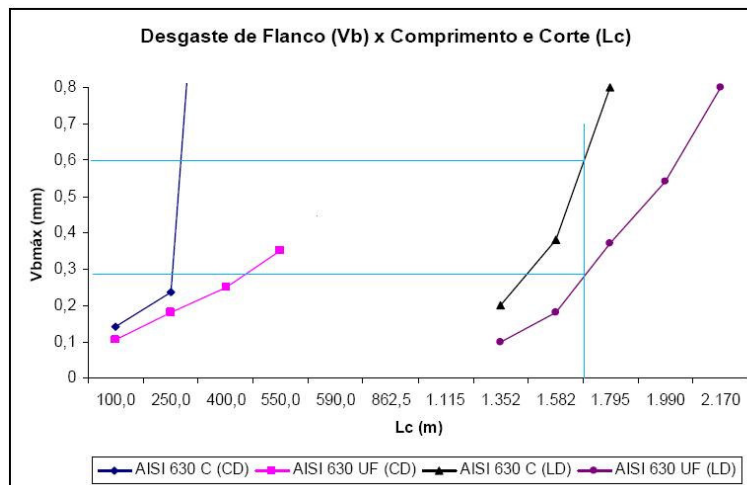
**Tabela 2.** Composição dos aços inoxidáveis<sup>(10)</sup>

Aço	C	Cr	Ni	Cu	Ca	P	S
630 C	0,07	16,0	4,6	3,6	0,001	0,019	0,007
630 RUM	0,07	16,0	4,5	3,4	0,003	0,016	0,022

As condições de usinagem utilizadas no ensaio de Matsumoto,<sup>(8)</sup> foram:  
avanço = 0,19 mm/volta;  
profundidade de usinagem = 0,7 mm;

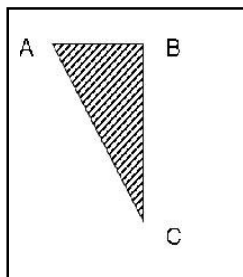
velocidade de corte = 50 m/min;  
 material da ferramenta = aço rápido.

Se for considerado que o ensaio para medida da Resistência à Usinagem, tal como proposto no presente trabalho, fosse o de usinar um comprimento de corte de 1.582.000 mm (Figura 3), ele teria uma duração de  $t_c = 1.582/50 = 31,64\text{min}$ , que representa o tempo de corte utilizado e conseqüentemente a vida da ferramenta. O volume de cavaco  $V_{cp}$  removido do corpo de prova para estas condições seria:  $V_{cp} = a_p \times f \times l_c = 0,7 \times 0,19 \times 1582000 = 210.406\text{mm}^3$  e a massa de material removido seria:  $m_{cp} = d \times V_{cp}$ , onde  $d$  é a densidade do aço.



**Figura 3.** Desgaste de Flanco em função do comprimento de corte nos ensaios de curta (CD) e longa duração (LD).<sup>(10)</sup>

Para calcular o volume de material desgastado da ferramenta a tarefa é um pouco mais complicada porque a única informação sobre o desgaste da ferramenta, apresentada na bibliografia já citada, é a medida do desgaste VB. Portanto, foi feito um cálculo aproximado com base em algumas hipóteses simplificadoras, que estão expressas na figura 4. Assim, suponha que o triângulo ABC da Figura 4 represente a área de material desgastado da ferramenta sobre o plano de medida da mesma.



**Figura 4.** Representação esquemática da área desgastada da ferramenta sobre o plano de medida da mesma

$\hat{A}CB$  é o ângulo de folga  $\alpha$  da ferramenta e, segundo Matsumoto<sup>(10)</sup> é de  $6^\circ$ . O cateto BC representa o desgaste VB. Então, o cateto AB é igual a  $(\text{tg } 6^\circ \times \text{VB})$  ou,  $0,11 \times \text{BC}$ .



Como a profundidade de usinagem é de 0,7 mm, o volume aproximado  $V_{ferr}$  de material desgastado da ferramenta pode ser aproximadamente calculado por:  $V_{ferr} = (VB \times 0,11 \times VB) \times a_p / 2 = 0,04 \times VB^2$ , e a massa  $M_{ferr}$  de material desgastado fica:  $m_{ferr} = d \times V_{ferr} = d \times 0,04 \times VB^2$

Como se trata de usinagem de um aço por um aço rápido, pode-se considerar que as densidades são aproximadamente iguais. Segundo a equação (8) tem-se que o valor da Resistência à Usinagem CI dos aços pode ser calculada por:  $CI = m_{ferr} / m_{cp} = 0,04 \times VB^2 / 210.406 = 1,90 \times 10^{-7} VB^2$

Da Figura 3 tem-se que  $VB = 0,6$  para o aço AISI 630 C e  $0,28$  para o aço AISI 630 RUM. Assim, os valores da Resistência à Usinagem desses aços são:  $CI_{630C} = 68,4 \times 10^{-9}$  e  $CI_{630RUM} = 14,9 \times 10^{-9}$

## 4 DISCUSSÃO

Observa-se que o CI é um número puro (adimensional) e que depende da estreita relação existente entre o material da peça e sua resistência a ser usinado. Nos exemplos utilizados da literatura, fica evidente que o aço AISI 630 C apresenta uma resistência 4,6 vezes maior que o AISI com adições de Cálcio e Enxofre.

A mais importante contribuição deste trabalho é no sentido de facilitar o uso do conceito de usinabilidade. Hoje, tal como está conceituada, ela é utilizada pelas siderúrgicas como uma propriedade para comparar o efeito da estrutura, da composição química e das propriedades mecânicas no desenvolvimento de aços de corte fácil. Os autores deste trabalho consideram que esta forma não é a mais adequada, pois, por ser uma propriedade tecnológica, nem sempre o aço que apresentou uma boa usinabilidade terá o mesmo comportamento no momento em que o cenário de fabricação e, portanto, a tecnologia do processo, for alterada. A proposta é, portanto, indicar para as siderúrgicas a utilização da Resistência à Usinagem no desenvolvimento de materiais de corte fácil, pois, sendo uma propriedade intrínseca do material irá caracterizá-lo de forma a independe de fatores tecnológicos do processo. A Resistência à Usinagem é dependente exclusivamente da estrutura, composição química e propriedades mecânicas do aço a ser desenvolvido. O ensaio para determinação do CI, que os autores estarão desenvolvendo em trabalhos futuros, prevê um ensaio simples em corpos de provas adequados que consistirão do uso de uma balança de precisão para medir a massa de material desgastado da ferramenta e comparar com o volume de cavaco removido, previamente estabelecido.

Em contrapartida, os autores propõem que a Usinabilidade seja utilizada em indústrias de usinagem com a finalidade de otimizar o processo em ambiente fabril. Ao selecionar um aço de corte fácil, assim mesmo, o usuário de usinagem poderá utilizar os ensaios de usinabilidade propostos neste trabalho para melhorar ainda mais o desempenho do processo.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta as seguintes conclusões:

- a Resistência à Usinagem é proposta para utilização de siderúrgicas nos desenvolvimentos e caracterização de aços de corte fácil. É muito adequada para este fim por ser uma propriedade intrínseca dos materiais;

- a Usinabilidade por tratar-se de uma propriedade tecnológica não deve ser usada para desenvolvimento e caracterização de aços de corte fácil, pois, depende das condições tecnológicas utilizadas e seus resultados não são transferíveis quando estas forem diferentes;
- a Resistência à Usinagem deve ser utilizada pelas indústrias de usinagem para selecionar aços que contemplem CIs adequados às suas aplicações, sejam eles aços de corte fácil ou não;
- a Usinabilidade deve ser utilizada pelas indústrias de usinagem para otimizar o processo em planta fabril e durante a produção de peças de acordo com as condições tecnológicas impostas pelo cenário de fabricação;
- o ensaio para determinação de CI a ser desenvolvido futuramente, mostrou-se viável nas preliminares realizados através de dados retirados da literatura. Medir a massa desgastada com balança de precisão é mais preciso do que medir o desgaste VB; e
- Como consideração final, os autores tem grande interesse em encontrar siderúrgicas e indústrias para desenvolver testes de acordo com a proposta formulada neste trabalho.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem à Universidade Nove de Julho e ao CNPq pelo apoio indispensável à realização deste trabalho.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 COPPINI, N.L.; DESTRO, J.P.B. Resistência à Usinagem - Contribuição à Caracterização dos Materiais. In: 48º Congresso Anual da ABM, 1993, Rio de Janeiro, RJ, p. 341-342, 1993.
- 2 DESTRO, José Paulo Breda. Resistência à Usinagem - Uma Contribuição à Caracterização dos Materiais. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 1993.
- 3 COPPINI, N.L.; DESTRO, J.P.B. Parameter Analysis to Accomplish a Realible Method to Characterize Intrinsic Material Machining Strength. In: AMPT'95 - International Conference on Advances in Materials & Processing Technologies, Dublin, EIRE, p. 373-380, 1995.
- 4 DESTRO, José Paulo Breda. Resistência dos Materiais à Usinagem - Conceito, Medida e Aplicações da Nova Propriedade. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 1995.
- 5 DINIZ, A.E., MARCONDES, F.C.; COPPINI, N.L. Tecnologia da Usinagem dos Materiais, São Paulo, Artiliber Editora, 2006. Cap. 9, p. 147-161.
- 6 COELHO, RT, PIMENTEL, M.F., VALLE, L.R.M.; DUARTE, E. Comparação de usinabilidade entre aços de corte fácil com adição de chumbo (11smNpB37) e diferentes níveis de residuais metálicos. Anais do Usinagem 2008, Expo Center Norte, São Paulo, 2008, p.1 a 21 (mídia).
- 7 BAGETTI, J.H.,BOEHS,L.,GUESSER,W.L.;DORÉ, C. Análise da usinabilidade dos ferros fundidos vermicular e cinzento no processo de fresamento frontal. Anais do V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Salvador, BA, 2008, p 1 a 10 (mídia)
- 8 BAPTISTA, E.A. Desenvolvimento de um Sistema Especialista para a Otimização do Processo de Usinagem Baseado na WEB. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, Campinas, 2004.
- 9 COPPINI,N.L., BAPTISTA, E.A.; VIEIRA JR, M. Otimização dos processos de usinagem. II Assembléia Geral do Instituto Fábrica do Milênio, Campinas, SP. p. 102-103, 2008.

10 MATSUMOTO, H., RODRIGUES, A.R., SUYAMA, D.I., DE ASSIS, C.L.F., RIGATTI, A.Y.; PEREIRA, J.E.A. Ensaios de usinabilidade de longa e curta duração realizados no aço AISI 630 com e sem adição de Cálcio. Anais do V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Salvador, BA, 2008, p 1 a 10 (mídia)