

## **Nada se cria, tudo se transforma**

---

Já estamos no segundo livro do módulo Processos de Fabricação e você deve estar se perguntando “Quando é que eu vou pôr a mão na massa?” Você tem razão em sua dúvida. Na verdade, até agora você estudou processos predominantemente metalúrgicos de fabricação e não processos **mecânicos**.

A explicação para isso é que queremos que você tenha uma visão bem ampla dos processos de fabricação, de modo que seja possível perceber em que parte desse processo você vai estar entrando. Assim, até agora estudamos processos que **preparam** a matéria-prima que vai ser usada na **usinagem**, a maior “família” dos processos de fabricação mecânica que se conhece.

A partir desta aula, você vai ver que depois que o material é fundido, laminado, ou forjado, quase que necessariamente, ele terá de passar por uma operação de usinagem para se transformar no produto final.

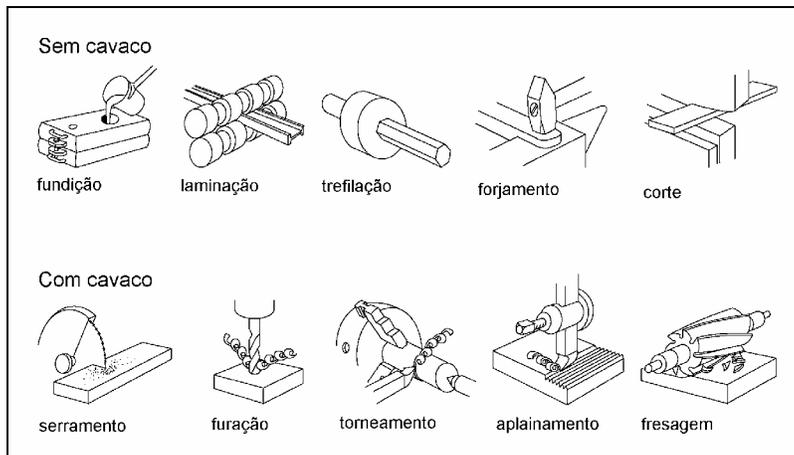
“Mas, o que é essa tal de usinagem?” Se você quer mesmo saber, estude esta aula com atenção.

### **Com cavaco ou sem cavaco?**

Todos os conjuntos mecânicos que nos cercam são formados por uma porção de peças: eixos, anéis, discos, rodas, engrenagens, juntas, suportes, parafusos, carcaças... Para que essas peças sirvam às necessidades para as quais foram fabricadas, elas de-

vem ter exatidão de medidas e um determinado acabamento em sua superfície.

A maioria dos livros sobre processos de fabricação diz que é possível fabricar essas peças de dois modos: **sem** a produção de cavacos, como nos processos metalúrgicos (fundição, laminação, trefilação etc.), e com produção de cavacos, o que caracteriza todos os processos de usinagem.



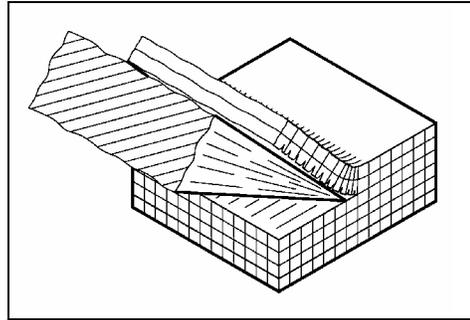
Na maioria dos casos, as peças metálicas fabricadas por fundição ou forjamento necessitam de alguma operação posterior de usinagem. O que acontece é que essas peças geralmente apresentam superfícies grosseiras que precisam de melhor acabamento. Além disso, elas também deixam de apresentar saliências, reentrâncias, furos com rosca e outras características que só podem ser obtidas por meio da produção de cavacos, ou seja, da usinagem. Isso inclui ainda as peças que, por questões de produtividade e custos, não podem ser produzidas por processos de fabricação convencionais.

Assim, podemos dizer que a usinagem é todo o processo pelo qual a forma de uma peça é modificada pela remoção progressiva de cavacos ou aparas de material metálico ou não-metálico. Ela permite:

- acabamento de superfície de peças fundidas ou conformadas, fornecendo melhor aspecto e dimensões com maior grau de exatidão;
- possibilidade de abertura de furos, roscas, rebaxos etc.;

- custo mais baixo porque possibilita a produção de grandes quantidades de peças;
- fabricação de somente uma peça com qualquer formato a partir de um bloco de material metálico, ou não-metálico.

Do ponto de vista da estrutura do material, a usinagem é basicamente um processo de cisalhamento, ou seja, ruptura por aplicação de pressão, que ocorre na estrutura cristalina do metal.



Como já foi dito, a usinagem é uma enorme família de operações, tais como: *torneamento, aplainamento, furação, mandrilamento, fresamento, serramento, brochamento, roscamento, retificação, brunimento, lapidação, polimento, afiação, limagem, rasquetamento*.

Essas operações são realizadas manualmente ou por uma grande variedade de máquinas-ferramenta que empregam as mais variadas ferramentas. Vamos falar um pouco sobre essas ferramentas e como elas cortam, mas só na próxima parte da aula.

**Pare! Estude! Responda!**

### Exercícios

1. Responda:
  - a) Cite ao menos três processos de fabricação pelos quais uma peça pode passar antes de ser usinada.
  - b) Cite os dois modos de se fabricar peças para conjuntos mecânicos.
  - c) Cite pelos menos cinco tipos de operações executadas na usinagem.
  - d) Do ponto de vista da estrutura do material, o que é a usinagem?

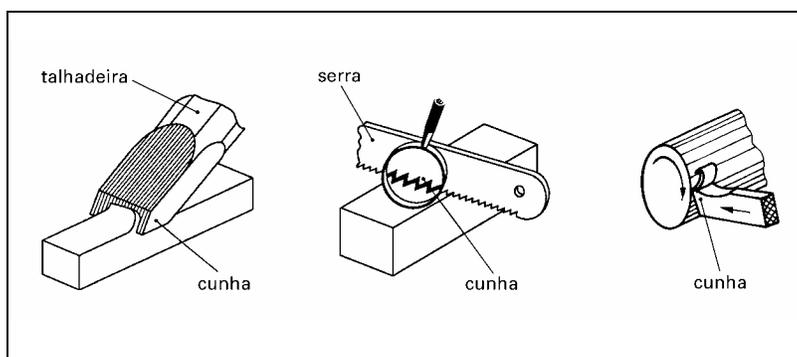
2. Complete.

- a) A produção de peças pode ocorrer ..... a formação de cavacos, como nos processos metalúrgicos e ..... a formação de cavacos, como nos processos de .....
- b) Usinagem é todo processo pela qual uma peça é modificada pela ..... de cavacos ou aparas de material.
- c) Por meio da remoção progressiva de cavacos, o processo de usinagem possibilita o acabamento de superfícies de peças ..... ou ..... mecanicamente, melhorando o aspecto e ..... mais exatas.
- d) A usinagem possibilita a produção de grandes quantidades de ..... com ..... variados a partir de um bloco de material metálico ou não-metálico, com ..... mais baixos.

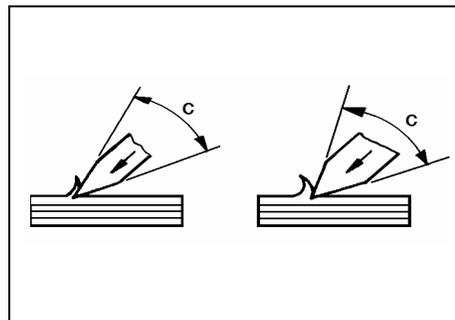
**Corta!**

Algumas das operações que citamos na outra parte da lição podem ser feitas tanto manualmente como com o auxílio das máquinas operatrizes ou das máquinas-ferramenta. Um exemplo de usinagem manual é a operação de limar. Tornear, por sua vez, só se faz com uma máquina-ferramenta denominada torno.

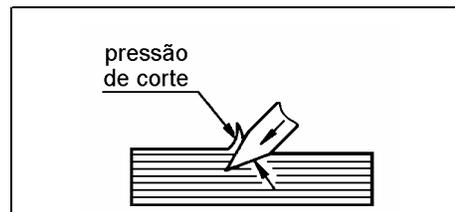
Quer seja com ferramentas manuais como a talhadeira, a serra ou a lima, quer seja com ferramentas usadas em um torno, uma fresadora ou uma furadeira, o corte dos materiais é sempre executado pelo que chamamos de princípio fundamental, um dos mais antigos e elementares que existe: a **cunha**.



Observe que a característica mais importante da cunha é o seu **ângulo de cunha** ou **ângulo de gume (c)**. Quanto **menor** ele for, **mais facilidade** a cunha terá para cortar. Assim, uma cunha mais aguda facilita a penetração da aresta cortante no material, e produz cavacos pequenos, o que é bom para o acabamento da superfície.



Por outro lado, uma ferramenta com um ângulo muito agudo terá a resistência de sua aresta cortante diminuída. Isso pode danificá-la por causa da pressão feita para executar o corte.

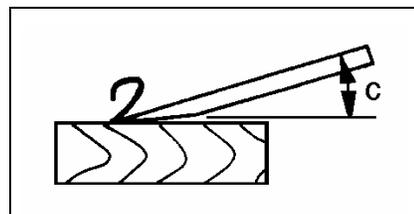


Outra coisa que a gente tem de lembrar é que qualquer material oferece certa **resistência ao corte**. Essa resistência será tanto maior quanto maiores forem a **dureza** e a **tenacidade** do material a ser cortado. Por isso, quando se constrói e se usa uma ferramenta de corte, deve-se considerar a resistência que o material oferecerá ao corte.

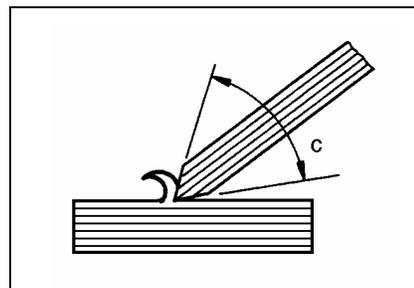
**Dureza:** é a capacidade de um material resistente ao desgaste mecânico.

**Tenacidade:** é a capacidade de um material de resistir à quebra.

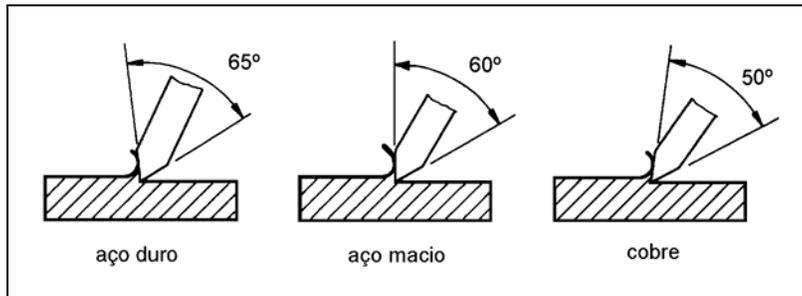
Por exemplo, a cunha de um formão pode ser bastante aguda porque a madeira oferece pouca resistência ao corte.



Por outro lado, a cunha de uma talhadeira tem um ângulo mais aberto para poder penetrar no metal sem se quebrar ou se desgastar rapidamente.

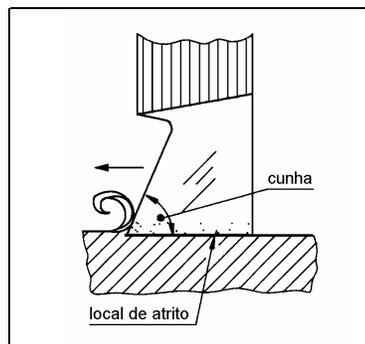


Iso significa que a cunha da ferramenta deve ter um ângulo capaz de vencer a resistência do material a ser cortado, sem que sua aresta cortante seja prejudicada.

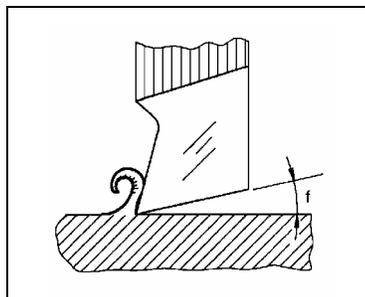


Porém, não basta que a cunha tenha um ângulo adequado ao material a ser cortado. Sua posição em relação à superfície que vai ser cortada também influencia decisivamente nas condições do corte.

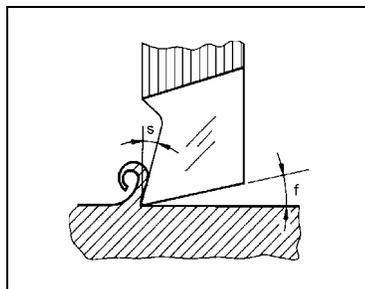
Por exemplo, a ferramenta de plaina representada no desenho ao lado possui uma cunha adequada para cortar o material. Todavia, há uma grande área de atrito entre o topo da ferramenta e a superfície da peça.



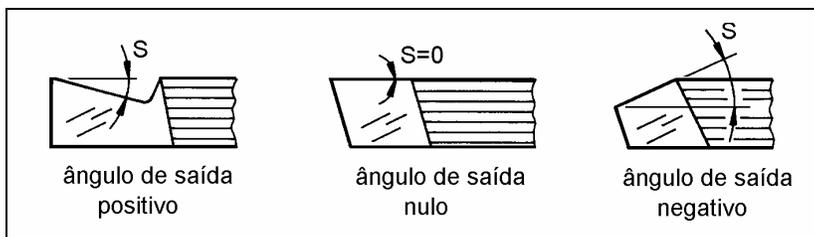
Para solucionar esse problema, é necessário criar **um ângulo de folga** ou **ângulo de incidência (f)** que elimina a área de atrito entre o topo da ferramenta e o material da peça.



Além do **ângulo de cunha (c)** e do **ângulo de folga (f)**, existe ainda um outro muito importante relacionado à posição da cunha. É o **ângulo de saída (s)** ou **ângulo de ataque**.



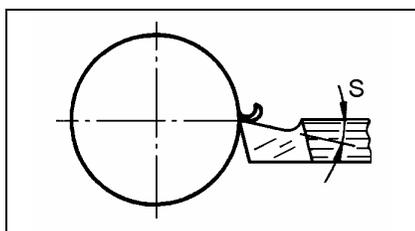
Do ângulo de saída depende um maior ou menor atrito da superfície de ataque da ferramenta. A consequência disso é o maior ou o menor aquecimento da ponta da ferramenta. O ângulo de saída pode ser positivo, nulo ou negativo.



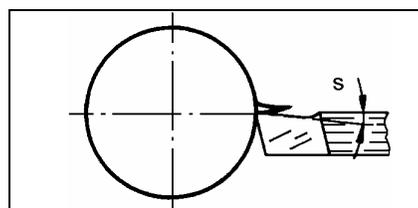
### Dica tecnológica

Para facilitar seu estudo, os ângulos de cunha, de folga e de saída foram denominados respectivamente de **c**, **f** e **s**. Esses ângulos podem ser representados respectivamente pelas letras gregas  $\beta$  (lê-se beta),  $\alpha$  (lê-se alfa) e  $\gamma$  (lê-se gama).

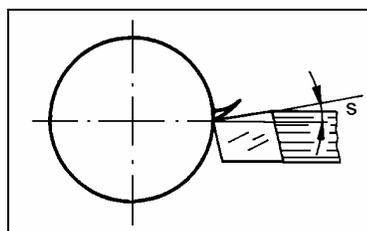
Para materiais que oferecem pouca resistência ao corte, o ângulo de cunha (**c**) deve ser mais agudo e o ângulo de saída (**s**) deve ser **maior**.



Para materiais mais duros a cunha deve ser mais aberta e o ângulo de saída (**s**) deve ser menor.



Para alguns tipos de materiais plásticos e metálicos com irregularidades na superfície, adota-se um ângulo de saída **negativo** para as operações de usinagem.



Todos esses dados sobre os ângulos representam o que chamamos de **geometria de corte**. Para cada operação de corte existem, já calculados, os valores corretos para os ângulos da ferra-

menta a fim de se obter seu máximo rendimento. Esses dados são encontrados nos manuais de fabricantes de ferramentas.

**Pare! Estude! Responda!**

**Exercícios**

3. Complete as sentenças abaixo:

- a) As operações de usinagem são realizadas .....  
ou com o auxílio de máquinas .....
- b) Um exemplo de operação manual é ..... e um  
exemplo de operação em máquinas é .....
- c) A característica mais importante de uma ferramenta é o  
ângulo de .....
- d) Ao diminuir o ângulo de ....., estaremos diminuindo  
a resistência da ..... cortante.
- e) A resistência do material ao corte será tanto .....  
quanto maiores forem a ..... e a  
.....do material cortado.
- f) Quando se constrói uma ferramenta, deve-se considerar  
a ..... que o material oferecerá ao .....
- g) A cunha de uma ferramenta deve ter um ..... capaz  
de vencer a ..... do material a ser cortado.
- h) Além do ângulo de ..... e do ângulo de folga,  
existe o ângulo de ..... ou de .....
- i) Do ângulo de ..... depende um maior ou menor  
atrito da superfície de ..... da ferramenta.

4. Faça corresponder os ângulos de cunha, de folga e de saída com suas denominações e as letras gregas que os representam, respectivamente (veja o exemplo).

	<b>Ângulo</b>	<b>Denominação</b>	<b>Letra grega</b>
<b>a)</b>	cunha	c	$\beta$
<b>b)</b>	folga		
<b>c)</b>	saída		

5. Faça corresponder a resistência que os materiais oferecem ao corte com os ângulos da ferramenta numerando os parênteses:

tipos de ângulos de ferramenta

resistência dos materiais

- |   |   |
|---|---|
| a) ( ) ângulo s negativo                      | 1. pouca resistência ao corte                         |
| b) ( ) ângulo c mais agudo<br>ângulo s maior  | 2. materiais de superfície<br>irregulares e plásticos |
| c) ( ) ângulo c mais aberto<br>ângulo s menor | 3. materiais mais duro                                |

### A ferramenta é feita de...

A geometria de corte é realmente uma informação muito importante que o profissional de mecânica, principalmente o da área operacional, deve dominar. Mas, será que é só isso? Claro que não! E com certeza você já deve estar se perguntando: “Além da geometria de corte, o que mais essas tais de ferramentas de corte têm? Será que se eu pegar qualquer faquinha, já vou poder sair por aí usinando?”

Se você pensar em um conceito muito amplo de usinagem, realmente qualquer faquinha serve. Você duvida? Vamos retomar o conceito de usinagem: processo pelo qual se modifica a forma de um material pela remoção progressiva de cavacos ou aparas. Assim, se você entrar na cozinha e vir sua mulher ou sua mãe raspando a casca de um legume com uma faca serrilhada, ela estará executando uma operação de usinagem. Ao usar um apontador para fazer a ponta de um lápis, você está executando uma operação de usinagem. Lixar uma superfície de madeira para dar “aquele trato caprichado” com verniz, é uma operação de usinagem.

Mas, se o que você vai fazer envolve o trabalho em metal com o auxílio de uma máquina-ferramenta, aí a coisa muda de figura. E

a sua ferramenta vai ter que apresentar algumas características importantes. Vamos a elas.

A ferramenta deve ser **mais dura** nas temperaturas de trabalho que o metal que estiver sendo usinado. Essa característica se torna cada vez mais importante à medida que a velocidade aumenta pois com o aumento da velocidade de corte, a temperatura na zona de corte também aumenta, acelerando o processo de desgaste da ferramenta. A essa propriedade chamamos de **dureza a quente**.

A ferramenta deve ser feita de com um material que, quando comparado ao material a ser usinado, deve apresentar características que mantenham seu desgaste no nível mínimo. Considerando-se que existe um aquecimento tanto da ferramenta quanto do material usinado, por causa do atrito, o material da ferramenta deve ser resistente ao **encruamento** e à **microssoldagem**.

**Encruamento:** é o endurecimento do metal após ter sofrido deformação plástica resultante de conformação mecânica.

**Microssoldagem:** é a adesão de pequenas partículas de material usinado ao gume cortante da ferramenta.

A ferramenta deve ser dura, mas não a ponto de se tornar quebradiça e de perder resistência mecânica. Ela deve ser de um material compatível, em termos de custo, com o trabalho a ser realizado. Qualquer aumento de custo com novos materiais deve ser amplamente compensado por ganhos de qualidade, produtividade e competitividade.

Do ponto de vista do manuseio, a ferramenta deve ter o mínimo atrito possível com a peça, dentro da escala de velocidade de operação. Isso é importante porque influi tanto no desgaste da ferramenta quanto no acabamento de superfície da peça usinada.

Para que as ferramentas tenham essas características e o desempenho esperado, elas precisam ser fabricadas com o material adequado, que deve estar relacionado:

- à natureza do produto a ser usinado em função do grau de exatidão e custos;
- ao volume da produção;
- ao tipo de operação: corte intermitente ou contínuo, desbastamento ou acabamento, velocidade alta ou baixa etc.;
- aos detalhes de construção da ferramenta: ângulos de corte, e de saída, métodos de fixação, dureza etc.;
- ao estado da máquina-ferramenta;
- às características do trabalho.

Levando isso em consideração, as ferramentas podem ser fabricadas dos seguintes materiais:

1. **Aço-carbono:** usado em ferramentas pequenas para trabalhos em baixas velocidades de corte e baixas temperaturas (até 200°C), porque a temperabilidade é baixa, assim como a dureza a quente.
2. **Aços-ligas médios:** são usados na fabricação de brocas, machos, taraxas e alargadores e não têm desempenho satisfatório para torneamento ou fresagem de alta velocidade de corte porque sua resistência a quente (até 400°C) é semelhante à do aço-carbono. Eles são diferentes dos aços-carbonos porque contêm cromo e molibdênio, que melhoram a temperabilidade. Apresentam também teores de tungstênio, o que melhora a resistência ao desgaste.
3. **Aços rápidos:** apesar do nome, as ferramentas fabricadas com esse material são indicadas para operações de baixa e média velocidade de corte. Esses aços apresentam dureza a quente (até 600°C) e resistência ao desgaste. Para isso recebem elementos de liga como o tungstênio, o molibdênio, o cobalto e o vanádio.
4. **Ligas não-ferrosas:** têm elevado teor de cobalto, são quebradiças e não são tão duras quanto os aços especiais para ferramentas quando em temperatura ambiente. Porém, mantêm a dureza em temperaturas elevadas e são usadas quando se necessita de grande resistência ao desgaste. Um exemplo desse material é a estelite, que opera muito bem até 900°C e apresenta bom rendimento na usinagem de ferro fundido.

**5. Metal duro (ou carboneto sinterizado):** compreende uma família de diversas composições de carbonetos metálicos (de tungstênio, de titânio, de tântalo, ou uma combinação dos três) aglomerados com cobalto e produzidos por processo de sinterização. Esse material é muito duro e, portanto, quebradiço. Por isso, a ferramenta precisa estar bem presa, devendo-se evitar choques e vibrações durante seu manuseio. O metal duro está presente na ferramenta em forma de pastilhas que são soldadas ou grampeadas ao corpo da ferramenta que, por sua vez, é feito de metal de baixa liga. Essas ferramentas são empregadas para velocidades de corte elevadas e usadas para usinar ferro fundido, ligas abrasivas não-ferrosas e materiais de elevada dureza como o aço temperado. Opera bem em temperaturas até 1300°C.

Para você ter idéia de como são essas ferramentas, algumas delas estão exemplificadas na ilustração a seguir.



Ainda existem outros materiais usados na fabricação de ferramentas para usinagem, porém de menor utilização por causa de altos custos e do emprego em operações de alto nível tecnológico. Esses materiais são: cerâmica de corte, como a alumina sinterizada e o corindo, e materiais diamantados, como o diamante policristalínico (PCD) e o boro policristalínico (PCB).

Nesta altura da aula, você já tem bastante “material” para estudar, portanto, mãos à obra!

**Pare! Estude! Responda!**

### Exercícios

6. Levando-se em conta o conceito amplo da usinagem e suas implicações que envolvem geometria de corte, complete com suas palavras algumas características importantes de uso das ferramentas de corte, segundo as condições abaixo:
- a) Ao aumentarmos a velocidade de corte, automaticamente elevaremos a temperatura na zona de corte, exigindo que a ferramenta tenha .....
  - b) Por causa do atrito, o material da ferramenta deve ser resistente ao .....
  - c) A ferramenta deve ser de um material compatível, .....
  - d) A ferramenta deve ter o mínimo atrito possível com a peça por causa de algumas implicações, tais como: .....
  - e) Para que as ferramentas tenham as características e desempenho esperados, devem ser fabricadas com o material adequado relacionado com o volume da produção, o estado da máquina .....
7. Considerando todas as características já vistas e estudadas nessa aula sobre uso e fabricação das ferramentas de corte, faça corresponder o tipo de aço e ligas com suas aplicações.

#### Tipos de aços e ligas

- a) ( ) Ligas não-ferrosas
- b) ( ) Metal duro
- c) ( ) Aços rápidos
- d) ( ) Cerâmica de corte
- e) ( ) Aço-carbono

#### Aplicações

- 1. Empregados para velocidades de corte elevadas e usados para usinar ferro fundido, ligas abrasivas não-ferrosas e materiais de elevada dureza.
- 2. Empregadas para operações de baixa e média velocidades.
- 3. Utilizado para trabalhos em baixas velocidades e baixas temperaturas porque a dureza a quente é baixa.
- 4. Empregado em operações de alto nível tecnológico.
- 5. Usadas quando se necessita de grande resistência ao desgaste (ex: estelite).

## Gabarito

1. a) Fundição, laminação, forjamento.  
b) Sem a produção de cavacos e com a produção de cavacos.  
c) Torneamento, aplainamento, furação, mandrilamento, fresamento (ou qualquer das operações citadas nesta aula).  
d) Do ponto de vista da estrutura do material a usinagem é basicamente um processo de cisalhamento, ou seja, ruptura por aplicação de pressão que ocorre na estrutura cristalina do material.
  
2. a) Sem; com; usinagem.  
b) Remoção.  
c) Fundidas; conformadas; dimensões.  
d) Peças; custos; formatos.
  
3. a) Manualmente; operatrizes/ferramenta.  
b) Limar; tornear.  
c) Cunha ou folga.  
d) Cunha; aresta.  
e) Maior; dureza; tenacidade.  
f) Resistência; corte.  
g) Ângulo; resistência.  
h) Cunha; saída; ataque.  
i) Saída; ataque.
  
4. b)  $f/\alpha$ ;    c)  $s/\gamma$
  
5. a) 2      b) 1      c) 3
  
6. a) Maior dureza nas temperaturas de trabalho que o material a ser usinado.  
b) Ao encruamento e à micro-soldagem.  
c) Com o trabalho a ser realizado.  
d) Desgaste da ferramenta, acabamento de superfície da peça usinada.  
e) A natureza do produto a ser usinado, o tipo de operação, os detalhes da ferramenta e as características do trabalho.
  
7. a) 5      b) 1      c) 2      d) 4      e) 3