



METALSHOE
FABLAB NETWORK

07

— Referencial Técnico

CORTE & GRAVAÇÃO A LASER





METALSHOE
FABLAB NETWORK

07

www.metalshoefablab.pt

Referencial Técnico

CORTE & GRAVAÇÃO A LASER

Ficha técnica

Título

07 Referencial Técnico - Corte e Gravação a Laser

Coordenação

Cristina Marques e Vânia Pacheco

Projecto gráfico e paginação

SALTO ALTO ctcp criativo

Textos

Gonçalo Costa
Pedro Duarte
Luis Rocha
Maria Fernandes

Com o apoio de

AIDUST, Consultadoria e Apoio à Indústria S.A

Julho 2022 . TODOS OS DIREITOS RESERVADOS

Versão 01



Este referencial foi desenvolvido no âmbito do projeto Metalshoe Fablab Network
Operação Nº NORTE-02-0853-FEDER-037621

ÍNDICE

Lista de Acrónimos **4**

Introdução **5**

Estado da Arte **9**

**Aplicações e casos de estudo
de corte e gravação a laser** **21**

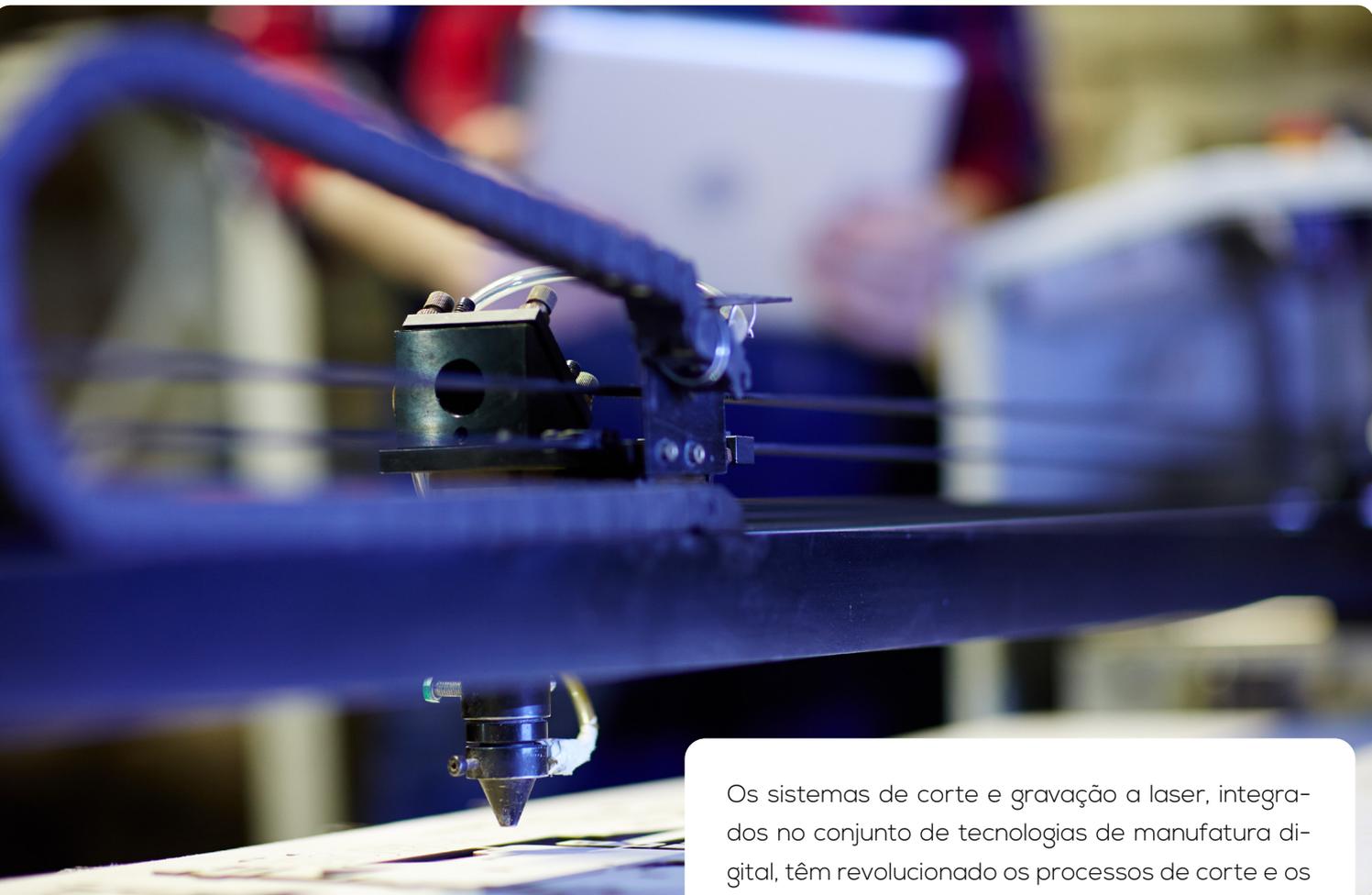
**Enquadramento no
MetalShoe FabLab Network** **26**

Bibliografia **30**

Lista de Acrónimos

CAD	Computer Aided Design
CATIM	Centro de Apoio Tecnológico à Indústria Metalomecânica
CNC	Comando Numérico por Computador
CTCP	Centro Tecnológico do Calçado de Portugal
YAG	Yittrium - Aluminium Garnet
ZTA	Zona Termicamente Afetada

INTRODUÇÃO



Os sistemas de corte e gravação a laser, integrados no conjunto de tecnologias de manufatura digital, têm revolucionado os processos de corte e os processos de personalização e marcação em contexto industrial graças à sua versatilidade, rapidez e precisão. Trata-se de um processo térmico que utiliza um feixe de radiação para cortar ou gravar o material. A direção do feixe de radiação segue a geometria pretendida até obter a peça final. Esta tecnologia, em conjunto com outras tecnologias de fabrico digital, permite às empresas transformar a ideia de um produto num modelo físico, e personalizar esse modelo de forma rápida, fácil e a baixo custo. Todo o processo, desde a ideia até à peça final, é mapeado digitalmente. Dependendo dos requisitos de corte, material envolvido, da potência requerida, da precisão, entre outros, a tecnologia de corte a laser oferece diferentes soluções.

O corte a laser faz parte dos processos industriais desde os anos 70, mas foi em 1917 que surgiu a base teórica para o descobrimento do laser, nomeadamente a descoberta do processo de Emissão Estimulada de Radiação por Albert Einstein [1]. Mais tarde, em 1960, o físico norte-americano Theodore Maiman [2] expôs o primeiro aparelho laser desenvolvido nos laboratórios de Hughes (EUA), cujo meio ativo assentava num cristal de rubi. O rubi é um cristal de óxido de alumínio com quantidades menores de crómio.

Os átomos de crómio formam o meio ativo: são eles que geram a luz laser por emissão estimulada de fótons. Neste caso em concreto a estimulação era realizada através de uma lâmpada fluorescente de vapor de mercúrio e filamento helicoidal (Figura 1).

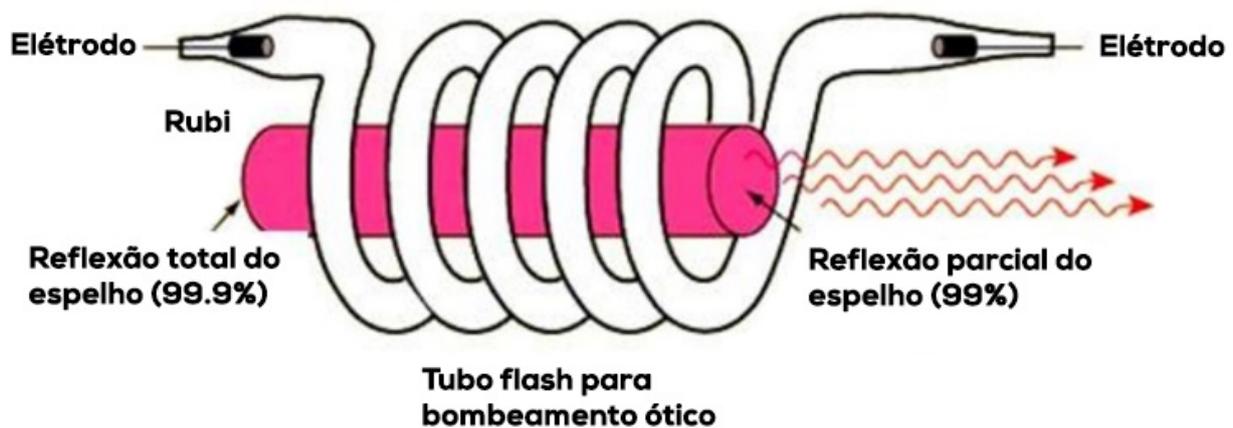


Figura 1 Ilustração do funcionamento de um laser de Rubi. (Adaptado de [3])

Após a descoberta de Maiman, poucos meses depois, Ali Javan e William R. Bennett apresentaram o primeiro laser de estado gasoso (laser de Hélio (He) – Néon (Ne)). Desde então a evolução da tecnologia tem sido contínua e atualmente existem lasers de estado sólido, líquido e gasoso, sendo que cada um deles apresenta características diferentes e deve ser escolhido de acordo com o propósito final (Figura 2) [4].

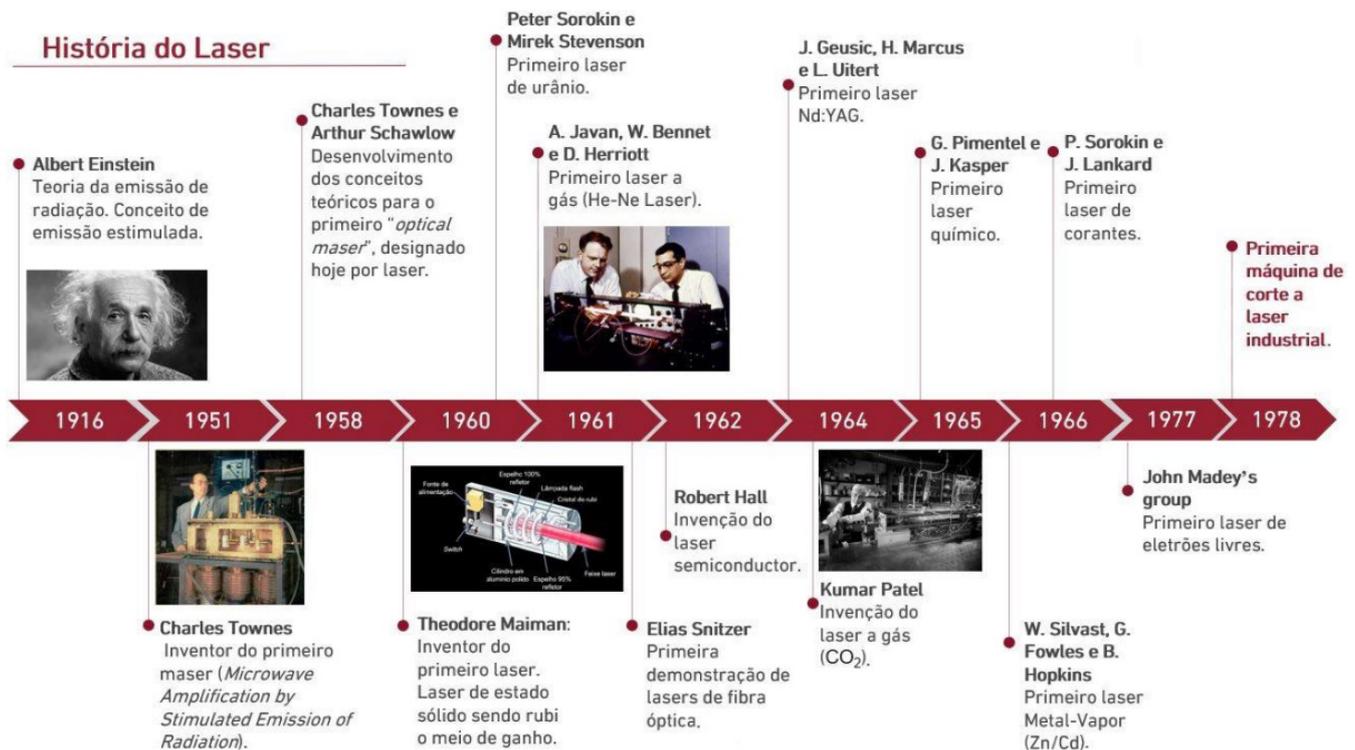


Figura 2 Evolução histórica da tecnologia laser [5].

A versatilidade dos vários tipos de laser evidencia-se nas vastas áreas de aplicação, que vão desde o processamento de materiais a aplicações médico-terapêuticas, instrumentação, processamento de imagem e informação, eletrônica etc. A tecnologia de corte e gravação a laser é utilizada principalmente em processamento de materiais, desde a fabricação em massa de componentes para a indústria automotiva, aeronáutica, construção civil, até pequenas peças, como por exemplo produção de protótipos e personalização de produtos em setores como o calçado e marroquinaria, setor da ourivesaria e joalheria, entre outros.

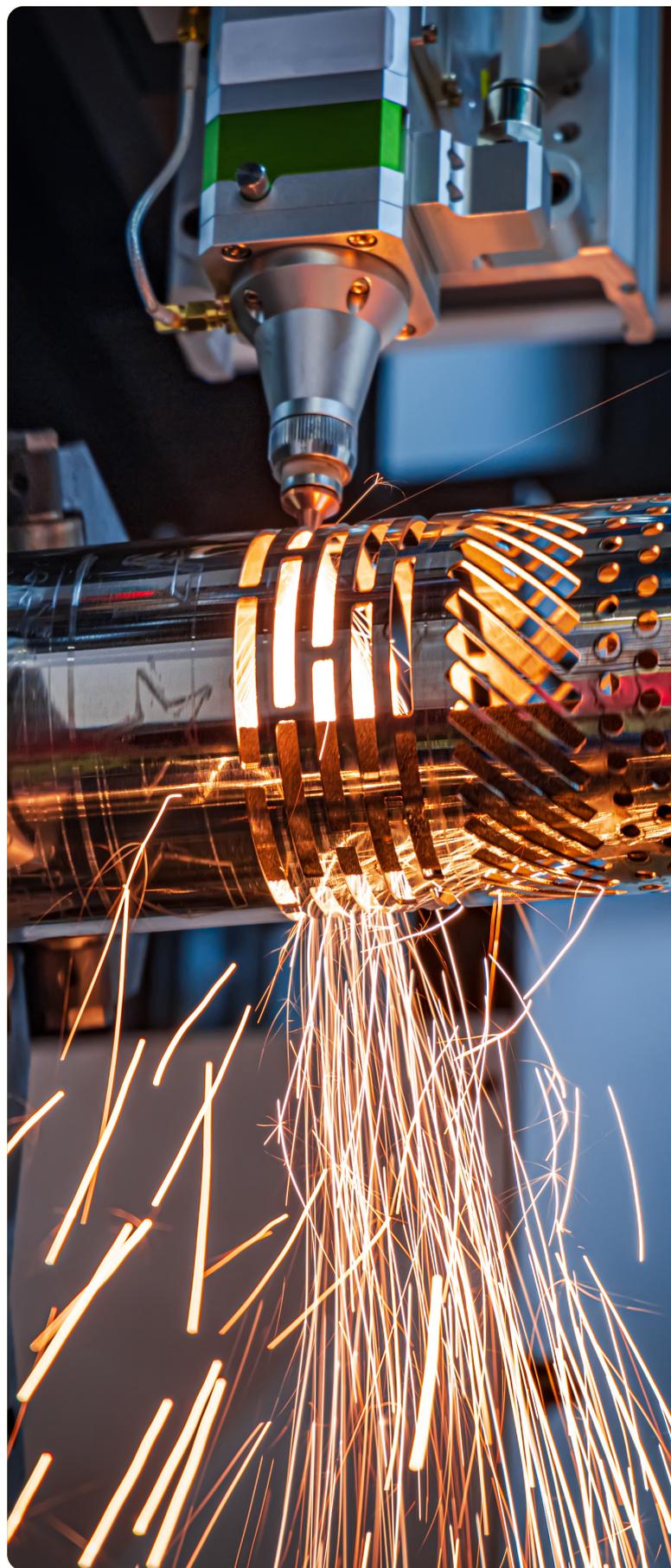
Particularizando, na indústria do calçado e marroquinaria as exigências do mercado são cada vez maiores, com uma crescente procura por produtos personalizados que exigem um sistema de produção flexível, rápido e em pequena escala (pequenos lotes ou mesmo exemplares únicos).

O corte a laser apresenta as vantagens óbvias de rapidez na execução das peças, automação dos processos, alta precisão, excelente acabamento superficial, redução do desperdício e por sua vez redução dos custos finais (mão de obra e materiais) [6], no entanto existem alternativas nos sistemas de corte, mais adequadas ao corte de ma-

teriais naturais como as peles e couros, evitando a libertação de odores. Neste setor, uma das grandes potencialidades é na customização e personalização dos produtos, usando a gravação a laser. Na indústria metalomecânica, o corte a laser tem sido utilizado praticamente desde a sua existência.

Permite o corte de diferentes metais (aço, alumínio, entre outros), com diferentes espessuras e diferentes geometrias, sem a necessidade de trocar a “ferramenta de corte” uma vez que se trata de um processo sem contacto. Além disso todo o procedimento pode ser monitorizado e controlado numericamente através de um CNC (Comando Numérico por Computador), permitindo obter peças de geometria complexa que podem ser (re)desenhadas, visualizadas e projetadas através dos sistemas CAD (Computer Aided Design), reduzindo a possibilidade de erros [7]. A integração de todos estes sistemas (CNC, CAD e Corte a Laser) fazem desta tecnologia uma ferramenta altamente versátil e flexível.

As empresas, por sua vez, reconhecem a importância desta e outras tecnologias como resposta a um mercado cada vez mais competitivo e globalizado. Maior eficiência dos processos é uma procura constante por parte das empresas que visam dar a melhor resposta aos seus clientes e otimizar recursos, como a mão de obra e a matéria-prima. O presente referencial, realizado no âmbito do projeto MetalShoe FabLab Network, tem como propósito servir de apoio aos técnicos responsáveis da tecnologia de corte e gravação a laser, e/ou eventuais interessados na tecnologia. O referencial foca-se na descrição tecnológica do corte e gravação a laser, as suas principais vantagens e desvantagens em contexto industrial, com especial enfoque na indústria do calçado e marroquinaria e na indústria metalomecânica.



ESTADO DA ARTE

Tipos de laser

O acrónimo LASER deriva do termo “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”, que em português traduz-se como “Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação”, e pode definir-se como um feixe unidirecional e amplificado de radiação eletromagnética, que difere da luz comum por possuir fotões da mesma frequência, comprimento de onda e estado energético [8], [9].

Para obter o laser são necessários três componentes essenciais:

Meio ativo (átomos ou moléculas de determinada matéria);

Fonte de bombeamento ou excitação (responsável pela emissão de fotões);

Cavidade ótica ou ressonador (dispositivo de amplificação).

O meio ativo é posicionado dentro da cavidade ótica constituída por dois tipos de espelhos, sendo um deles, através do qual é emitido o feixe laser, parcialmente transparente (Figura 3).

O meio ativo é sujeito a emissão estimulada através do bombardeamento de fotões, levando a que seja libertado um fotão cada vez que um eletrão é posicionado numa órbita de nível energético inferior.

Este é o designado processo de excitação ou bombardeamento [10]. A ocorrência deste fenómeno só é possível quando a órbita de nível energético superior se encontra com um número superior de eletrões do que a órbita de nível energético imediatamente abaixo.

Na fase de excitação dá-se uma inversão na distribuição dos eletrões pelos níveis energéticos em questão e são emitidos fotões espontaneamente em todas as direções. A amplificação é posteriormente obtida na direção do eixo de propagação da cavidade ótica devido às múltiplas reflexões da luz dentro dos espelhos que a constituem. O feixe laser abandona a cavidade através do espelho parcialmente transparente.

A inexistência destas condições, iria permitir ao meio ativo absorver a energia emitida, distribuindo eletrões apenas pelo nível energético acima, sem emissão de qualquer partícula essencial à geração do feixe laser [11].

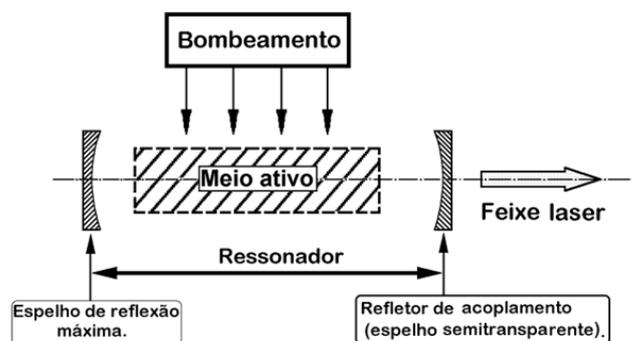


Figura 3 Esquema dos elementos constituintes de um laser e o seu princípio de funcionamento.

Uma fonte de luz natural emite radiação em todas as direções espaciais. A radiação laser, ao contrário das fontes de luz normais, é emitida numa determinada direção, com um feixe estreito que assim permanece à medida que se propaga.

A direccionalidade ou colimação é uma das melhores características do laser e é avaliada pela divergência do feixe [12], [1].

Tipicamente apresenta valores entre 1 e 10 mrad (0,57) que resultam do facto da cavidade ressonante deixar emergir radiação praticamente paralela ao seu eixo. A divergência do laser é definida como o ângulo de abertura do laser [12].

Atualmente existem diferentes tipos de laser disponíveis no mercado e podem ser aplicados nas mais diversas áreas (Figura 4). Os diferentes tipos de laser são classificados de acordo com o seu meio ativo em três grandes famílias: lasers de estado sólido, lasers de estado gasoso e lasers de estado líquido. Cada uma destas famílias apresenta inúmeras opções. A variedade de comprimentos de onda, potências e qualidade do feixe é enorme, tornando o campo de aplicação dos lasers muito vasto. No contexto industrial, o corte e gravação a laser é amplamente aplicado no processamento de uma vasta gama de materiais (acrílico, madeira, cortiça, plásticos, aço, alumínio, etc.).

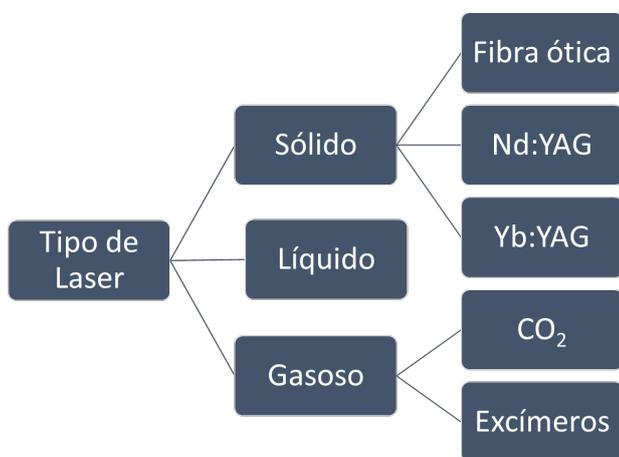


Figura 4 Tipos de lasers existentes no mercado.

Lasers de estado sólido

Nos lasers de estado sólido a formação do feixe de laser é gerada pela excitação de iões suspensos numa matriz de cristais, sem a necessidade de um gás como meio ativo. Quando excitados, os iões emitem eletrões sendo da responsabilidade da matriz cristalina a transmissão de energia entre os iões [14]. YAG (Yttrium - Aluminium Garnet) é o cristal mais utilizado e é dopado de iões de Neodymium (Nd^{3+}) ou Ytterbium (Yb^{3+}) que constituem a espécie ativa.

Nos lasers de Nd ou Yb, em que o transporte do feixe é feito através de fibra ótica são conhecidos como lasers de fibra (Figura 5). Estas fibras são constituídas por sílica, sendo dopadas no seu interior com o objetivo de amplificar o sinal emitido. Nos casos em que existe combinação do cristal com os iões da espécie ativa define a designação do laser: Nd:YAG ou Yb:YAG. O primeiro laser de estado sólido foi o laser de rubi, mas atualmente encontra-se em desuso devido à sua baixa eficiência. Apesar de se prever um crescimento dos laser Yb:YAG, atualmente o mais utilizado é o laser Nd:YAG [15].

Geralmente, estes lasers apresentam uma potência menor quando comparados com os lasers de CO_2 (dióxido de carbono). O comprimento de onda dos lasers de estado sólido é 10 vezes menor que o comprimento de onda dos lasers CO_2 (1,06 μm).

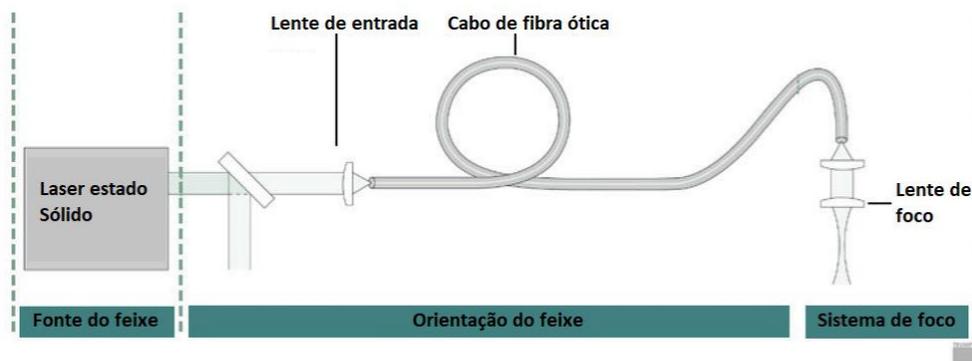


Figura 5 Sistema de laser por fibra ótica [17].

Lasers de estado gasoso

Os lasers de estado gasoso apresentam um sistema complexo e são mais dispendiosos quando comparados com os lasers de estado sólido. Estes lasers podem ainda ser divididos em lasers de átomo neutro, ião ou moleculares, dependendo da constituição do meio ativo ser de átomos neutros, iões ou moléculas gasosas, respetivamente.

O laser de CO_2 é o laser mais típico e tem como meio ativo uma mistura gasosa de CO_2 , gás hélio (He) e azoto (N_2) em concentrações de aproximadamente 6, 10 e 84% respetivamente. O CO_2 é empregado na emissão da radiação, o N_2 auxilia a excitação das moléculas (gás de assistência) e o He na dissipação do calor gerado pelo campo elétrico.

O comprimento de onda é de $10,6 \mu\text{m}$ (radiação de infravermelhos de nível médio). A potência de saída pode ser pulsada ou contínua, com potências médias variando de 100 W e os 25 kW, podendo chegar aos 100 kW para determinadas aplicações, permitindo a sua aplicação em praticamente todos os processos de fabrico.

Os lasers de CO_2 de alta potência são muito utilizados em contexto industrial, nomeadamente para processamento de materiais de elevada dureza como por exemplo o aço. As técnicas de excitação

incluem descarga elétrica, radiofrequência, entre outras (Figura 6).

No geral, as principais características dos lasers de estado gasoso são:

- Elevada eficiência energética comparativamente com outros lasers;
- Elevada precisão da direção do feixe, possibilitando a focalização em estruturas extremamente complexas e detalhadas;
- Baixo custo, devido à eficiência energética, aos consumíveis baratos e facilidade de manutenção;
- Elevada flexibilidade na modulação de formas temporais distintas para a potência de saída (regimes contínuos, pulsados e em superpulso).

Os lasers de He-Ne são lasers de átomo neutro e geralmente apresentam um comprimento de onda de 632,8 nm. É, no entanto, regulável desde radiação infravermelha até vários comprimentos de onda de luz visível.

Este é um tipo de laser com uma potência abaixo dos 50 mW, meramente usado para fins holográficos, efetuar medições ou comunicação através de fibra ótica. É o mais popular laser de luz visível. A nível industrial, apenas tem função de apontador para operação, programação ou calibração de máquinas.

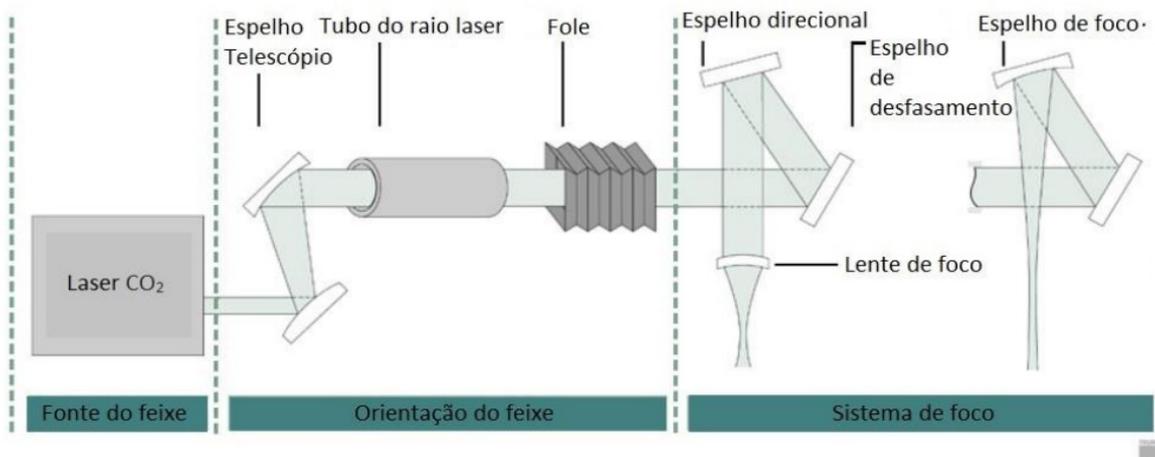


Figura 6 Sistema de laser CO₂ [17].

Os lasers de excímero surgiram na década de 80. O termo “excímero” provém do inglês “excited dimer” - dímeros excitados. Estes lasers utilizam gases reativos, como o cloro (Cl₂) ou o flúor (F), misturados com gases inertes como argônio (Ar), criptônio (Kr), ou xénon (Xe).

Quando estimulados eletricamente, a molécula (dímero) é produzida. Os lasers de excímero geram radiação laser ultravioleta, com comprimento de onda compreendido entre 0,193 μm e 0,351 μm, conforme o meio ativo. São também conhecidos por produzirem pulsos muito curtos e de elevada potência. Apresentam baixa potência e por isso apresentam limitações no tipo de materiais que podem cortar, como por exemplo, ligas metálicas. Por outro lado, o curto comprimento de onda permite focar um feixe num ponto focal de dimensões reduzidas.

Estes lasers também são capazes da remoção do material por processo fotoablativo. Este processo de dissociação química tem efeitos térmicos mínimos quando comparado com o processo físico de mudança de fase. Por este motivo, designa-se por vezes “corte laser a frio” [12].

Lasers de estado líquido

Lasers de estado líquido praticamente não têm aplicação em processos industriais. Isto não implica que sejam irrelevantes noutras áreas científicas. Um dos lasers de estado líquido mais utilizados é o laser de corante, que utiliza um corante orgânico como meio ativo, normalmente em estado líquido. Atualmente têm aplicação prática na astronomia, medicina, espectroscopia e separação atômica de isótopos.

Na tabela seguinte são comparadas as especificações dos tipos de laser mais usados. A primeira observação foca-se no comprimento de onda de cada tipo de laser, o qual se relaciona com os diferentes tipos de materiais que pode processar, uma vez que a absorvância em cada comprimento de onda, varia de material para material. Também a potência varia com o tipo de laser, sendo maior para os lasers CO₂.

Finalmente do ponto de vista industrial, onde a manutenção dos equipamentos assume um aspeto fundamental, é possível ver que os lasers de fibra, no caso Yb-fiber, são os que têm um maior tempo de utilização sem que seja necessária manutenção do equipamento.

Tabela II Especificações dos tipos de laser mais usados. (adapt. de [17])

Laser	CO ₂	Nd:YAG	Yb-fiber	Excimer
Tipo	Gasoso	Sólido	Sólido	Gasoso
Comprimento de onda	9,4 & 10,6 µm	1,06 µm	1,07 µm	193, 248 e 308 m (ArF, KrF e XeCl, respectivamente)
Eficiência	5-20 %	Lâmpada: 1-3 % Díodo: 10-20 %	10-30 %	1-4 %
Potência (Onda contínua)	Até 20 kW	Até 16 kW	Até 10 kW	Média: 300 W
Fonte estímulo	Descarga elétrica	Lâmpada ou diodo	Díodo	Descarga elétrica
Modo operação	Onda contínua ou pulso	Onda continua ou pulso	Onda contínua ou pulso	Pulso
Fator de qualidade do feixe (mm.mrad)	3-5	0,4-20	0,3-4	160 x 20 (Vertical x Horizontal)
Período de manutenção	2000 h	200 h (lâmpada) 10000 h (diodo)	25000 h	108-9 pulsos

Princípio de funcionamento do corte e gravação a laser

Nos processos de corte a laser, o corte ocorre devido aos elétrons livres que estão presentes no material a utilizar. Os elétrons absorvem os fótons da radiação estimulada, libertando-se energia térmica que funde o material e efetua o corte. Tipicamente, o laser é focado através de uma lente convexa e um díodo emissor de laser de cor vermelha, que é utilizado para detetar e/ou definir o foco do feixe na superfície do material a cortar. O material é fundido e removido por ação de um gás de assistência. Este gás é selecionado de acordo com o material e espessura de corte. A distância do foco depende da lente (Figura 7) [18].

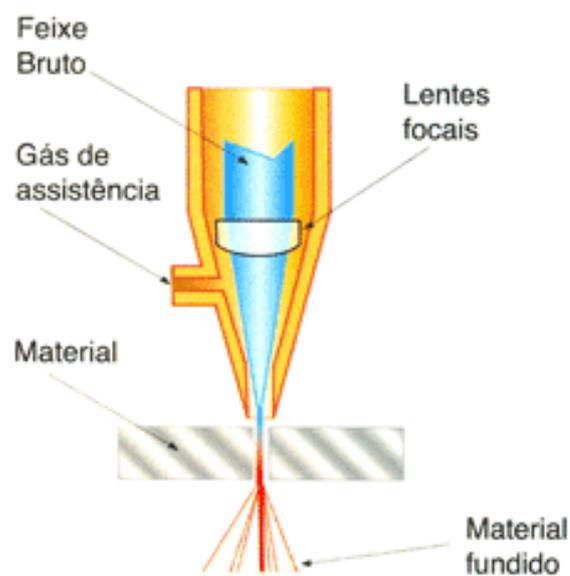


Figura 7 Sistema básico de foco presente em qualquer máquina de corte a laser. O design dos sistemas de corte, a gama das tecnologias e a alimentação do equipamento podem variar [18].

Para o sistema de corte a laser estar completo, além do gerador laser, é necessário um sistema de foco para a radiação atingir o material, sendo que a radiação é refletida do gerador para a lente de foco por meio de um espelho de ligação na cabeça de corte (Figura 8) [19].

É também nesta cabeça que é injetado o gás de assistência durante o corte. Os gases de assistência fazem parte do conjunto de consumíveis da máquina, têm como função a remoção do material da fenda de corte, ainda que existam outras formas de efetuar esta remoção, como por exemplo utilizando vácuo.

A lente de foco faz parte dos consumíveis e tem um papel fundamental no funcionamento e qualidade do corte laser, sendo responsável pelo foco de radiação que provoca a fenda de corte. É importante manter um cuidado alargado com a lente, uma vez que o próprio funcionamento do equipamento produz fumos e partículas que ressaltam durante o corte e podem descalibrar a lente através do seu desalinhamento, comprometendo a qualidade de corte. Como tal, deve ser feita uma limpeza periódica [20].

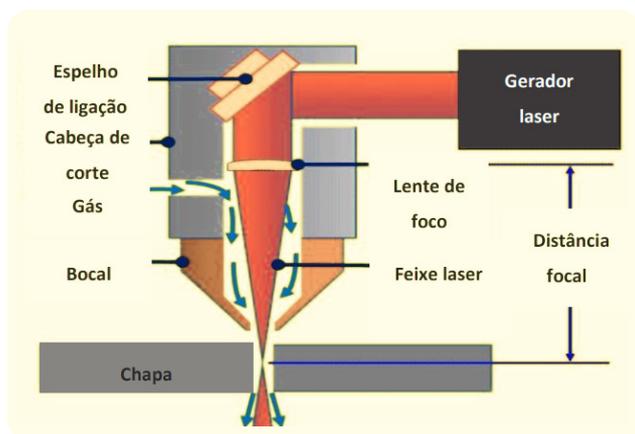


Figura 8 Sistema de corte a laser (adapt. de [19]).

Os sistemas de corte a laser podem também ser usados para processos de gravação a laser, nos quais, tipicamente, se usam potências de laser mais baixas e velocidades de varrimento superiores. Este tipo de processos tem variadas aplicações nos setores do calçado e da metalomecânica, mas também em muitos outros setores industriais.

Estes processos podem ser usados para:

- Acrescentar valor ao produto, por exemplo na personalização de objetos para o consumidor final.
- Apoio à produção, como por exemplo na marcação de ferramentas e material.
- Etiquetagem de produto com informação requerida.

Parâmetros de corte

O processo de corte a laser, por vezes, pode criar efeitos indesejáveis como criação de rebarba, ou seja, a formação de aglomerados de escória na aresta inferior do produto, e a criação de estrias ou ondulações na superfície de corte. A seleção correta dos parâmetros de corte podem ditar a qualidade do produto final.

No corte a laser destacam-se os seguintes parâmetros:

- Velocidade e espessura de corte;
- Posição do ponto focal;
- Tipo de feixe laser (pulsado ou contínuo, comprimento de onda e potência da radiação);
- Gás de assistência;
- Pressão do Gás;
- Ótica de focalização e diâmetro do feixe.

Além dos parâmetros mencionados, deve-se ter em atenção variáveis como as propriedades físicas, químicas e mecânicas do material a cortar.

Potência da radiação

Parâmetro responsável por determinar a densidade de energia introduzida no material. A potência da radiação deve ser determinada tendo em conta as características do material, e assim minimizar a largura de corte e a zona termicamente afetada (ZTA).

Velocidade e espessura de corte

A velocidade de corte está relacionada com a potência da radiação. Se a velocidade de corte é baixa, mantendo a potência, a densidade de energia no material aumenta. No caso de a velocidade de corte ser demasiado elevada, pode não ocorrer o corte. O aumento da espessura indica tipicamente uma maior fenda de corte. A velocidade e a espessura variam numa relação de proporcionalidade inversa, para manter a melhor qualidade. Como tal, estes parâmetros devem ser determinados experimentalmente para um dado material, associado com a potência da radiação.

Comprimento de onda

Os valores do comprimento de onda variam consoante o tipo de laser, estando diretamente relacionados com a forma como é excitada a fonte de luz laser.

Diâmetro do feixe

O diâmetro do feixe está essencialmente relacionado com o sistema ótico do equipamento e varia consoante o tipo. Com os recentes avanços na tecnologia, existem já sistemas de laser que permitem uma variação no diâmetro do feixe.

Gás de assistência de corte

Normalmente na indústria utiliza-se gás inerte. O N_2 permite uma proteção da superfície de corte de reações de oxidação de altas temperaturas. Por outro lado, estas mesmas reações ocorrem quando se usa o O_2 como gás de assistência, permitindo

o corte de espessuras superiores. Tipicamente a indústria utiliza O_2 ou N_2 , sendo que para o corte de ferro costuma utilizar-se o O_2 e para aços inoxidáveis utiliza-se sempre o N_2 . Daí, a espessura de corte ser menor nos aços inoxidáveis, comparativamente a outro tipo de aço.

Pressão do gás

Dependendo do tipo de gás, um aumento de pressão resulta numa maior remoção de material da zona de corte e, tipicamente, é superior quando se corta com N_2 , para compensar a ausência de oxidação. Em caso de corte com o oxigénio, para além da remoção de material, o aumento da pressão aumenta também as reações de oxidação exotérmicas.

Vantagens e desvantagens da utilização do corte a laser

Por ser uma tecnologia que se baseia na produção de energia concentrada em pequenas áreas, o corte a laser proporciona cortes retos, pequena largura de corte, espessura mínima da ZTA, distorção mínima e arestas de excelente qualidade.

É um sistema de fácil automatização, permite cortar peças desde formas simples a formas mais complexas e não requer a troca de “ferramentas de corte” cada vez que se inicia o corte de uma nova peça. Abaixo estão enumeradas **as principais vantagens:**

- Processo rápido comparativamente com os processos convencionais;
- Proporciona cortes retos, execução de peças complexas com elevado nível de precisão;
- O corte da matéria-prima com diferentes contornos, não constitui um obstáculo para o corte a laser;

- Boa qualidade superficial;
- Reduzida ZTA;
- Processo de fácil automatização: se o CNC estiver ligado a um sistema CAD, qualquer peça desenhada no CAD é imediatamente transferida para o CNC e executado o corte. A flexibilidade do laser enquanto ferramenta permite num tempo mínimo cortar diferentes peças em diferentes materiais, de acordo com as exigências de produção;
- Não há contacto direto entre o cortante (neste caso o feixe laser) e a peça, evitando a ocorrência de distorção e/ou desgaste tanto da ferramenta de corte como material maquinado;
- Processo silencioso e limpo na maior parte das aplicações, ainda que haja libertação de gases;
- O corte laser tem os melhores resultados no corte de materiais metálicos. No entanto, existem sempre recomendações no corte de espessuras mais elevadas.

Do lado das desvantagens podemos destacar o alto custo inicial do sistema e a reduzida variedade de potências disponíveis, que delimitam o corte a espessuras relativamente baixas e a materiais que apresentam baixa reflexão da luz. Contudo a sua elevada flexibilidade, torna a tecnologia economicamente rentável. Abaixo estão enumeradas as principais desvantagens:

- Alto custo inicial do equipamento;
- Alto custo da manutenção ou substituição da fonte do laser;
- Necessidade de mão-de-obra especializada;
- Limitações no corte de espessuras acima de 30mm;
- Limitação no seu uso para materiais naturais, como peles, couros, entre outros;
- Limitação do seu uso a materiais com absorvância elevada, no comprimento de onda de cada tipo de laser;
- Formação de produtos tóxicos e fumos.



Como referido anteriormente, há outras tecnologias de corte, como a maquinação, corte por facas, corte por punção, corte a plasma, jato de água, entre outras.

Em seguida apresenta-se uma comparação entre as tecnologias de corte mais usadas em cada tipo de material (madeira, acrílico, têxteis e filmes poliméricos).

Tabela III Comparação entre diferentes tecnologias de corte para processar materiais têxteis. [21]

Têxteis	Corte a laser	Corte por facas	Corte por punção
Acabamento das arestas após corte	 Liso	 Esfriapado	 Esfriapado
Qualidade de corte após ciclos de funcionamento	 Constante	 Decrescente	 Decrescente
Detalhes finos / contornos internos	 Sim	 Condicional	 Condicional
Arestas cortadas seladas (sintéticos / naturais / mistos)	 Sim / Não / Sim	 Não / Não / Não	 Não / Não / Não
Flexibilidade	 Elevada	 Elevada	 Pequena
Etiquetagem / Gravação	 Sim	 Não	 Não
Distorção do material durante corte	 Não, porque não há contacto	 Sim	 Condicional
Corte de multicamada	 Condicional	 Sim	 Sim
Desgaste da ferramenta	 Sem desgaste	 Fácil troca	 Troca cara
Custo de armazenamento de ferramentas	 Sem custos	 Baixos custos de armazenamento	 Custos de armazenamento medianos

Tabela IV Comparação entre diferentes tecnologias de corte para processar filmes sintéticos.[22]

Filmes sintéticos	Corte a laser	Corte por facas	Corte por punção
Acabamento das arestas após corte	 Sem esfoliação	 Esfoliação	 Esfoliação
Qualidade de corte após ciclos de funcionamento	 Constante	 Decrescente	 Decrescente
Precisão de corte	 Boa	 Boa	 Mediana
Detalhes finos / furos pequenos	 Sim	 Condicional	 Não
Arestas cortadas seladas	 Seladas termicamente	 Não seladas	 Não seladas
Flexibilidade	 Elevada	 Condicional	 Pequena
Custo armazenamento de ferramentas	 Sem custos	 Baixos custos de armazenamento	 Custos de armazenamento medianos
Velocidade	 Alta velocidade	 Velocidade mediana	 Elevada velocidade
Desgaste da ferramenta	 Sem desgaste	 Fácil troca	 Troca cara

Tabela V Comparação entre diferentes tecnologias de corte para processar madeira. [23]

Madeira	Corte a laser	Corte por facas	Corte por punção
Acabamento das arestas após corte	 Liso, sem dentadas e rebarbas	 Não maquinado / mate	 Não maquinado / mate
Qualidade de corte após ciclos de funcionamento	 Constante	 Decrescente	 Decrescente
Precisão de corte	 Boa	 Boa	 Mediana
Detalhes finos / / Contornos internos	 Sim	 Condicional	 Não
Flexibilidade	 Elevada	 Condicional	 Pequena
Etiquetagem / Gravação	 Sim	 Sim	 Não
Contaminação	 Sem lascas nem poeira	 Lascas	 Lascas / poeira
Danos no material	 Sem contacto	 Tensões mecânicas	 Tensões mecânicas
Desgaste da ferramenta	 Sem desgaste	 Fácil troca	 Fácil troca
Resíduos de material	 Reduzido	 Elevado	 Mediano

Tabela VI Comparação entre diferentes tecnologias de corte para processar acrílico. [24]

Acrílico	Corte a laser	Corte por facas	Corte por punção
Acabamento das arestas após corte	 Liso / Limpo	 Mate	 Grosso
Qualidade de corte após ciclos de funcionamento	 Constante	 Decrescente	 Decrescente
Precisão de corte	 Boa	 Boa	 Má
Detalhes finos / / Contornos internos	 Sim	 Condicional	 Não
Flexibilidade	 Elevada	 Condicional	 Não
Etiquetagem / Gravação	 Sim	 Sim	 Não
Contaminação	 Sem lascas nem poeira	 Lascas	 Lascas / poeira
Danos no material	 Sem contacto	 Tensões mecânicas	 Tensões mecânicas
Desgaste da ferramenta	 Sem desgaste	 Fácil troca	 Fácil troca
Resíduos de material	 Reduzido	 Elevado	 Mediano

Aplicações e casos de estudo de corte e gravação a laser

Os processos de corte e gravação a laser podem ser aplicados nas mais diversas indústrias, como são o caso das indústrias do calçado e da metalomecânica, com diversas aplicações, como referido acima, sendo exemplo o corte de materiais, a personalização ou etiquetagem de produtos. Nesta secção serão apresentados alguns casos de estudo em diversos setores indústrias e diferentes produtos.

Casos de estudo Metalomecânica

Na indústria da metalomecânica a gravação a laser pode ser usada numa larga variedade de metais e ligas metálicas, mesmo os que têm tratamento superficial. Na Figura 9 são apresentados dois exemplos de marcação de produtos de alumínio anodizado, seja para marcação de símbolos técnicos ou simplesmente para a gravação de logotipos.

Outra da aplicação do processo na indústria metalomecânica é, por exemplo, a gravação em profundidade de texto e grafismo para inserts de moldes de injeção plástica, que depois será transposto para o produto final injetado, como mostrado na Figura 10.

A personalização de produtos metálicos, como é o caso da joalheria (Figura 11), traz vantagens em termos de valor acrescentado ao produto, principalmente por se tratar quase sempre de metais ou ligas metálicas de ouro, prata, ou outros metais preciosos.



Figura 9 A gravação é usada para marcação de símbolos técnicos (esq.) e de logotipos das marcas (dir.) em produtos de alumínio anodizado. [25][26]

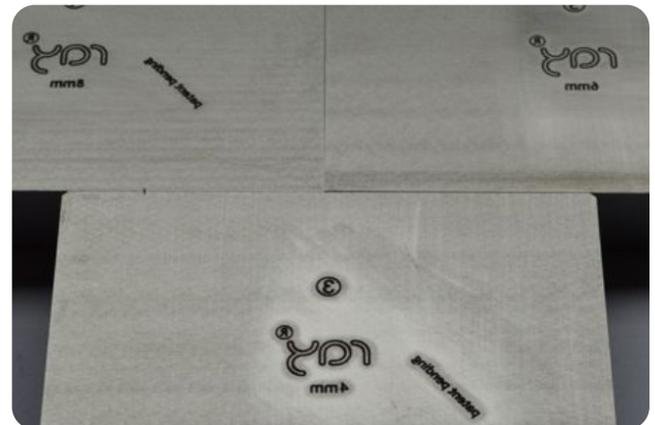


Figura 10 Gravação em profundidade de inserts para moldes de injeção, para identificação do produto final injetado.[27]



Figura 11 Personalização de peças de joalheria, feita com ouro platinado. [28]

Calçado

Na indústria do calçado, as tecnologias de corte e gravação laser podem ser usadas na produção de componentes ou produtos personalizados com designs intrincados, através do corte, ou através da gravação a laser.

Na Figura 12 são apresentados modelos de calçado com componentes produzidos por corte a laser, mostrando a elevada precisão deste processamento e a sua aplicação em produtos de calçado.

Já na Figura 13 são apresentados modelos de sneakers personalizados por gravação a laser. Neste grupo de calçado destaca-se as Air Jordan 5 "Doernbecher" que, sendo processadas a laser, e que sob luz negra, revelam todo o texto gravado na gáspea.



Figura 12 Calçado com designs intrincados e possíveis de personalizar, com componentes produzidos através do corte a laser. Marcas: Chloé, Jimmy Choo e Vans. [29]





Figura 13 Modelos de sneakers personalizados usando a gravação laser. Marcas: Li Ning, AirJordan e New Balance. [29]

Também grandes marcas como a Nike e a Adidas produzem calçado com recurso a gravação laser (Figura 14), seja como ornamento estético ou como personalização. De destacar também que esta gravação é feita em diferentes tipos de materiais desde os sintéticos aos couros e peles.



Figura 14 Produtos das marcas Nike e Adidas personalizados por gravação laser. [30][31][32]



Outras aplicações

Existem ainda outras indústrias, algumas delas ligados aos setores do calçado e da metalomecânica, como é o caso da indústria da moda, onde o corte e gravação laser são também já usados.

A empresa Golden Laser produz equipamentos industriais que combinados com câmaras de elevada resolução, permitem a produção contínua por corte a laser de equipamentos desportivos, produzidos por sublimação (Figura 15). Outros produtos produzidos por corte a laser, e que mostram a elevada precisão de corte destes sistemas, são etiquetas autocolantes e carpetes (Figura 16).

Finalmente a gravação laser pode ser também usada para produzir etiquetas com códigos QR e para personalizar vestuário, como calças de ganga, como é mostrado na Figura 17.

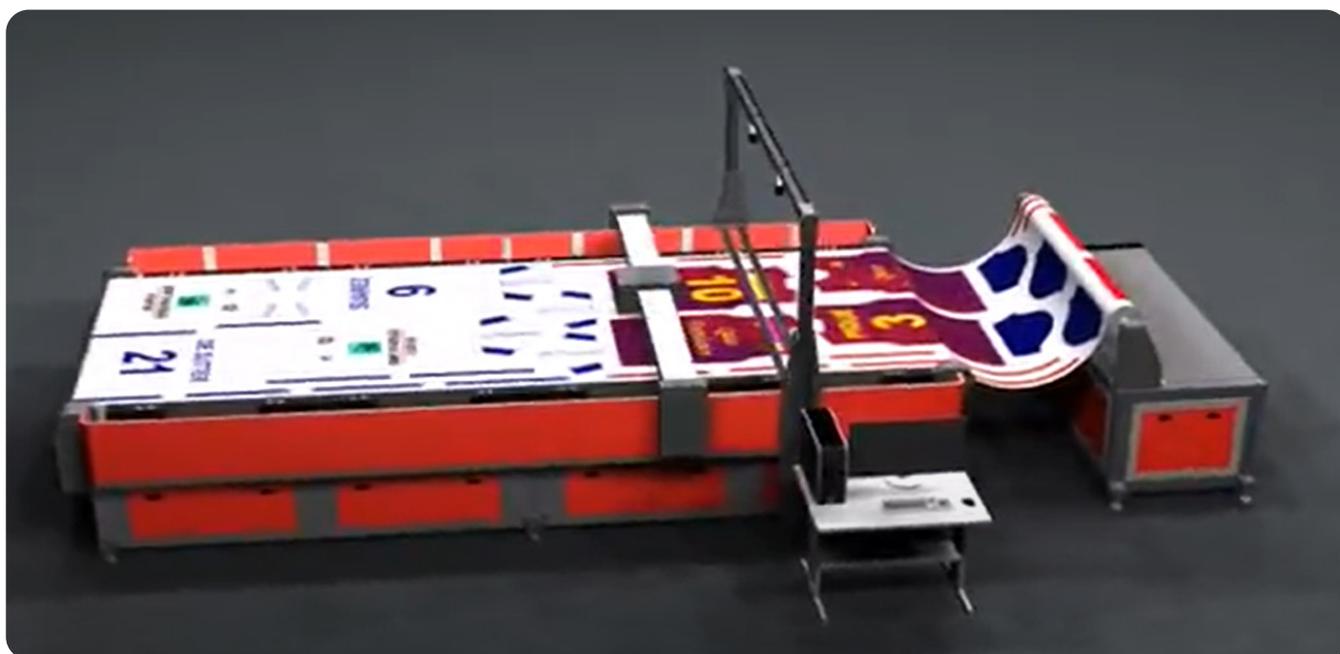


Figura 15 Corte contínuo por laser de equipamentos desportivos, produzidos por sublimação. [33]



Figura 16 Etiquetas autocolantes (esq.) e carpetes (dir.) produzidas em equipamentos de corte a laser. [34][35]

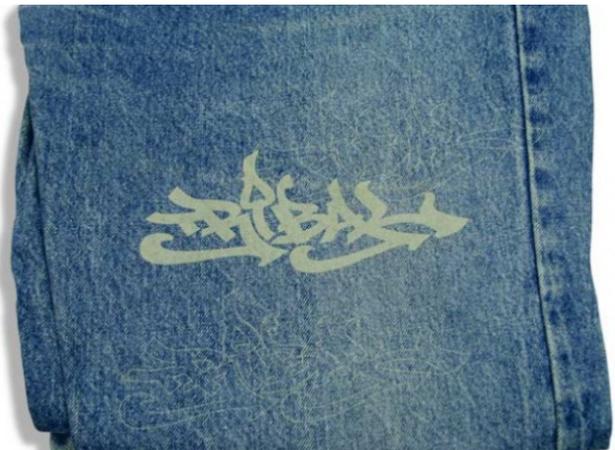


Figura 17 Etiquetas de QR Code de material multicamada (esq.) e calças de ganga personalizadas (dir.). [36][37]

Enquadramento no MetalShoe FabLab



No âmbito do projeto MetalShoe FabLab Network, apoiado pelo NORTE2020 e promovido pelos centros tecnológicos CTCP (Centro Tecnológico do Calçado de Portugal) e CATIM (Centro de Apoio Tecnológico à Indústria Metalomecânica), foi prevista a disponibilização de um conjunto diversificado de referenciais técnicos que abordam as diferentes tecnologias, soluções e ferramentas a disponibilizar nos espaços laboratoriais preparados no âmbito do projeto em cada um dos centros.

Este referenciais visam explicar as potencialidades destas tecnologias e apresentar alguns exemplos e casos de estudo, auxiliando na perceção das oportunidades que poderão advir destas interações. Entende-se assim, que esta é uma forma de apoiar a indústria do calçado e da metalomecânica no uso de tecnologias avançadas e na manufatura de produtos inovadores, pelo uso de tecnologias, algumas delas emergentes, outras já com alguma penetração no tecido industrial, mas ainda sem uso generalizado por estes setores.

No caso em concreto do presente referencial, este centra-se na tecnologia laser, nomeadamente, corte e gravação a laser, e visa apresentar a tecnologia, as suas raízes, vantagens e desvantagens e também refletir sobre a sua aplicabilidade.

O que temos

No MetalShoe FabLab CATIM dispomos de uma Plotter Laser (PortLaser PTL 1060), Figura 18, com um Laser de CO₂ e com uma potência de 90 W. A área de corte/gravação é de 1000x600 mm. O material base (placas) onde se faz o trabalho de corte/gravação pode ter a segunda dimensão maior pois o equipamento dispõe de abertura frontal e posterior para acomodar placas de dimensões superiores (1000x600+X mm) e assim haver deslocamento na zona de trabalho.

Já no FabLab nas instalações do CTCP, o equipamento de corte e gravação laser é um Flux BeamBox Pro, Figura 19, equipado com um laser CO₂, com uma potência máxima de 50 W e uma área de trabalho de 600 x 360 mm. Este equipamento permite cortar madeiras, acrílicos, têxteis, materiais naturais, entre outros, até uma espessura máxima de 12 mm (dependendo do material a cortar), e gravar uma ampla variedade de diferentes materiais.

O que podemos fazer

Com este equipamento é possível fazer cortes e/ou gravações nos seguintes materiais/itens: papel/cartão, têxteis, peles, calçado, madeira, pedra, metal anodizado, acrílico, chapas multicamada, entre outros. O processo de gravação é de aplicação mais abrangente, comparativamente com o processo de corte, pois a potência do laser limitará a espessura máxima para cada material.



Figura 18 Sistema de corte a laser Portlaser.



Figura 19 Equipamento de corte e gravação a laser Flux, disponível nas instalações do CTCP.

Tabela VII Materiais possíveis para o equipamento disponível.

Materiais	Corte	Gravação
Acrílico (max. 10 mm)	X	X
Borracha/ Silicone	X	X
Plásticos (consultar FabLab)	X	X
Poliéster	X	X
Vinil	X	X
Madeira / MDF / contraplacado	X	X
Cortiça	X	X
Metais anodizados / Lacados		X
Latão		X
Papel /Cartão	X	X
Couro / cabedal	X	X
Fibra de vidro	X	X
Têxteis	X	X

O MetalShoe FabLab tem disponível como software de edição e preparação de ficheiros o LightBurn [21] mas com funcionalidades de edição limitadas comparativamente com outras soluções de desenho vetorial. Os formatos de ficheiro usuais, para uso nestas aplicações, são em *.AI, *.EPS, *.PDF, *.DXF, *.SVG, *.TIFF e *.JPEG.

A preparação dos desenhos para enviar ao equipamento deve ter linha vermelha (espessura 0.01 pt) para corte, e para gravação (linha ou preenchimento) a preto. O que não podemos utilizar neste equipamento: materiais que libertam substâncias tóxicas e/ou que danificam o equipamento (efeitos de corrosão), nomeadamente PVC, Teflon, materiais refletores, materiais e sensíveis ao calor.

Nas figuras Figura 20 e Figura 21 são apresentados alguns dos trabalhos possíveis de fazer no equipamento de corte e gravação laser no CTCP. É usual iniciar-se o processo com matrizes de teste de parâmetros (potência e velocidade) para definir melhor o processo de corte e/ou gravação específico de cada material, sendo depois possível de personalizar componentes de calçado como palmilhas ou gáspeas para a montagem de calçado.

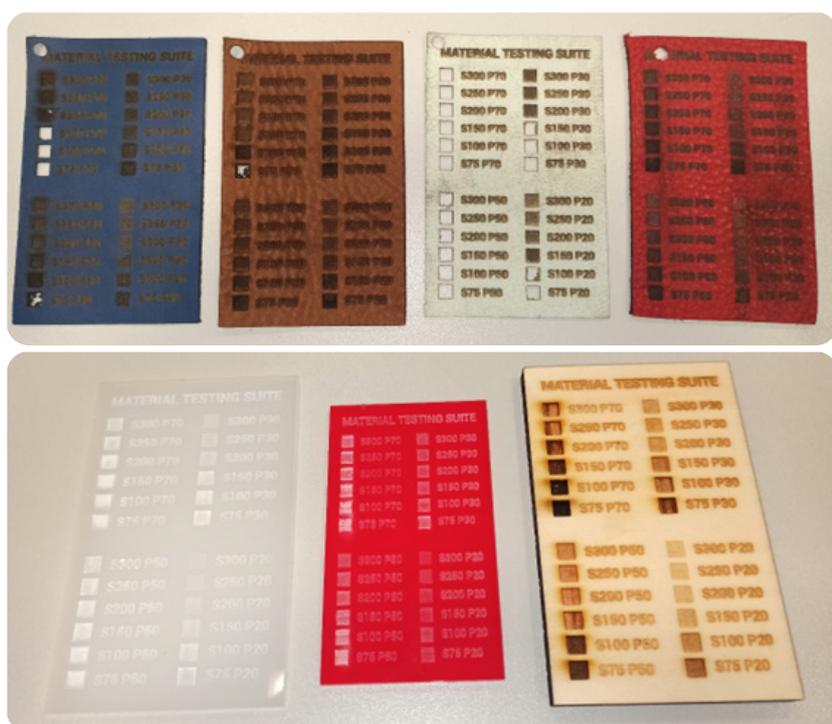


Figura 20 Materiais testados no equipamento de corte e gravação laser do CTCP. Materiais flexíveis, como peles e couros (em cima) e materiais rígidos, como acrílico e madeira (em baixo).

Figura 21 Componentes de calçado personalizados por gravação a laser.



BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Einstein, "The Quantum Theory of Radiation," *Phys. Zeitschrift*, vol. 18, p. 121.
- [2] T. H. Maiman, "Stimulated Optical Radiation in Ruby," *Nat.* 1960 1874736, vol. 187, no. 4736, pp. 493–494, 1960, doi: 10.1038/187493a0.
- [3] F. Jesus Mourão and C. Lda Maria Ermelinda Ribeiro Da Silva, "INSTALAÇÃO, TESTE E LANÇAMENTO EM EXPLORAÇÃO DE EQUIPAMENTO DE CORTE POR LASER," 2008.
- [4] W. M. Steen and J. Mazumder, "Laser material processing: Fourth edition," *Laser Mater. Process. Fourth Ed.*, pp. 1–558, 2010, doi: 10.1007/978-1-84996-062-5/COVER.
- [5] A. Lasagni, "Introduction to laser processing: the laser beam, a tool for multiple applications," 2019.
- [6] R. Nayak and R. Padhye, "The use of laser in garment manufacturing: an overview," *Fash. Text.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–16, Dec. 2016, doi: 10.1186/S40691-016-0057-X/TABLES/4.
- [7] M. I. Bahtiyari, "Laser modification of polyamide fabrics," *Opt. Laser Technol.*, vol. 43, no. 1, pp. 114–118, Feb. 2011, doi: 10.1016/J.OPTLASTEC.2010.05.014.
- [8] N. N. Il'ichev, "Principles of solid-state lasers," *Handb. Solid-State Lasers Mater. Syst. Appl.*, pp. 171–192, Feb. 2013, doi: 10.1533/9780857097507.2.171.
- [9] J. Meijer, "Laser beam machining (LBM), state of the art and new opportunities," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 149, no. 1–3, pp. 2–17, Jun. 2004, doi: 10.1016/J.JMATPROTEC.2004.02.003.
- [10] A. P. Mackwood and R. C. Crafer, "Thermal modelling of laser welding and related processes: a literature review," *Opt. Laser Technol.*, vol. 37, no. 2, pp. 99–115, Mar. 2005, doi: 10.1016/J.OPTLASTEC.2004.02.017.
- [11] J. Almeida, "Conversão de um processo de soldadura manual em soldadura automática," Universidade do Porto, 2018.
- [12] E. G. J. L. Lima, "O corte a laser: da teoria à máquina," 1997.
- [13] J. Dutta Majumdar and I. Manna, "Laser processing of materials," *Sadhana* 2003 283, vol. 28, no. 3, pp. 495–562, 2003, doi: 10.1007/BF02706446.
- [14] "Diferença entre Corte Laser de Fibra e Laser de CO₂."
- [15] W. Rath and C. Brettschneider, "Industrial Laser Materials Processing," *Laser Tech. J.*, vol. 11, no. 4, pp. 23–27, Sep. 2014, doi: 10.1002/LATJ.201400037.
- [16] "Technology considerations for laser welding tubes and pipes."

- [17] H. Lee, C. H. J. Lim, M. J. Low, N. Tham, V. M. Murukeshan, and Y.-J. Kim, "Lasers in Additive Manufacturing: A Review," *Int. J. Precis. Eng. Manuf. Technol.*
- [18] "O processo de corte a Laser."
- [19] "How Does Laser Cutting Work?"
- [20] S. Q. Xie et al., "Integrated and concurrent approach for compound sheet metal cutting and punching," <http://dx.doi.org/10.1080/00207540010022359>, vol. 39, no. 6, pp. 1095-1112, Apr. 2010, doi: 10.1080/00207540010022359.
- [21] "<https://www.eurolaser.com/hu/laser-systems/processing-methods-in-comparison/processing-of-textiles/>."
- [22] "<https://www.eurolaser.com/hu/laser-systems/processing-methods-in-comparison/processing-of-plastic-foils/>."
- [23] "<https://www.eurolaser.com/hu/laser-systems/processing-methods-in-comparison/processing-of-wood-and-veneer/>."
- [24] "<https://www.eurolaser.com/hu/laser-systems/processing-methods-in-comparison/processing-of-acrylic/>."
- [25] "<https://thinklaser.com/casestudy/laser-marking-anodised-aluminium-cases/>."
- [26] "<https://thinklaser.com/casestudy/laser-marking-anodised-aluminium-equipment-front-panels/>."
- [27] "<https://thinklaser.com/casestudy/deep-laser-engraving-tooling-inserts/>."
- [28] "<https://thinklaser.com/casestudy/laser-engraving-gold-jewellery/>."
- [29] "<https://www.goldenlaser.cc/solutions/laser-cutter-and-shoes-a-perfect-match/>."
- [30] "<https://thinklaser.com/casestudy/adidas-trainer/>."
- [31] "<https://thinklaser.com/casestudy/leather-shoe/>."
- [32] "<https://thinklaser.com/casestudy/shoe-dunklady/>."
- [33] "<https://www.goldenlaser.cc/laser-solutions/sublimation-sportswear/>."
- [34] "<https://www.goldenlaser.cc/laser-solutions/adhesive-label-reflective-tape/>."
- [35] "<https://www.goldenlaser.cc/laser-solutions/cutting-carpet-mat-rug/>."
- [36] "<https://thinklaser.com/casestudy/denim-jeans/>."
- [37] "<https://thinklaser.com/casestudy/laser-engraving-multi-layer-laminate-address-tag/>."



METALSHOE

FABLAB NETWORK