

Muito intenso: simulação numérica da “bolha” criada pela pressão de radiação de um laser ultra.intenso propagando-se num plasma.  
Crédito: GoLP/IPFN/IST/Silva

# ELI – o deus da Luz

**Marta Fajardo e Nelson Lopes**

GoLP, Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear,  
Instituto Superior Técnico

**QUAL É O LASER MAIS POTENTE QUE OS CIENTISTAS PODEM ESPERAR CONSTRUIR? SE CONSEGUIRMOS CONCENTRAR TODA ESSA POTÊNCIA NUM PONTO, CONSEGUIREMOS FAZER NASCER MATÉRIA A PARTIR DA LUZ?**

**ESTA É UMA DAS 100 QUESTÕES DA CIÊNCIA PARA AS QUAIS, SEGUNDO A REVISTA SCIENCE, DEVEMOS PROCURAR UMA RESPOSTA NAS PRÓXIMAS DÉCADAS.**

A resposta pode estar próxima. Um grupo de cientistas, liderado por Gérard Mourou em França, quer fazer deste sonho uma realidade, construindo o ELI, o laser mais potente do mundo, a partir de uma técnica que permite concentrar energias extremas em durações infinitesimais. As suas previsões mostram que, focando o ELI num ponto

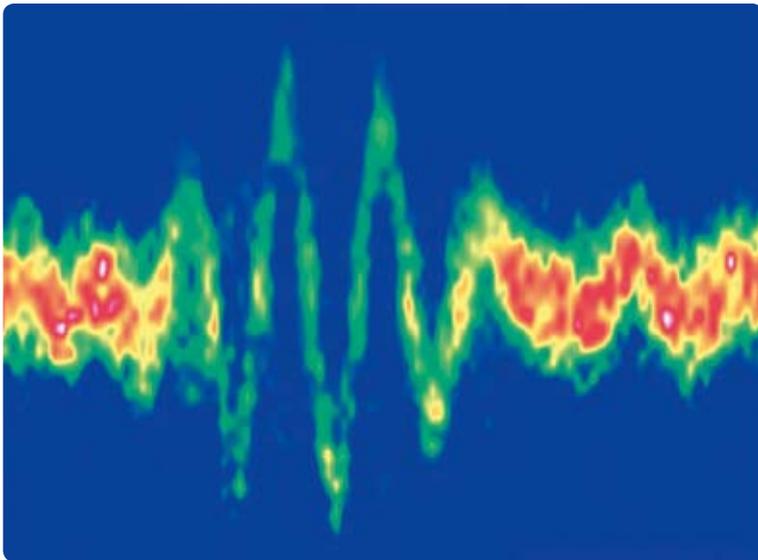
mais pequeno do que um milésimo de uma cabeça de alfinete, a densidade de energia será tal que começaremos a “ferver o vácuo”, fazendo nascer matéria e anti-matéria, como no início dos tempos.

Não é por acaso que o laser foi baptizado ELI – expressão que, além de representar a sigla para Extreme Light Infrastructure (Infraestrutura de Luz Extrema), significa também “Deus” em hebraico.

## O INÍCIO

Uma vez traçado o objectivo, foi necessário passar aos planos concretos. Como realizar o laser mais potente do mundo? Quanto irá custar? Como o vamos financiar? Vamos mesmo conseguir “ferver vácuo” com as tecnologias laser actuais? E o laser “só” servirá para isso ou permitirá desbravar novas fronteiras da Ciência?

Para responder a estas questões, o Fórum Europeu de Estratégias para Infraestruturas de Investigação, ou ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructures), deu o embalo necessário. Esta entidade foi criada para desenvolver uma política integrada de desenvolvimento das infraestruturas de investigação, a nível europeu. Em Outubro de 2006, o ESFRI apresentou um documento



Ultra-rápido: a imagem mostra a visualização directa do campo eléctrico da luz visível e constitui a medição mais rápida alguma vez realizada (Science, 27 de Agosto de 2004) Crédito: Eleftherios Goulielmakis

(roadmap) em que identificou as novas infraestruturas em que a Europa deverá apostar nos próximos 10 a 20 anos, para que se posicione como líder na investigação mundial. E uma das escolhidas foi precisamente o ELI.

O projecto passou então de um sonho de alguns investigadores entusiastas a uma equipa de trabalho envolvendo mais de uma centena de cientistas, gabinetes técnicos e jurídicos. Durante três anos, esta equipa trabalhará em conjunto para resolver todas as questões necessárias para que o ELI possa começar a ser construído em 2012. Esta é a fase em que nos encontramos actualmente: a do ELI-PP ou ELI-Preparatory Phase.

## O LASER ELI

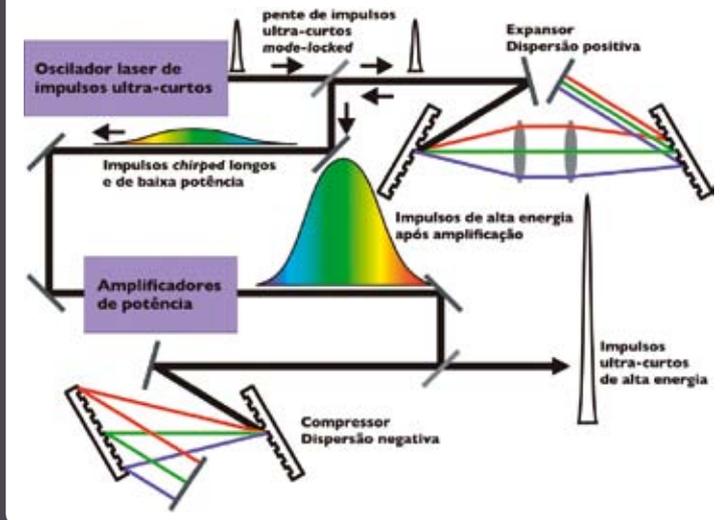
Mas que forma tomará um laser suficientemente intenso para fazer nascer matéria da luz? Os físicos teóricos calculam que para que se observem estes efeitos, no chamado regime “ultra-relativista”, será preciso alcançar uma potência luminosa de 100 petawatts ( $100 \times 10^{15}$  Watts). Este valor é incrivelmente elevado – para termos um termo de comparação, hoje em dia os lasers mais potentes atingem valores da ordem de 1 petawatt; e só isto já representa dez vezes a potência de todas as centrais nucleares do planeta em conjunto. Como será então possível? O “segredo” está na definição de potência: de facto, é uma medida da energia gerada por unidade de tempo. As centrais eléctricas têm que produzir quantidades enormes de energia em contínuo. Mas os lasers acumulam uma quantidade modesta de energia durante algum tempo e libertam-na numa fracção de segundo, como o *flash* de uma máquina fotográfica. Estes *flashes* de luz atingem intensidades extremamente elevadas mas não por muito tempo: apenas alguns femtosegundos, isto é, milésimos de bilionésimo de segundo, ou o tempo que a luz demora a percorrer alguns micrómetros.

Quando pediram a Charles H. Townes, prémio Nobel e inventor do maser (o “laser de microondas”) que desse uma definição do laser, este disse que era “a luz que ilumina

a direita”. Este é o outro “segredo” que permitirá gerar intensidades luminosas nunca antes alcançadas, num minúsculo ponto do espaço e do tempo. Com efeito, a luz laser não se espalha por todas as direcções, mas forma um pacote de luz que viaja em conjunto numa direcção precisa – a direita. Podemos disparar um laser para a lua e ver ao telescópio o pontinho luminoso na superfície – isso já foi feito! Esta propriedade da luz laser, a sua coerência, é também a que nos permite desenvolver sistemas ópticos em que obrigamos todo um feixe luminoso a concentrar-se num ponto tão pequeno como o comprimento de onda da luz. Na região do infravermelho, adoptada pela tecnologia padrão actual, isto representa um foco de apenas alguns micrómetros. Segundo as especificações actualmente definidas para o ELI, conseguiremos concentrar uma energia de 3600 Joules num volume de um micrómetro cúbico. Com uma densidade tal de energia – sob forma de luz – concentrada num ponto do espaço-tempo, esperamos então começar a ver surgir matéria e anti-matéria a partir do vácuo.

## AS FONTES SECUNDÁRIAS

O ponto de partida – a fase ELI-PP – consiste no estabelecimento de um programa científico detalhado. Este contempla não só a obtenção de intensidades ultra-elevadas mas também um vasto programa de desenvolvimento e utilização das chamadas fontes secundárias: trata-se de uma vasta gama de fontes de partículas e radiação que podem ser produzidas utilizando um ou mais dos doze feixes laser que formarão o ELI. Esta versatilidade vai permitir a utilização combinada destas fontes e dos feixes laser em experiências únicas. Presentemente trabalha-se na definição destas fontes secundárias que compreendem, para já, a geração de impulsos coerentes de radiação ultravioleta e raios-x com duração de attosegundos ( $10^{-18}$  s), lasers de raios-x de elevada energia, feixes de electrões produzidos por interacção laser-plasma, a aplicação destes à geração de radiação por lasers de electrões livres e a geração de feixes de prótons e iões por interacção laser-matéria. Para que servem estas fontes ditas “secundárias”? Estas novas fontes de radiação e partículas produzidas por lasers intensos tem algumas aplicações óbvias, estando algumas já testadas, e têm um enorme potencial para novas aplicações, porque com o actual e futuro desenvolvimento dos lasers poderão tornar-se em fontes compactas, dispensando a prazo grandes instalações. Todo este potencial torna-as, tal como o próprio laser foi apelidado nos anos 60, em “soluções à procura de problemas”. No entanto, a intensa actividade nesta área da ciência está a abordar já alguns destes problemas, para os quais a tecnologia actual já



Esquema óptico simplificado de um laser CPA

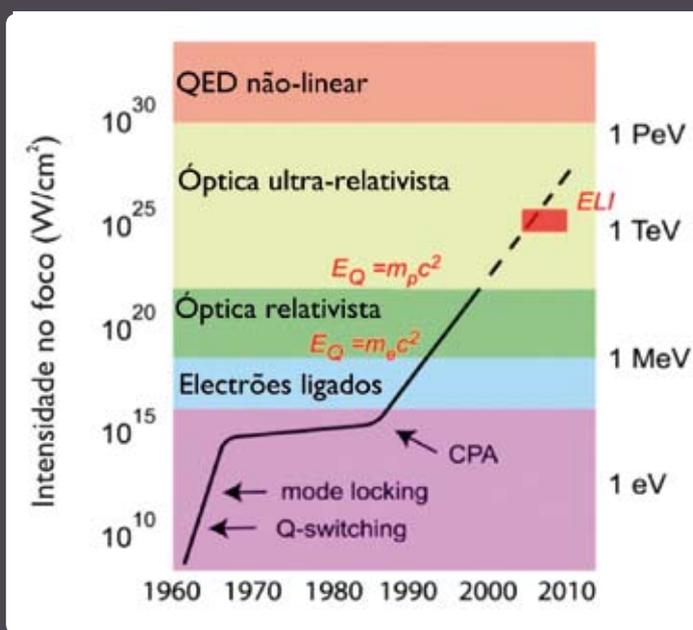
Os impulsos laser ultra-curtos são produzidos por um tipo específico de laser chamado oscilador *mode-locked*. Estes impulsos têm um banda espectral larga, e ao passarem por um percurso óptico com dispersão (por exemplo, criado com pares de redes de difração ou prismas) as diferentes frequências vão desfazer-se, criando um efeito de trinado – uma distribuição das diversas “cores” pelo tempo – e aumentando a duração do impulso. Na técnica CPA, assim que o impulso sai do oscilador a sua duração é aumentada (e, conseqüentemente, a potência diminuída) por um factor de cerca de dez mil, num componente do laser chamado *expansor*, baseado em redes de difração. A isto segue-se a amplificação, de forma segura, numa cadeia de amplificadores de potência, onde a energia cresce enquanto as diferentes frequências se mantêm espaçadas. Finalmente, quando se atinge a energia desejada, as frequências são outra vez sobrepostas, e a duração diminui até próximo da inicial. Este processo tem lugar no elemento chamado *compressor*, que consiste igualmente num par de redes de difração, mas com uma dispersão oposta à do expansor. Nos lasers de alta potência o compressor é colocado em vácuo uma vez que a propagação no ar degradaria os impulsos comprimidos. Estes são por fim propagados até ao alvo e focados utilizando unicamente elementos ópticos reflectores com revestimentos dieléctricos multi-camadas de alta resistência.

pode oferecer soluções.

Por exemplo, com impulsos de attosegundos podemos medir, interferir e até controlar processos electrónicos em superfícies, moléculas ou átomos. Além disso, os impulsos de attosegundos podem ser a porta para intensidades ainda mais elevadas, se forem desenvolvidas técnicas de amplificação de energia. Com os impulsos de raios-x intensos produzidos em lasers de plasmas, ou em lasers de electrões livres, podemos tirar fotografias ultra-rápidas de processos envolvendo matéria muito densa (opaca à radiação visível), como, por exemplo, os alvos de fusão nuclear comprimidos.

## CPA: A REVOLUÇÃO LASER DOS ANOS 90

A amplificação de impulsos laser de muito curta duração não é possível, porque rapidamente se atingem intensidades demasiado elevadas que acabam por danificar os elementos ópticos dos amplificadores. Além disso, a simples propagação em meios materiais, como o vidro ou o mesmo o ar, dá origem a efeitos não lineares que destroem as boas propriedades do impulso. A revolucionária técnica *Chirped Pulse Amplification* (CPA, ou amplificação de impulsos com trinado), desenvolvida nos anos 80 por Gérard Mourou – o coordenador do projecto ELI – veio resolver este problema de forma elegante. Esta técnica é esquematizada na Figura 2.



Evolução da intensidade (potência a dividir pela área do foco) dos lasers pulsados

No programa ELI pretende-se levar a técnica CPA ao extremo produzindo até doze impulsos laser com potências superiores a 100 Petawatt ( $10^{17}$  W), que podem ser sobrepostos em fase sobre um alvo atingindo intensidades superiores a  $10^{25}$  W/cm<sup>2</sup>, bem dentro do chamado regime ultra-relativista.

Podemos também utilizar essa luz intensa para transportar energia com precisão para dentro dessa matéria densa. Existe ainda a aplicação evidente destes impulsos como diagnóstico médico de elevada precisão. Com os feixes de electrões, produzidos em aceleradores laser-plasma ultra-compactos, temos acesso a feixes de partículas relativistas com correntes elevadas para aplicações como os lasers de electrões livres, onde a corrente é um parâmetro essencial. O futuro desenvolvimento de lasers intensos de alta taxa de repetição (talvez um ELI 2), poderá mesmo vir a permitir a geração de feixes de electrões para a física das altas energias. Por fim, com os feixes de protões ou iões produzidos na interacção de lasers intensos com

[1]Science 309, 78 (1 Jul. 2005)

folhas sólidas, poderemos depositar energia dentro de corpos sólidos com elevada precisão, tal como em tratamentos oncológicos ou em alguns processos industriais. Podemos ainda produzir corantes radioactivos para usar em diagnósticos médicos, tirar radiografias de objectos densos, produzir feixes de neutrões a serem utilizados em testes de materiais, e fazer a transmutação da matéria, que pode ser aplicada em técnicas de tratamento de resíduos radioactivos.

No ELI-PP definem-se também as especificações para os feixes laser necessários. Uma vasta equipa de "laseristas" planeia já como se pode levar a tecnologia CPA (ver caixa) a um nível sem precedentes, aumentando em mais de duas ordens de grandeza não só a potencia máxima mas também o contraste dos impulsos mais potentes produzidos actualmente. Também a qualidade e reprodutibilidade dos impulsos laser terá de superar o actual estado-da-arte, de modo a que as fontes secundárias tenham a qualidade necessária para passarem do desenvolvimento às aplicações, como se pretende neste projecto.

Com a especificação das fontes secundárias e do programa científico, foi também possível definir um conjunto de espaços experimentais com características próprias a implementar na futura instalação. O passo seguinte será a previsão da radiação presente nestes espaços e a elaboração de um plano de protecção radiológica adequado: de facto, a intensidade sem precedentes e uma elevada taxa de repetição dos disparos do ELI colocarão novos problemas de protecção radiológica, cuja resolução exigirá um grande esforço tecnológico e organizacional só possível numa grande instalação. Por fim, o projecto da instalação será iniciado assim que termine a fase preliminar da protecção radiológica, e deverá estar concluído no final de 2010.

Mas a fase preparatória incluirá ainda muitas outras tarefas, tais como a escolha da localização da instalação (até ao final de 2008), a sensibilização de possíveis utilizadores das novas fontes de radiação e partículas disponíveis no ELI, o apoio à formação avançada dos recursos humanos necessários a este programa, bem como a organização de reuniões científicas no âmbito do programa ELI. Serão três anos de trabalho intenso do qual resultará a completa definição daquele que será o mais potente laser alguma vez construído.

## A PARTICIPAÇÃO PORTUGUESA NO ELI-PP

Luís Silva do Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Laboratório Associado, é o interlocutor do projecto ELI-PP em Portugal. Nelson Lopes coordena o grupo de trabalho que irá definir as fontes de radiação (laser, raios-x, raios-gama) e partículas anexas (prótons, iões) que se poderão oferecer para os utilizadores em 2013. O resultado deste trabalho irá condicionar as escolhas de construção da infra-estrutura final, em termos de *beamline* ou salas de experiências dedicadas, e em termos de protecção radiológica necessária. Marta Fajardo é a coordenadora do programa de Redes Internacionais e Comunicação. A seu cargo ficará a agregação da comunidade de potenciais utilizadores deste novo laser, que deverá ir desde os tradicionais experts em plasmas e fotónica, até às comunidades de nanotecnologias, materiais, biologia estrutural, astrofísica e física das partículas, pouco habituadas a trabalhar com lasers actualmente. Este será um dos grandes projectos europeus do futuro e necessitará de mais de quatrocentos cientistas e engenheiros altamente qualificados. Se és um estudante de Física e/ou engenharia e gostas de ciência e engenharia extremas podes juntar-te a esta aventura.



**Marta Fajardo** licenciou-se em Engenharia Física Tecnológica no Instituto Superior Técnico em 1997, e doutorou-se pelo Instituto Superior Técnico e pela Ecole Polytechnique em França em 2001. Foi Investigadora Pós-Doutorada pelo Centre National de Recherche Scientifique em 2002 no Laboratoire d'Optique Appliquée em França, tendo regressado para o Centro de Física dos Plasmas em 2003 como bolsista da Fundação para a Ciência e Tecnologia. É desde 2005 Investigadora Auxiliar no Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Laboratório Associado do Instituto Superior Técnico, na área de Lasers de Raios-X e aplicações.

**Nelson Lopes** é investigador do Grupo de Lasers e Plasmas do Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Instituto Superior Técnico. Presentemente desenvolve aceleradores de electrões utilizando a interacção de lasers intensos com plasmas. Desde Fevereiro de 2008 coordena o grupo de trabalho do projecto ELI-PP que tem por objectivo definir as fontes de radiação e partículas a desenvolver e instalar no âmbito deste projecto.

