

# grafite a partir de biochar: uma via com interesse?

Com base num levantamento das várias vias tecnológicas para a produção de biochar a partir de biomassa, nomeadamente residual, tendo em vista a sua valorização, com foco em utilizações específicas com interesse nacional, aborda-se e discute-se a possibilidade da produção de grafite (a partir do biochar) a nível nacional, uma matéria-prima crítica tão necessária à fileira das baterias/armazenamento de energia, de forma a determinar a possibilidade de promover e instalar no nosso país uma fileira neste domínio, promovendo a sustentabilidade, circularidade e sequestro de carbono, assim como a independência/resiliência nacional neste domínio.

Luís Gil

Investigador Coordenador

Divisão de Estudos de Sustentabilidade Energética

Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG)

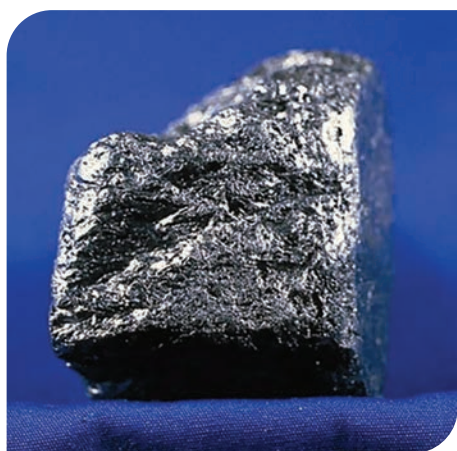


Figura 1. Amostra de biochar (Via Wikimedia Commons).

## Introdução

Durante milhares de anos, o carvão vegetal tem sido um dos materiais básicos da civilização. O uso mais comum do carvão vegetal era para cozinhar, aquecer e combustão lenta na produção de ferramentas de metal (1).

O biochar inclui o carvão vegetal produzido pela combustão parcial (carbonização ou queima lenta) de materiais orgânicos carbonosos, como árvores e plantas. Na ausência ou fornecimento parcial de oxigénio durante a combustão, o processo inibe a combustão completa do material de origem (2). O biochar tem sido correntemente utilizado para fins específicos, como a correção do solo e a captura e armazenamento de carbono (2), mas tem também outras possíveis

aplicações como a incorporação em materiais de construção (3) e ainda, a nível energético, como auxiliar na produção de biometano e eventualmente até como combustível em determinadas situações específicas.

O carbono capturado na biomassa regressaria à atmosfera como  $\text{CO}_2$  através da decomposição da matéria-prima, sendo que o biochar representa uma forma de armazenamento de carbono que pode durar centenas de anos nas suas aplicações (4). O biochar é reconhecido pelo Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC) como uma tecnologia viável de emissão negativa. A produção e a utilização de biochar transferem carbono do ciclo biogénico rápido para um ciclo muito mais lento, sequestrando-o em forma sólida (3).

Através de um processo de grafitação é possível transformar o biochar numa grafite. Devido à elevada procura de grafite comercial, obtida essencialmente por exploração mineira, procura-se uma matéria-prima alternativa preferencialmente com custos mais baixos e amiga do ambiente (5).

Se for possível promover e instalar uma fileira neste domínio a nível nacional, conseguir-se-á promover a sustentabilidade, circularidade e sequestro de carbono, assim como a independência/resiliência nacional neste domínio. Saliente-se que como apenas alguns países dominam as fontes naturais de grafite extraída em todo o mundo, a grafite foi classificada como material com "risco de abastecimento" e tornou-se numa das principais preocupações globais (6).

Além disto existe o aspeto ambiental. Apenas a título de exemplo, a referência (3) menciona que estudos recentes reportam uma pegada de carbono líquida média de cerca de -2,0 a -3,3 kg de  $\text{CO}_2$  equivalente por quilograma de biochar produzido, dependendo do tipo de matéria-prima, dos métodos de produção e da utilização final. Uma análise estimou mesmo que a conversão de resíduos agrícolas globais em biochar poderia sequestrar cerca de 500 milhões de toneladas de  $\text{CO}_2$  anualmente, aproximadamente 1,5% das emissões mundiais.

Um dos grandes desafios que se colocam na transição energética, em sistemas de conversão e armazenamento de energia a nível da eletrificação é o fornecimento e o custo dos materiais utilizados nos eletrodos. No caso da grafite, sendo a biomassa considerada um precursor de carbono de eleição, dada a sua abundância, sustentabilidade e baixo custo (7), teremos uma via interessante a prosseguir. A possibilidade de utilizar eletrodos de carbono, quer em dispositivos de armazenagem quer na conversão de energia, torna o seu desenvolvimento tecnológico crucial no processo de transição energética.

A DGEG está a desenvolver um trabalho de investigação que engloba a avaliação das possíveis matérias-primas biomássicas disponíveis que poderão servir de base à produção de biochar, tendo em consideração também um levantamento das possíveis tecnologias de produção de biochar a partir destas e eventual posterior transformação em grafite, de forma a ter informação disponível para a implementação de

uma fileira que, com base em recursos endógenos, possa obviar a falta de um material crítico tão necessário para a transição energética. Este artigo faz uma primeira abordagem exploratória a este tema.

**O biochar é reconhecido pelo Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC) como uma tecnologia viável de emissão negativa.**

### Biochar e grafite

Sucintamente, o biochar é produzido por meio da pirólise da biomassa, um processo que envolve decomposição térmica num ambiente com oxigénio limitado. Possui alto teor de carbono, estrutura porosa, excelentes propriedades de correção do solo e é estruturalmente estável. O biochar é, assim, amplamente utilizado para melhoria do solo e sequestro de carbono, ajudando a reduzir as emissões de gases de efeito estufa e a aumentar a produtividade agrícola (8). Para ser reconhecido como biochar de acordo com a International Biochar Initiative (2013) ou Delinat (2012), o material deve cumprir uma série de definições de propriedades do material que se relacionam tanto com o seu valor como com a sua segurança. Assim, nem todo biocarvão é biochar, sendo que este é um tipo específico de biocarvão que cumpre as normas de qualidade e produção definidas, por exemplo, através de certificações como o Certificado Europeu de Biochar (EBC)(9).

O teor de carbono do biochar pode também ser considerado como critério de definição devendo, segundo alguns autores, situar-se entre 50-80%, enquanto outros autores referem que o teor de carbono deve exceder pelo menos os 50%, e ter uma relação molar O/C inferior a 0,4 e uma relação molar H/C inferior a 0,6. A temperatura de carbonização também é por vezes considerada como critério, excluindo os biochars da torrefação e da carbonização hidrotérmica devido à temperatura ser inferior a 350 °C e ao baixo grau de carbonização (10).

Mais especificamente, o biochar é o produto sólido que, juntamente com um componente gasoso e líquido (bio-óleo), é obtido através da conversão termoquímica de biomassa lenhoce-lulósica e agrícola (exemplo: estilha, ramos, lamas da indústria papelreira, podas, palhas, cascas de frutos secos, entre outros). Os principais processos de conversão incluem a pirólise, a gaseificação e a carbonização hidrotérmica. A pirólise lenta é o processo preferido para a produção de biochar, mas podem ser consideradas outras tecnologias (11).

Este produto distingue-se pelo seu elevado teor de carbono e pela sua alta porosidade (caraterística interessante para aplicações não energéticas). Devido à sua porosidade (que depende da tecnologia e das condições de produção), pode ter uma superfície específica que pode atingir centenas de metros quadrados por grama ( $m^2/g$ ) (10).

Do mesmo modo, a grafite pode ser obtida por meio da mineração/escavação e posterior refinação de minérios naturais ou produzida por métodos sintéticos para criar grafite de alta pureza. É um material de carbono natural composto de camadas empilhadas e ordenadas de grafeno. É conhecido pela sua excelente condutividade elétrica, resistência ao calor e propriedades lubrificantes. É usada principalmente em grafites de lápis, lubrificantes, materiais de elétrodos, materiais refratários e como moderador em reatores nucleares, sendo também usada na produção de baterias e materiais condutores (8).

A grafite e os materiais à base de grafite, classificados como “*minerais estratégicos e críticos*” pelo governo dos EUA e pela União Europeia (UE), têm aplicações importantes em vários setores, como referido. Atualmente, a crescente procura de baterias, contribuiu para a expansão do mercado de grafite, resultando numa oferta restrita de grafite e num aumento dos preços deste material (12).

O biochar, por ser um material carbonáceo altamente poroso e rico em carbono, tem despertado interesse como precursor para diversos materiais avançados, incluindo a grafite sintética (13). O biochar contém carbono fixo em alta concentração, o que o torna, assim, um candidato promissor para ativação ou conversão em grafite por meio de tratamentos térmicos avançados. Para produzir 1 tonelada de biochar são normalmente necessárias 3 a 4 toneladas de biomassa (14). O potencial de utilização do biochar para diversas aplicações está relacionado com as suas propriedades (15).

O método ideal de produção de grafite a partir de biomassa pode ser dividido em duas etapas principais. A primeira é a produção de materiais com alto teor de carbono a partir dessa biomassa através do processo de pirólise/carbonização (entre 700 e 1200 °C). Segue-se a grafitização (a cerca de 2750 °C, >24h), que envolve a reestruturação da estrutura de carbono amorfo em carbono gráfico cristalino (16).

A grafite comercial atual pode ser categorizada em grafite natural e grafite sintética. A grafite natural é extraída de depósitos minerais naturais, sujeitos a restrições geográficas. A mineração/escavação de grafite causa geralmente danos ambientais significativos e a purificação da grafite envolve uma série de processos sensíveis em termos de energia e de produtos químicos. A maioria dos pós de grafite natural é atualmente

extraída e produzida na China e na Índia, que detêm 66% e 14% da produção mundial total, enquanto a produção de pós de grafite natural na Europa é inferior a 1% (12).

A grafite é uma matéria-prima correntemente utilizada em diversos setores, e a procura de grafite de alta qualidade tem aumentado nos últimos anos, especialmente como componente principal para baterias de iões de lítio. No entanto, a produção de grafite é atualmente limitada pela escassez de produção, pela distribuição geográfica desigual da sua exploração e pelos impactos ambientais significativos decorrentes do processamento convencional (16).

A satisfação das necessidades de grafite para limitar o aumento da temperatura global a 2 °C exigirá um aumento de 500% na produção até 2050, de acordo com um relatório recentemente publicado pelo Banco Mundial (17). Assim, a conversão de biochar em grafite utilizável nas baterias de iões de lítio, entre outras, poderá ajudar a satisfazer as necessidades de um mercado muito grande e em crescimento, aumentando o seu valor várias vezes.

Os materiais de grafite são assim produtos industriais vitais. Como referido, o rápido desenvolvimento das indústrias de baterias e de computadores eletrónicos incentivou uma grande procura de materiais de grafite (18). Mais concretamente refira-se que cada veículo ligeiro elétrico contém mais de 90 kg de grafite esférica revestida (a grafite é utilizada para fabricar o ânodo numa bateria de iões de lítio) e a pureza mínima exigida para a grafite para esta aplicação é de 99,95% (19).



**Figura 2.** Olival, origem de biomassa lenhosa das podas e caroço de azeitona (kallerna, CC BY-SA 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>, via Wikimedia Commons).

### Uma fileira nacional?

A biomassa lenhosa e os resíduos agrícolas são as matérias-primas mais estudadas para a produção de biochar devido às suas propriedades bioenergéticas atrativas (20).

O rendimento em biochar varia significativamente, estando esta variação diretamente associada a diversos fatores, nomeadamente o tipo de biomassa. Em condições hidrotérmicas

semelhantes, a biomassa lenhocelulósica (por exemplo, plantas lenhosas e herbáceas) produz normalmente maiores quantidades de biochar do que a biomassa não lenhocelulósica (10) (21).

A biomassa florestal residual (BFR), resultante das operações de exploração e gestão silvícola, constitui um recurso estratégico para a bioenergia e para o avanço de uma economia de baixo carbono. Uma outra possibilidade é a utilização de culturas energéticas. Podem também ser considerados resíduos agroindustriais.

**A grafite é uma matéria-prima correntemente utilizada em diversos setores, e a procura de grafite de alta qualidade tem aumentado nos últimos anos, especialmente como componente principal para baterias de iões de lítio.**

Centrando a metodologia adotada nos povoamentos de pinheiro-bravo e eucalipto, as principais espécies florestais de produção em Portugal, sujeitas a intervenções silvícolas regulares que asseguram uma produção contínua de biomassa e com base nas áreas de ocupação identificadas no Inventário Florestal Nacional 6 (ICNF, 2019), foi possível estimar um potencial teórico de produção de BFR na ordem dos 3 milhões de toneladas por ano (peso verde) (22). Contudo, a disponibilidade sustentável deste recurso depende de múltiplos fatores (exemplos: fisiográficos e logísticos) e através da análise integrada destas variáveis, foi definida uma taxa de disponibilidade realista de 70% para os povoamentos em estudo, resultando numa estimativa de cerca de 2,2 milhões de toneladas de BFR disponíveis anualmente.

A produção de azeite é uma atividade relevante no setor agroalimentar dos países mediterrânicos, incluindo Portugal. A produção de azeite assume em Portugal lugar cimeiro no setor agrícola estando o país no grupo dos dez maiores produtores de azeite do mundo. De acordo com a Associação de Olivicultores e Lagares de Portugal (OLIVUM), da produção de cerca de 1,2 milhões de ton/ano de azeitona no nosso país são originadas mais de 150 mil ton/ano de caroço de azeitona (CA) (23).

Tendo em consideração as características dos subprodutos do lagar de azeite, nomeadamente o caroço, com teor de carbono na ordem dos 50% a sua utilização como precursor na preparação de materiais carbonosos, justifica-se plenamente, dado que este tem uma maior proporção de carbono (C) do que a biomassa original (10). O mesmo se passa relativamente à BFR, pelo que para a produção de biochar, em termos nacionais, parecer ser de concluir que se deve apon-tar para esta BFR e para o caroço de azeitona. Mas pode haver outras biomassas a considerar,

como a de infestantes lenhosas ou de espécies lenhosas de rápido crescimento.

Temos assim um universo de matéria-prima residual com origem na exploração florestal e indústria agroalimentar a nível nacional que pode servir de base a uma fileira que posteriormente passará pela produção de biochar, finalizando com a produção de grafite em fase subsequente.

Em termos de seleção dos locais ideais para a instalação de uma ou várias unidades de produção de biochar chama-se a atenção para o trabalho descrito em (24) em que são identificados locais ideais para instalações de produção de biochar numa determinada zona geográfica, utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Análise Multicritério de Decisão (AMCD). Esta poderá ser uma ferramenta a utilizar no caso nacional.

Numa recente visão geral do mercado do biochar (25), assinalava-se que estava a registar um crescimento significativo, com alguns especialistas a referirem-se a este como "ouro negro". Avaliado em 600 milhões de dólares em 2023, nessa perspetiva, o mercado global de biochar deveria crescer para quase 3,5 mil milhões de dólares até 2025.

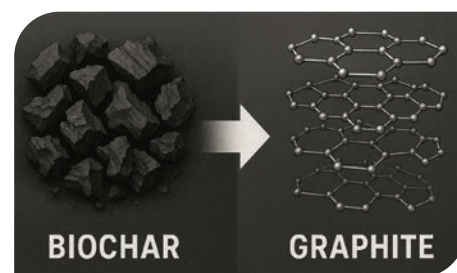
Várias são as informações bibliográficas que referem o preço médio do biochar (3) (25) (26) (27) a partir das quais podemos obter um valor indicativo médio para o biochar de 550 €/t.

Em termos de grafite a estimativa do seu preço é mais difícil. Pode-se encontrar alguns preços *online*, mas na maioria dos casos, há uma disparidade enorme. Com base nalgumas referências (19) (28) (29) (30) pode-se considerar um valor médio arredondado de 5000 €/t.

Em termos de investimento necessário para uma instalação para a produção de biochar refira-se o que vem indicado em (31) onde se descrevem os custos iniciais mínimos e máximos estimados para os componentes essenciais. Os investimentos iniciais podem variar entre aproximadamente 150 mil dólares para uma operação local de pequena escala e mais de 5 milhões de dólares para uma grande instalação de nível industrial com tecnologia avançada. E refere-se num retorno do investimento (31) para uma empresa de produção de biochar, variando geralmente entre 15% e 35% ao ano.

Em termos de volume de negócio associado podem ser tecidas algumas considerações para o nosso país. Partindo de um determinado volume de biomassa considerada adequada, sabendo o rendimento médio de produção de biochar a partir desta, assim como o da grafite e considerando um preço médio para estes produtos, poderemos ter um cálculo estimativo do volume de negócio possível, que pode ser afinado com alteração dos vários parâmetros de cálculo, podendo, naturalmente, serem idealizados vários cenários.

Por exemplo, num cenário de utilização de 10% da BFR e 50% do CA disponíveis anualmente (ver atrás), considerando a eficiência da pirólise lenta e a conversão média de biomassa em biochar e os preços médios da biomassa e biochar, foi possível



**Figura 3.** Obtenção de grafite (estrutura ordenada) a partir de biochar (Imagem gerada por Copilot).

chegar a um volume de negócio anual de cerca de 62 milhões € (considerando que toda esta biomassa considerada será transformada em biochar) ou de cerca de 146 milhões € (considerando que toda a biomassa/biochar considerada(o) é utilizada(o) na produção de grafite). Nestes valores não foi considerado o valor do bio-óleo gerado.

Saliente-se que estes valores podem ser facilmente alterados se considerarmos diferentes cenários de utilização da biomassa, quer no que se refere aos dois tipos mencionados quer à eventual introdução de culturas energéticas adequadas ou outras espécies lenhosas, ou ainda aos valores dos produtos biochar e grafite ou mesmo à fração da utilização do biochar utilizado para produzir grafite.

Pensando na grafite aplicada na produção de baterias de lítio, pode ainda acrescentar-se que o peso de uma bateria de iões de lítio de um carro elétrico varia significativamente, mas geralmente fica entre 200 e 700 kg, com um peso médio de cerca de 450 kg. Como exemplo refira-se que a de um Tesla Model S pesa aproximadamente 544 kg, enquanto um Renault Zoe tem uma bateria de cerca de 326 kg. Sendo que a grafite representa 10-30% do peso da bateria, temos que em média cada veículo usa 90 kg de grafite. Assim, as cerca de 300 mil toneladas de biomassa disponível para este fim (cenário 10% BFR + 50% CA), segundo o cenário acima, poderiam ser transformadas em 29 250 toneladas de grafite o que equivaleria a grafite suficiente para as baterias de cerca de 325 mil viaturas, valor superior ao número de automóveis novos vendidos atualmente em Portugal (entre 2023 e 2025 esse número variou de cerca de 230 a 260 mil).

### Conclusões

Pretendeu-se dar um contributo, num contexto de bioeconomia circular, para a descarbonização da economia e para a mitigação das alterações climáticas ao estudar a utilização de recursos residuais biomássicos para produzir materiais estratégicos de base biológica para fins ligados à transição energética e à substituição de matérias-primas/materiais críticos e reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> antropogénico e de outros Gases de Efeito de Estufa.

A nível da UE, em termos de contexto legislativo assiste-se a uma aposta na bioeconomia circular e sustentável (10) (32) (33) (34) (35) com grande foco na utilização de resíduos e desperdícios de natureza alimentar e agrícola, entre outros (10) (36). Verifica-se ainda que existe necessidade de assegurar a resiliência da Europa em certas matérias-primas essenciais como, por exemplo, a grafite (10) (37), fundamentais à transição energética (10) (38) (39) como vetor impulsionador da descarbonização da economia (10) (40), contribuindo de forma direta ou indireta para os ODS (Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (10) (41) (42).

Portugal planeia atingir a neutralidade carbónica em 2050, em linha com as metas climáticas da UE. O biochar pode contribuir para atingir esta meta, promovendo a redução de carbono, seja por sequestro direto ou pela redução de emissões através de benefícios auxiliares. Especificamente, o potencial de sequestro de carbono derivado da aplicação do biochar foi estimado, a nível nacional, em 1,5 milhões toneladas-eq. de CO<sub>2</sub> (43). Saliente-se que a nível do sequestro de carbono, mesmo após grafitação, parte do carbono permanece fixado, contribuindo para estratégias de mitigação climática (44).

**Temos assim um universo de matéria-prima residual com origem na exploração florestal e indústria agroalimentar a nível nacional que pode servir de base a uma fileira que posteriormente passará pela produção de biochar, finalizando com a produção de grafite em fase subsequente.**

Existem várias aplicações do biochar e da grafite possíveis com interesse que podem ser utilizadas a nível nacional. Numa fileira mais integrada, a produção de grafite por esta via poderá também integrar a fileira do lítio/baterias, contribuindo para a economia nacional, as metas ambientais e até para afirmar Portugal neste domínio. Portugal tem potencial para ser um *player* importante, pois tem abundância de matérias-primas para a fileira biochar/grafite, tem potencialidade para diversas aplicações de biochar/grafite, existem em Portugal regiões geográficas especialmente adequadas para a implementação da produção de biochar e, eventualmente, de grafite, existe ainda alguma experiência neste domínio dado que já foram desenvolvidos

projetos nacionais relacionados (exemplos: BioVal-Char, PYRAGRAF e Ibero Massa) e existem já experiências, nomeadamente no exterior, que podem servir de *benchmarking*.

Como o biochar/grafite pode ser produzido a partir de plantas invasoras, "ervas daninhas" e materiais similares, é possível utilizá-lo como ferramenta de gestão para melhorar o ecossistema local através da colheita estratégica de espécies indesejáveis ou que cresceram em excesso, podendo constituir uma ferramenta muito importante nesse domínio e gerando até receitas (45).

É de salientar ainda que a China, que controla cerca de 75% da produção mundial de grafite, impôs uma política de nacionalização dos recursos, incluindo taxas de exportação, licenças e restrições ambientais às minas novas e existentes (46).

Por tudo isto parece estar aberta esta via, que poderá vir a ser considerada pelas várias partes interessadas neste domínio. [tm](#)

#### Referências

Podem aceder às referências deste artigo através deste QR Code.



PUB

**LOCTITE**

**BEYOND THE BOND**

**SOLUÇÕES HYDROGEN  
READY PARA A  
VEDAÇÃO DE ROSCAS.**

