

POR QUE BIODERADÁVEL?

Há uma coisa em que todos podemos concordar - que é importante proteger o ambiente, e especialmente os oceanos, da poluição por plásticos. Gostaríamos de explicar como a tecnologia do plástico oxibiodegradável d2w pode ajudar a fazer isso.

Aliás, alguma confusão foi causada pelo uso do termo "oxidegradável". Ninguém coloca aditivos pró-degradantes no plástico e o comercializa como "oxidegradável", e ninguém o desejaria, se tudo o que ele faz é criar fragmentos de plástico.

A "**oxidegradação**" é definida pelo CEN (European Standards Authority) na TR15351 como "degradação resultante da clivagem oxidativa de macromoléculas". Isso descreve plásticos comuns, que se degradam abióticamente por oxidação no ambiente aberto e rapidamente criam fragmentos, mas não se tornam biodegradáveis exceto por um longo período de tempo.

"A **oxibiodegradação** é definida pela CEN como "degradação resultante de fenômenos oxidativos e mediados por células, simultânea ou sucessivamente". Isso significa que o plástico se degrada por oxidação até que seu peso molecular seja baixo o suficiente para ser acessível a bactérias e fungos, que o reciclam de volta à natureza.

Então, o que é plástico oxibiodegradável e por que ele foi inventado?

O mecanismo de peroxidação abiótica de hidrocarbonetos tem sido extensivamente estudado nos últimos 50 anos. O plástico oxibiodegradável foi inventado na década de 1970 pelo professor Scott e outros cientistas de polímeros¹ que já haviam percebido que o polietileno e o polipropileno poderiam causar um problema ambiental se escapassem dos processos de gerenciamento de resíduos e acabassem no ambiente aberto como lixo.

Então, sabendo que a maior parte não seria coletada, eles descobriram que se introduzissem no polietileno ou polipropileno normal uma pequena quantidade de catalisador (que geralmente é um sal de manganês ou ferro) o plástico não começaria a se degradar enquanto estivesse armazenado e funcionaria exatamente da mesma maneira que o plástico normal durante o

¹ www.biodeg.org/wp-content/uploads/2023/07/Scott-Wiles-paper-June-2001.pdf Scott, "Polímeros degradáveis, princípios e aplicações" (ISBN 1-4020-0790-6) e Scott, "Polímeros e o meio ambiente" (ISBN 10: 0-85404-578-3).

uso, Mas, se fosse descartado em ambiente aberto, rapidamente se tornaria biodegradável e seria consumido por bactérias da mesma forma que os resíduos da natureza.

- para proteger o meio ambiente se tudo o mais falhar.

Assim, sua ideia era que os fabricantes parassem de usar plástico comum e o atualizassem com sua nova tecnologia com pouco ou nenhum custo extra. Infelizmente, isso não foi adotado amplamente o suficiente, então o plástico continua a restar ou flutuar por décadas. O professor Scott disse pouco antes de morrer que, se sua invenção tivesse sido mais amplamente adotada, as manchas de lixo plástico do oceano seriam muito reduzidas.

A razão pela qual o plástico comum não é biodegradável é que ele é composto por longas cadeias emaranhadas de moléculas, o que lhe dá um alto peso molecular, e isso é muito alto para que o material seja acessado por micróbios. O peso molecular do plástico comum diminui naturalmente com o tempo, mas leva muitos anos - alguns dizem 100 anos - até que o plástico comum deixe de ser um plástico e se torne biodegradável. Então, o que o catalisador d2w faz é fazer com que as cadeias moleculares sejam desmontadas por oxidação para que o material deixe de ser um plástico e se torne biodegradável. O importante não é *o tamanho dos fragmentos*, mas o peso molecular.

A luz e o calor acelerarão o processo, mas ele continuará mesmo em condições escuras e frias. A umidade não é necessária para a oxidação, e não a impede.

É crucialmente importante entender como os polímeros de hidrocarbonetos se degradam no ambiente por uma combinação de peroxidação e bioassimilação e como o mecanismo de cadeia de radicais livres pode ser controlado por antioxidantes. Seria possível fazer plástico oxibiodegradável para que ele começasse a se degradar imediatamente, mas não teria vida útil. A sustentabilidade deve, na prática, ser um compromisso entre a viabilidade comercial (ou seja, custo-desempenho) e a aceitabilidade ambiental. A bioassimilação de resíduos plásticos no ambiente é um requisito essencial, mas não o único, do plástico de embalagem tecnologicamente útil e, na maioria dos casos, os plásticos requerem uma vida útil controlada antes do início da degradação física.²

² www.biodeg.org/wp-content/uploads/2023/07/Scott-Wiles-paper-June-2001.pdf página 617-9

Avaliações de ciclo de vida da Intertek mostraram que o plástico oxibiodegradável tem uma ACV melhor do que os outros materiais usados para embalagens.³

Então é para isso que o plástico oxibiodegradável d2w serve - mas para que ele NÃO serve?

1. NÃO é uma rota de descarte. O plástico é destinado a ser reutilizado, reciclado e descartado como o plástico normal, mas a tecnologia d2w garantirá que, se ele entrar no ambiente aberto, o peso molecular reduzirá muito rapidamente para que se torne biodegradável
2. NÃO é para aterro sanitário. Se o plástico foi levado para aterro, ele foi descartado de forma responsável e não há necessidade de se degradar. Além disso, se algo se biodegradar em condições anaeróbicas, gerará metano, o que é indesejável, a menos que o aterro tenha sido projetado para coletar o gás. O plástico oxibiodegradável não se degrada na ausência de oxigênio.
3. Não é para compostagem. Cinco pontos resumidos sobre o plástico comercializado como "Compostável":
 - (a) Não resolve problema do lixo plástico no ambiente, porque é concebido e testado para se biodegradar numa instalação de compostagem, não em ambiente aberto.
 - (b) Ele não é convertido em composto (EN13432 e ASTM D6400 exigir que ele se converta em gás CO₂)⁴ É, portanto, projetado para um processo linear deliberado e não é circular. O material destina-se a ser desperdiçado e perdido para a atmosfera através da conversão em CO₂.
 - (c) Não pode ser reutilizado, reciclado ou feito a partir de reciclados
 - (d) Libera microplásticos no composto e no ambiente aberto
 - (e) Não é desejado por compostadores industriais e autoridades locais.

³ <https://www.biodeg.org/subjects-of-interest/life-cycle-assessments/>

⁴ Veja também www.biodeg.org/wp-content/uploads/2023/07/Scott-Wiles-paper-June-2001.pdf página 621

""A mineralização rápida não é ideal para polímeros em composto onde o carbono no plástico original deve ser convertido durante um período de tempo mais longo à biomassa e apenas lentamente ao dióxido de carbono. O polímeros oxo-biodegradáveis (por exemplo, as poliolefinas) são ideais para este fim, uma vez que a peroxidação controlada é a etapa que determina a taxa no geral processo. Além disso, eles não podem dar tóxico ou subprodutos censuráveis durante a bioassimilação"

Por conseguinte, não deve ser descrito como **compostável** ou **biodegradável**. Não deve ser tornado obrigatório, devendo, em vez disso, ser proibido.

Ver <https://www.biodeg.org/subjects-of-interest/composting/>

Em 14 de novembro de 2022, o ministro do Meio Ambiente do Reino Unido disse que "nosso pedido de evidências sugere que esses materiais são frequentemente retirados no início do processo e depositados em aterros ou incinerados".

Em 2 de dezembro de 2022, o ministro disse: "Os plásticos compostáveis devem ser tratados em instalações de compostagem industrial para serem decompostos e, quando processados incorretamente, podem ser uma fonte de microplásticos e contaminar fluxos de reciclagem. " Esta embalagem não contribui para uma economia circular da mesma forma que as embalagens que podem ser reutilizadas ou recicladas em novas embalagens ou produtos, uma vez que as embalagens de plástico compostáveis são geralmente destinadas a serem usadas apenas uma vez.

ARGUMENTOS CONTRA O PLÁSTICO Oxibiodegradável

Há uma série de questões que são sempre levantadas:

1. **Microplásticos.** - Alguns dos microplásticos encontrados no ambiente provêm de pneus e fibras sintéticas, mas a reciclagem também é uma fonte de microplásticos. Um relatório no Journal of Hazardous Materials Advances diz: "Estima-se que a água da lavagem usada na reciclagem bruta contenha contagens de microplásticos entre 5,97 10⁶ – 1,12 × 10⁸ MP m⁻³ (após análise de microscopia de fluorescência). A mitigação da poluição por microplásticos (filtração instalada) removeu a maioria dos microplásticos >5µm, com altas eficiências de remoção para microplásticos >40µm. No entanto, os microplásticos <5µm geralmente não foram removidos pela filtração e posteriormente descarregados, com 59-1184 toneladas potencialmente descarregadas anualmente."⁵

⁵ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772416623000803>

No entanto, a grande parte dos microplásticos encontrados no ambiente é causada pela fragmentação do plástico comum quando exposto à luz solar. Esses fragmentos são muito persistentes porque seu peso molecular é muito alto para que os micróbios os consumam, e podem permanecer assim por décadas.

É por isso que o plástico oxibiodegradável foi inventado. O plástico desmorona porque as cadeias moleculares foram desmontadas e ele não é mais um plástico. (Quando a Fundação Ellen MacArthur pediu conselhos ao professor Jakubowicz Ele fez esse ponto, mas eles ignoraram).⁶

A Agência Europeia de Produtos Químicos (ECHA) foi convidada a estudar o plástico oxibiodegradável em dezembro de 2017. Eles fizeram uma Chamada para Provas, e nos informaram depois de 10 meses que não estavam convencidos de que isso cria microplásticos. A ECHA nunca forneceu um dossiê para apoiar qualquer proibição do plástico oxibiodegradável, e não há evidências de que microplásticos de plástico oxibiodegradáveis tenham sido encontrados no meio ambiente.

Ele é usado para sacos de pão há mais de dez anos pelo maior produtor de pão do mundo (panificação Bimbo) e não houve problemas com microplásticos ou reciclagem.

2. que o plástico oxibiodegradável contaminará um **fluxo de reciclagem** e é incompatível com uma economia circular. Isso não é correto, mas é correto para plásticos "compostáveis", que não são recicláveis. Cinco pontos sobre reciclagem:⁷

- Os recicladores têm de avaliar o nível de degradação de qualquer plástico enviado para reciclagem, seja ele oxibiodegradável ou não. Eles não podem reciclar o plástico comum que começou a se degradar após a exposição à luz solar.
- Se o reciclado deve ser usado para fazer produtos de vida curta (por exemplo, embalagens de alimentos), não importa se ele contém plástico oxibiodegradável, porque a biodegradação é realmente desejável no caso de o item se tornar lixo.
- Por conseguinte, a estabilização é necessária apenas para os produtos de longa duração, e o produtor de produtos de longa duração estabilizá-los-

⁶ <https://www.biodeg.org/wp-content/uploads/2019/11/emf-report-1.pdf>

⁷ <https://www.biodeg.org/subjects-of-interest/recycling-2/>

ia da mesma forma, independentemente de o reciclado conter ou não plástico oxibiodegradável. Ele não precisa saber a proporção de plástico oxibiodegradável na matéria-prima. Esta estabilização normal neutralizaria qualquer resíduo oxibiodegradável.

- Não é necessário separar o PE ou PP oxibiodegradável do PE ou PP convencional antes da reciclagem, mas, se assim desejar, o masterbatch oxibiodegradável poderia ser tornado visível para o equipamento de triagem automática através da inclusão de um marcador.
- O masterbatch oxibiodegradável é usado em PE e PP, mas NÃO em PET.

3. que **a reciclagem** é preferível à biodegradação. Sim, mas não é possível reciclar o plástico que escapou para o ambiente aberto do qual não pode ser realisticamente recolhido. A ÚNICA maneira de lidar com isso é a biodegradação.

4. Foi demonstrado que o plástico oxibiodegradável **se biodegrada totalmente?**

Sim, testes foram feitos pela Intertek mostrando biodegradação de 92,74% quando testados de acordo com a norma ASTM D6954. (A percentagem exigida por EN13432 para o plástico "compostável" é de 90%). Não foi demonstrada qualquer razão para que a biodegradação cesse antes de estar completa. Você nunca encontrará 100% de evolução de carbono porque parte do material se converte em água e biomassa. Mesmo que não se biodegradasse totalmente, ainda seria melhor do que o plástico comum, que teria criado microplásticos persistentes, mas não teria se biodegradado.

6. EN13432 para o plástico "compostável" requer biodegradação **testado em laboratório** (não em uma pilha de composto), mas sugere-se que o plástico oxibiodegradável deve ser testado somente em condições ao ar livre. Veja, no entanto, a declaração do Dr. Graham Swift (Vice-presidente do Comitê Técnico da ASTM) que diz: "Tem sido minha experiência que os resultados dos testes laboratoriais são muito prováveis de serem reproduzidos no mundo real. Não vejo motivo para preocupação de que não o façam, e não vi nenhuma evidência de que não o tenham." ⁸

⁸ <https://www.biodeg.org/wp-content/uploads/2021/02/Swift-evidence-to-BEIS.pdf> Veja também www.biodeg.org/wp-content/uploads/2023/07/Scott-Wiles-paper-June-2001.pdf na página 620

Além disso, um estudo interdisciplinar de quatro anos, conhecido como projeto Oxomar⁹ Foi patrocinado pelo Governo francês. O objetivo foi avaliar a biodegradação do OXlbio em águas marinhas.

Em sua conclusão, os cientistas relataram que "Obtivemos resultados congruentes de nossa abordagem multidisciplinar que mostra claramente que os plásticos oxibiodegradáveis se biodegradam na água do mar e o fazem com uma eficiência significativamente maior do que os plásticos convencionais. O nível de oxidação obtido devido ao catalisador prodegradante d2w mostrou-se de importância crucial no processo de degradação."

Veja também o relatório da Queen Mary University London por Rose et. al 11 de fevereiro de 2020. O parágrafo 2.6 diz que "antes dos testes, amostras de PEBD e oxi-PEBD foram intemperizadas superficialmente na água do mar por 82 dias, sofrendo variações naturais na luz solar e intensidade UV".¹⁰

7. que eles não podem ter certeza **Quanto tempo** O plástico levará para se biodegradar no ambiente aberto, mas não é contestado por ninguém que ele será muitas vezes mais rápido do que o plástico comum quando exposto sob as mesmas condições no ambiente aberto. Universidade Queen Mary dizer (no ponto 2.3) até 90 vezes mais rápido.

PAPEL

Pode-se pensar que o papel é mais ecológico do que o plástico - afinal, ele é feito de árvores. Mas ele não cresce em árvores, então as árvores têm que ser destruídas para fazer o papel. Na verdade, são necessárias 24 árvores, em média, para fazer apenas uma tonelada de papel.

Também é preciso mais de quatro vezes mais energia para fabricar um saco de papel do que um saco plástico. Florestas inteiras são cortadas para fazer papel - florestas que poderiam estar ajudando o meio ambiente absorvendo gases de efeito estufa.

A maioria dos sacos de papel é feita aquecendo cavacos de madeira sob pressão a altas temperaturas em uma solução química. Os produtos químicos utilizados na produção de papel são tóxicos e contribuem para a poluição do ar, incluindo a chuva ácida. Eles também poluem os cursos d'água e a toxicidade

⁹ <https://www.biodeg.org/wp-content/uploads/2021/07/Final-report-OXOMAR-10032021.pdf>

¹⁰ <https://www.biodeg.org/wp-content/uploads/2022/10/QM-published-report-11.2.20-1.pdf>

dos produtos químicos é de longo prazo e se instala nos sedimentos, onde pode entrar na cadeia alimentar.

Na verdade, os sacos de papel produzem 70% mais poluentes do ar e 50% mais poluentes da água do que os sacos plásticos.

Mas não para por aí. Em 2005, o Governo escocês¹¹ publicou uma avaliação de impacto ambiental contendo comparações entre um saco de plástico leve e um saco de papel.

Indicador de Impacto Ambiental	Saco plástico PEAD Leve	Papel
Consumo de energia primária não renovada	1.0	1.1
Consumo de Água	1.0	4.0
Mudanças Climáticas (emissão de gases de efeito estufa)	1.0	3.3
Chuva ácida (acidificação atmosférica)	1.0	1.9
Qualidade do ar (formação de ozono ao nível do solo)	1.0	1.3
Eutrofização da água (florações de algas, zonas mortas, mortandade de peixes)	1.0	14.0
Produção de resíduos sólidos	1.0	2.7
Risco de lixo	1.0	0.2

Como pode ser visto na tabela acima, o papel tem impacto ambiental mais adverso em quase todas as categorias. (Uma pontuação maior que 1,0 indica que o saco de papel contribui mais para aquele problema ambiental do que um saco plástico leve).

Os defensores do papel dirão que os sacos de papel são "verdes" porque são 100% recicláveis, e assim o são em teoria. Na verdade, o papel pode ser reciclado até 7 vezes antes de perder sua integridade, mas um saco de papel precisaria ser usado pelo menos 3 vezes para compensar o impacto ambiental de sua produção. Os sacos de papel não são duráveis o suficiente para serem usados 3 vezes, e raramente sobrevivem a um único uso, pois rasgam facilmente. Além disso, eles são muito mais pesados do que os sacos plásticos e não são nem de longe tão fortes, então você precisaria de mais deles, e eles perdem completamente a força quando molhados.

Como o papel é muito mais pesado que o plástico, ele custa muito mais para transportar e causa mais poluição do transporte. De acordo com um documento informativo publicado pela Assembleia da Irlanda do Norte em 2011¹², seriam necessários aproximadamente sete caminhões para transportar o mesmo número de sacos de papel que podem ser transportados por um único caminhão cheio de sacos plásticos.

O plástico é feito de etileno, um subproduto da produção de petróleo que costumava ser desperdiçado. Por conseguinte, enquanto continuarmos a precisar de petróleo para os transportes e a produção de energia, faz sentido utilizar o subproduto para fabricar produtos de plástico.

No entanto, o plástico convencional pode ser um problema, pois leva décadas para se degradar e se desintegra em microplásticos. Felizmente esse problema pode ser resolvido com o uso da tecnologia de 2w biodegradável, de modo que se a sacola ou embalagem escapar da coleta e acabar no meio ambiente

¹¹ <http://www.scotland.gov.uk/Resource/Doc/57346/0016899.pdf>

¹² <https://www.biodeg.org/wp-content/uploads/2023/07/Northern-Ireland-comparison-of-bags-Feb-2011.pdf>

como lixo em terra ou mar ela se degradará e se biodegradará (será consumida por bactérias e fungos) não deixando nada para trás. Assim como os resíduos da natureza.

O papel é fantástico, então vamos salvar algumas árvores e usar papel para as coisas que só o papel pode fazer. O plástico não é o eco-vilão que é feito para ser, e quando feito com d2w é muito mais gentil com o planeta.¹³

PELÍCULA DE COBERTURA VEGETAL AGRÍCOLA

Agricultores de todo o mundo espalham milhares de quilômetros quadrados de folhas plásticas em seus campos para proteger suas plantações de ervas daninhas e reduzir a evaporação da água. Essencialmente, os agricultores têm três opções:

1. Plástico convencional – após a colheita, o agricultor tem que arrastar hectares de plástico para fora de seus campos. Ele não tem permissão para queimá-lo na fazenda, e enterrá-lo não é uma boa ideia, porque é trabalhoso e efetivamente coloca o local fora do cultivo, então ele tem que pagar para que ele seja retirado. Alguns agricultores enviam seu plástico para reciclagem, mas geralmente é contaminado com lama e outros contaminantes, então a reciclagem não faz muito sentido em termos econômicos ou ambientais quando você considera o custo de transportar o plástico do campo, carregar um grande caminhão e conduzi-lo pelas estradas rurais até uma instalação de reciclagem, muitas vezes centenas de quilômetros de distância – usando combustíveis fósseis, causando congestionamento e emitindo poluição. O plástico tem de ser lavado e a contaminação tem de ser eliminada - e depois o plástico tem de ser transformado em reciclagem.

Além disso, tendo ficado nos campos expostos à luz solar, é provável que tenha se degradado a ponto de não ser adequado para reciclagem, e fragmentos terão sido espalhados pelo vento enquanto eram removidos. O ministro do Meio Ambiente do Reino Unido disse em 25^{de} maio de 2023 que "o governo não detém dados sobre a quantidade de filme agroplástico coletado ou reciclado".

2. Plástico de base biológica – este é caro e pode não ser forte o suficiente para resistir ao rasgo. O prazo para a degradação não pode ser programado.

3. Plástico oxibiodegradável - testes de campo bem-sucedidos foram realizados no País de Gales.¹⁴ Na próxima vez que o campo for lavrado, o

¹³ <https://www.biodeg.org/wp-content/uploads/2021/04/intertek-final-report-15.5.121.pdf>

¹⁴ -Ver <https://www.biodeg.org/wp-content/uploads/2020/09/Pembroke-Mulch-Film-Trial-Report-30.09.13V1.pdf>.

material biodegradável será devolvido ao solo, onde será bioassimilado pelas bactérias e fornecerá uma fonte de carbono para as plantas do próximo ano.

Ao observar as condições climáticas da área e usar a formulação correta, é possível fazer com que o plástico dure o tempo que o agricultor precisar.

Não é mais difícil espalhar plástico d2w nos campos do que o plástico comum, e uma empresa na Irlanda chamada SAMCO inventou uma máquina para assentar a película de cobertura.

Os filmes de cobertura vegetal oxibiodegradáveis são estudados por cientistas há mais de 20 anos. Na página 47 de *Degradable Polymers, Principles and Applications*¹⁵ o Professor Scott diz: "Os produtos de degradação formados pela oxibiodegradação são benéficos para o ambiente agrícola como biomassa e, finalmente, na forma de húmus. O carbono é retido no solo durante a oxibiodegradação de uma forma acessível às plantas em crescimento, em vez de ser emitido para o ambiente como dióxido de carbono, como é o caso dos polímeros hidrobiodegradáveis (por exemplo, celulose pura e amido). O controle temporal da biodegradação dos polímeros sintéticos da cadeia de carbono é alcançado por antioxidantes que se comportam de forma semelhante aos antioxidantes naturais presentes na lignina e no tanino."

Ver também "Polímeros e Meio Ambiente" e¹⁶

Com relação às bordas da película de cobertura morta que são enterradas para mantê-la no lugar. Eles ainda vão se biodegradar porque, ao contrário do plástico fotodegradável, um plástico oxibiodegradável não precisa de exposição constante à luz solar. Também é possível fazer um filme mulch em que os lados enterrados do filme incorporam um masterbatch biodegradável diferente em comparação com a parte central do filme.

UNIÃO EUROPEIA

A BPA não ficou totalmente surpreendido ao ver, em dezembro de 2022, que as casas e hotéis de 18 eurodeputados e funcionários tinham sido revistados pela polícia, rendendo malas recheadas de notas.

A razão pela qual não ficamos surpreendidos é que nunca fomos capazes de compreender como era possível impor uma proibição ao "plástico

¹⁵ (ISBN 1-4020-0790-6)

¹⁶ (ISBN 10: 0-85404-578-3) páginas 109-118 e 461-466, e www.biodeg.org/wp-content/uploads/2023/07/Scott-Wiles-paper-June-2001.pdf página 618.

oxidegradável" sem que qualquer dossiê da Agência Europeia dos Produtos Químicos (ECHA) mostrasse qualquer justificação para tal proibição. Para piorar a situação, a Comissão tinha efectivamente solicitado à ECHA (ao abrigo do artigo 69.º do Regulamento REACH) que estudasse se estes produtos criavam microplásticos. A ECHA recebeu centenas de páginas de provas, mas informou ¹⁷ao BPA em outubro de 2018 de que não estava convencida de que os microplásticos foram formados. Eles foram instruídos pela Comissão a encerrar o estudo.

O projecto de directiva da Comissão não incluía qualquer proibição do plástico oxidegradável ou oxibiodegradável, mas o Parlamento procedeu à legislação e contornou todas as salvaguardas contra a legislação arbitrária previstas nos artigos 69.º a 73.º do REACH. Será que houve alguma influência indevida?

Esta diretiva foi contestada no Tribunal Europeu do Luxemburgo e o caso foi julgado por cinco juízes em 20 de março de 2023. Aguarda-se a decisão do julgador.¹⁸

O perdedor aqui é o meio ambiente, porque o plástico comum ainda está sendo usado para fazer produtos que entram no ambiente aberto todos os dias, onde milhares de toneladas ficarão ou flutuarão por décadas. Eles devem ser feitos urgentemente com tecnologia oxibiodegradável d2w, para que se biodegradem muito mais rapidamente e não deixem resíduos nocivos.

A tecnologia D2W é fornecida aos fabricantes de plásticos como um masterbatch em forma de grãos, para que eles possam atualizar seus produtos com o mesmo maquinário e força de trabalho, com pouco ou nenhum custo extra. É uma tecnologia "drop-in".

¹⁷ (pelo artigo 5.º da Diretiva 2019/904 relativa aos plásticos de utilização única)

¹⁸ Em 1º de agosto de 2023