



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) BR 122020011682-0 B1



(22) Data do Depósito: 10/06/2016

(45) Data de Concessão: 24/05/2022

(54) Título: PROCESSO PARA PREPARAR UMA COMPOSIÇÃO PLÁSTICA E MÉTODO PARA FABRICAÇÃO DE UM ARTIGO PLÁSTICO QUE CONTÉM POLIÉSTER

(51) Int.Cl.: C08J 3/20; C08J 3/22; C12N 9/00; C08K 3/22; C08K 3/26; (...).

(30) Prioridade Unionista: 12/06/2015 EP 15305903.5.

(73) Titular(es): CARBIOS.

(72) Inventor(es): ELODIE GUEMARD; MICHEL CHATEAU; ALAIN MARTY.

(86) Pedido PCT: PCT EP2016063373 de 10/06/2016

(87) Publicação PCT: WO 2016/198652 de 15/12/2016

(85) Data do Início da Fase Nacional: 10/06/2020

(62) Pedido Original do Dividido: BR112017026693-8 - 10/06/2016

(57) Resumo: A presente invenção se refere à composição plástica que compreende pelo menos um poliéster, entidades biológicas que têm uma atividade de degradação de poliéster e pelo menos uma carga antiácida, em que as entidades biológicas representam menos de 11 % em peso, com base no peso total da composição plástica, e usos da mesma para fabricar artigos plásticos biodegradáveis.

"PROCESSO PARA PREPARAR UMA COMPOSIÇÃO PLÁSTICA E MÉTODO PARA FABRICAÇÃO DE UM ARTIGO PLÁSTICO QUE CONTÉM POLIÉSTER"

Dividido do BR 11 2017 026693 8, depositado em 10/06/2016

[001] A presente invenção se refere a uma composição plástica inovadora que compreende pelo menos um poliéster, entidades biológicas com capacidade de degradar o dito poliéster e a dita carga antiácida. A invenção também se refere a um processo para produzir tal composição plástica, e usos da mesma para a produção de artigos plásticos biodegradáveis.

ANTECEDENTES

[002] Os plásticos são materiais caros e duráveis, que são empregados para fabricar produtos que têm uso em uma ampla gama de aplicações. Como consequência, a produção de plásticos tem aumentado drasticamente nas últimas décadas. Uma grande parte desses plásticos é usada para aplicações de descartáveis de único uso, ou para produtos de curta duração (como bolsas, embalagem incluindo bandejas, recipientes, garrafas, filmes agrícolas, etc.) que são descartados dentro de um ano de fabricação. Por causa da durabilidade dos polímeros envolvidos e sua alta resistência à biodegradação (devido aos valores de massa molecular alta, hidrofobicidade e cristalinidade), quantidades substanciais de plásticos são empilhadas em locais de aterro sanitário e em habitats naturais, gerando problemas ambientais crescentes no mundo todo.

[003] Para responder a esses problemas, diferentes abordagens físicas, químicas e/ou bioquímicas foram desenvolvidas para reduzir a resistência à biodegradação de polímeros e para aumentar sua taxa de biodegradação. Por exemplo, os produtos plásticos biodegradáveis foram desenvolvidos. No entanto, as condições de degradação ambiental não são ideais para tais plásticos biodegradáveis e sua degradação geralmente ocorre parcialmente.

[004] Recentemente, um material plástico inovador foi desenvolvido o qual contém uma pequena quantidade de entidades biológicas que têm uma atividade de degradação de polímero. As entidades biológicas são interessantemente capazes de degradar pelo menos um polímero do dito material plástico. O processo para fabricar tal material plástico foi descrito no pedido de patente WO 2013/093355. O material plástico obtido através desse processo contém entidades biológicas dispersas em um polímero, e é diretamente usável através de um molde de extrusão para produzir artigos plásticos que têm biodegradabilidade aprimorada.

[005] Trabalhando-se no material plástico que contém poliéster, os inventores descobriram que é possível aumentar ainda mais a atividade de degradação de poliéster de entidades biológicas, ao introduzir no material plástico carga (ou cargas) específica. Mais particularmente, os inventores desenvolveram composições plásticas que contém pelo menos um poliéster, entidades biológicas que tendo uma atividade de degradação de poliéster e carga (ou cargas) antiácida, e mostraram que tais composições têm uma biodegradabilidade aprimorada em comparação com composições plásticas tradicionais, e ainda em comparação com as composições plásticas que contém somente entidades biológicas e poliésteres. Ademais, as composições plásticas da invenção podem ser usadas em operações padrão de processamento de plástico e não conferem propriedades mecânicas dos artigos plásticos resultantes.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[006] A presente invenção se refere ao uso de carga (ou cargas) antiácida para intensificar a atividade de degradação de poliéster de entidades biológicas em uma composição plástica. Mais particularmente, a invenção propõe adicionar tanto carga (ou cargas) antiácida quanto entidades biológicas que têm uma atividade de degradação de poliéster em uma composição plástica que contém poliéster para obter uma composição plástica com propriedades biodegradáveis e, desse

modo, artigos plásticos degradáveis, produzidos a partir dessa composição plástica. De acordo com a invenção, as entidades biológicas e a carga (ou cargas) antiácida são, ambas, embutidas no poliéster da composição plástica, levando a uma dispersão homogênea das mesmas para os artigos plásticos finais.

[007] Consiste, portanto, em um objetivo da presente invenção fornecer uma composição plástica que compreende pelo menos um poliéster, entidades biológicas que têm uma atividade de degradação de poliéster e pelo menos uma carga antiácida, em que as entidades biológicas representam menos de 11 % em peso, com base no peso total da composição plástica.

[008] Consiste em um outro objetivo da presente invenção fornecer uma composição plástica que compreende pelo menos um poliéster, entidades biológicas que têm uma atividade de degradação de poliéster e pelo menos uma carga antiácida, em que a quantidade total de polímero (ou polímeros) e carga (ou cargas) antiácida na composição plástica representa mais de 90 % em peso da composição plástica. Vantajosamente, a carga antiácida representa entre 0,1 % e 50 % em peso da composição plástica, com base no peso total da composição plástica, de preferência, entre 2 % e 25 %, com mais preferência, entre 5 % e 10 %, ainda com mais preferência, cerca de 5 %.

[009] Em uma modalidade específica, a composição plástica compreende, com base no peso total da composição plástica:

- (i) de 65 a 95 % de pelo menos um poliéster, de preferência, PLA e/ou PCL;
- (ii) de 2 a 25 % de pelo menos uma carga antiácida, de preferência, selecionada dentre hidrotalcita, carbonato de cálcio, talco, mica, argila e/ou hidróxido de cálcio;
- (iii) de 0,1-10 % de entidades biológicas que têm uma atividade de degradação de poliéster, de preferência, uma protease.

[0010] Consiste em um objetivo adicional da invenção

fornecer um processo para preparar tal composição plástica, que compreende uma etapa (a) de misturar entre 0,1 % e 10 % em peso com base no peso total da composição plástica de entidades biológicas que têm uma atividade de degradação de poliéster, com um poliéster e uma carga (ou cargas) antiácida, e uma etapa (b) de condicionar a dita mistura da etapa (a) em uma forma sólida, em que a etapa (a) de misturar é, de preferência, realizada em uma temperatura na qual o poliéster está em um estado parcial ou totalmente fundido e/ou em uma extrusora, de preferência, uma extrusora de rosca dupla e, com mais preferência, uma extrusora de rosca dupla corrotativa.

[0011] A invenção se refere adicionalmente ao uso da composição plástica da invenção, para a fabricação de um artigo plástico, e a um artigo plástico produzido a partir de uma composição plástica da invenção, em que as entidades biológicas da composição plástica são adequadas para degradar pelo menos um poliéster do artigo plástico.

[0012] A invenção também se refere a um método para fabricar um artigo plástico que compreende pelo menos um poliéster, sendo que o método compreende:

- a. fornecer uma composição plástica de acordo com a invenção, e
- b. fabricar um artigo plástico,

em que a etapa b é, de preferência, implantada em uma temperatura na qual o poliéster da composição plástica está em um estado parcial ou totalmente fundido, e/ou é realizada por meio de extrusão, composição de extrusão, moldagem por sopro de extrusão, extrusão de filme soprado, extrusão de filme fundido, calandragem e termoformação, moldagem por injeção, moldagem por compressão, expansão por extrusão, moldagem giratória, engomadura, revestimento, estratificação, expansão, pultrusão, granulação por compressão e impressão em 3D.

[0013] Consiste em um outro objetivo da invenção fornecer um método para aumentar a biodegradabilidade de um artigo

plástico que compreende pelo menos um poliéster, sendo que o dito método compreende misturar o poliéster com entidades biológicas adequadas para degradar o dito poliéster, e com uma carga antiácida para obter uma composição plástica, e fabricar adicionalmente um artigo plástico com a dita composição plástica.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0014] **Figura 1:** Taxa de degradação comparativa de composições plásticas que contêm PLA após 12 dias. A: Controle (que compreende protease, mas desprovido de carga antiácida) obteve 28 % de degradação; D e E: Controles negativos (que compreendem carga antiácida, mas desprovidos de protease) obtiveram menos de 2 % de degradação; B e C: Composições plásticas de acordo com a invenção (que compreendem tanto protease quanto uma carga antiácida) obtiveram, ambas, 85 % de degradação.

[0015] **Figura 2:** Taxa de despolimerização comparativa de composições plásticas que contêm PLA após 3 dias. A: Controle (que compreende protease, mas desprovido de carga antiácida); B e C: Composições plásticas de acordo com a invenção (que compreendem tanto protease quanto hidróxido de cálcio, ou uma mistura de carbonato de cálcio e hidróxido de cálcio, respectivamente). Após 3 dias, as composições plásticas B e C mostram, respectivamente, 28 % e 22 % mais despolimerização do que o controle A.

[0016] **Figura 3:** Taxa de degradação comparativa de composições plásticas que contêm PLA após 2 dias. A: Controle (que compreende protease, mas desprovido de carga antiácida) obteve 7,5 % de degradação. B e C: Composições plásticas de acordo com a invenção (que compreendem tanto protease quanto carbonato de cálcio e hidrotalcita, respectivamente, como carga antiácida) obtiveram cerca de 17 % e 42 % de biodegradação, respectivamente.

[0017] **Figura 4:** Taxa de degradação comparativa de composições plásticas que contêm PLA após 3 dias. A: Controle (que compreende protease, mas desprovido de carga antiácida)

obteve 10 % de degradação; B: Controles negativos (que compreendem carga antiácida, mas desprovidos de protease) obtiveram menos de 1 % de degradação; e C: Composição plástica de acordo com a invenção (que compreende protease e 25 % de uma carga antiácida) obteve 30 % de degradação;

[0018] **Figura 5:** Taxa de degradação comparativa de duas composições plásticas que contêm PLA após 3 dias. B: Composição plástica de acordo com a invenção (que compreende tanto protease quanto carbonato de cálcio) obteve 42 % de degradação após 3 dias enquanto A: Controle (que compreende protease, mas desprovido de carbonato de cálcio) obteve somente 12 % de degradação;

[0019] **Figura 6:** Taxa de degradação comparativa de duas composições plásticas que compreende PCL e lipase após 3 dias. B (com carbonato de cálcio) obteve 86 % de degradação, enquanto Controle A (sem carbonato de cálcio) obteve 21 % de degradação.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[0020] A presente invenção se refere a composições plásticas inovadoras, com degradabilidade aprimorada e métodos para produzir as mesmas. Mais particularmente, a invenção fornece composições plásticas inovadoras que compreendem tanto entidades biológicas quanto carga antiácida adequadas para intensificar a atividade de degradação das ditas entidades biológicas. A invenção mostra que tais composições, com taxa de dispersão e distribuição adequada de entidades biológicas ativas, são particularmente úteis para produzir artigos plásticos de único uso e de curta duração.

Definições

[0021] A presente revelação será mais bem entendida em referência às seguintes definições.

[0022] Conforme usado no presente documento, os termos "composição plástica", "formulação plástica", "composto plástico" ou "material plástico" são usados intercambiavelmente e designam uma mistura de polímeros e compostos adicionais (por exemplo, agentes ativos, aditivos,

material carreador, carga, etc.) antes de qualquer etapa de conformação ou condicionamento.

[0023] No contexto da invenção, uma "*composição plástica que contém poliéster*" se refere a um composto plástico, ou uma formulação plástica, em um estado fundido ou sólido, adequado para tornar-se um produto plástico. No contexto da invenção, o composto plástico abrange mesclas homogêneas de pelo menos um poliéster, entidades biológicas com capacidade de degradar pelo menos o dito poliéster, e pelo menos uma carga antiácida. De preferência, o composto plástico é constituído de uma mistura de poliésteres semicristalinos e/ou amorfos, ou poliésteres semicristalinos e aditivos.

[0024] No contexto da invenção, os termos "*artigo plástico*" ou "*produto plástico*" são usados intercambiavelmente e se referem a qualquer item produzido a partir de pelo menos um polímero, como folha plástica, tubo, haste, perfil, formato, bloco maciço, fibra, etc. De preferência, o artigo plástico é um produto de manufatura, como uma embalagem rígida ou flexível, filmes agrícolas, bolsas e sacos, itens descartáveis ou semelhantes. De preferência, o artigo plástico compreende uma mistura de polímeros semicristalinos e/ou amorfos, ou polímeros semicristalinos e aditivos. Os artigos plásticos podem conter substâncias ou aditivos adicionais, como plastificantes, cargas minerais ou orgânicas.

[0025] Um "*polímero*" se refere a um composto químico ou mistura de compostos cuja estrutura é constituída de múltiplas unidades ligadas por ligações químicas covalentes. Dentro do contexto da invenção, o termo "*polímero*" inclui polímero naturais ou sintéticos, que compreendem um único tipo de unidade de repetição (isto é, homopolímeros) ou diferentes tipos de unidades de repetição (isto é, copolímeros em bloco e copolímeros aleatórios). Como um exemplo, os polímeros sintéticos incluem polímeros derivados de óleo de petróleo ou polímeros de base biológica, como poliolefinas, poliésteres alifáticos ou aromáticos,

poliamidas, poliuretanos e cloreto de polivinila. Os polímeros naturais incluem lignina e polissacarídeos, como celulose, hemicelulose, amido e derivados dos mesmos que podem ou não ser plasticizados.

[0026] Dentro do contexto da invenção, o termo "*poliéster*" se refere a um polímero que contém o grupo funcional éster em sua cadeia principal. O grupo funcional éster é caracterizado por uma ligação de carbono com três outros átomos: uma única ligação com um carbono, uma ligação dupla com um oxigênio e uma única ligação com um oxigênio. A única ligação de oxigênio é ligada a um outro carbono. De acordo com a composição de sua cadeia principal, os poliésteres podem ser alifáticos, aromático ou semiaromáticos. O poliéster pode ser homopolímero ou copolímero. Como um exemplo, o ácido poliláctico é um homopolímero alifático composto de um monômero, ácido láctico; e tereftalato de polietileno é um copolímero alifático-aromático composto de dois monômeros, ácido tereftálico e etileno glicol.

[0027] No contexto da invenção, o termo "*carga*" se refere a um composto que é incorporado a um material plástico e/ou a um produto plástico para reduzir os custos dos mesmos ou, opcionalmente, aprimorar as propriedades físicas dos mesmos (por exemplo, sua dureza, rigidez ou resistência). As cargas podem ser material inativo (isto é, inerte) ou ativo, e podem formar ligações químicas com os componentes do material ou produto plástico. As cargas podem compreender cargas minerais e/ou orgânicas. Os exemplos de cargas minerais usadas na indústria de fabricação de plástico incluem sem limitação carbonato de cálcio (calcário), silicatos de magnésio (talco), sulfato de cálcio (gesso), mica, silicato de cálcio, sulfato de bário e caulim (argila chinesa). Os exemplos de cargas orgânicas incluem, sem limitação, amido, celulose ou hemicelulose, farinha de cereal, serragem, farinha de casca de árvore, farinhas de castanha, fibras de cânhamo, penas de galinha e cascas de arroz.

[0028] No contexto da invenção, o termo "*carga antiácida*"

ou "sequestrador de ácido" é usado intercambiavelmente e designa, mais especificamente, uma carga que tem a habilidade de neutralizar quimicamente uma molécula de ácido, mesmo contida em uma composição plástica. A reação de neutralização realizada por uma carga antiácida, no contexto da invenção, se baseia, em geral, em uma troca iônica. A presença de uma carga antiácida em uma composição plástica pode ajudar a aumentar e/ou manter o pH da composição. As cargas antiácidas podem ser minerais ou orgânicas, sintéticas ou naturais, e usadas sozinhas ou como uma mistura de diversas cargas antiácidas.

[0029] Conforme usado no presente documento, o termo "*entidades biológicas*" designa enzimas ativas ou microrganismos que produzem enzima, como microrganismos esporolados, assim como combinações ou formulações dos mesmos. Por exemplo, "*entidades biológicas*" pode se referir a enzimas ou microrganismos puros assim como formulações que contêm enzimas e/ou microrganismos e um diluente ou carreador, como componente (ou componentes) estabilizador e/ou solubilizante, incluindo água, glicerol, sorbitol, dextrina, incluindo maltodextrina e/ou amido de ciclodextrina, glicol como propanodiol, sal, etc. As entidades biológicas podem estar na forma sólida (por exemplo, pó) ou líquida.

[0030] Conforme usado no presente documento, o termo "*em peso*" se refere à razão com base no peso total da composição ou do produto considerado.

[0031] No contexto da invenção, o termo "*cerca de*" se refere a uma margem de +/- 5 %, de preferência, de +/- 1 %, ou dentro da tolerância de um dispositivo ou instrumento de medição adequado.

[0032] No contexto da invenção, todas as porcentagens são em peso, com base no peso total da composição plástica, a menos que seja explicitamente indicado em contrário.

Carga antiácida

[0033] Os inventores mostraram que é possível aprimorar a

degradabilidade de uma composição plástica que compreende poliéster e entidades biológicas que têm uma atividade de degradação de poliéster pela adição de carga antiácida. A presença da carga antiácida, embutida na massa do poliéster com as entidades biológicas intensifica a atividade das ditas entidades biológicas. Mais particularmente, a atividade de despolimerase das entidades biológicas na composição plástica que contém poliéster na presença de carga antiácida é maior do que sem tal carga antiácida na composição. Desse modo, a taxa de degradação de uma composição da invenção e/ou artigo plástico produzido com a tal composição é aprimorada (isto é, maior) do que a taxa de degradação da composição/artigo plástico desprovido de tal carga antiácida.

[0034] Consiste, portanto, em um objetivo da invenção fornecer uma composição plástica que compreende pelo menos um poliéster, entidades biológicas que têm uma atividade de degradação de poliéster e pelo menos uma carga antiácida. De acordo com a invenção, tais entidades biológicas representam menos de 11 % em peso da composição plástica. Particularmente, as entidades biológicas representam entre 0,1 % e 10 % em peso da composição plástica.

[0035] Consiste em um outro objetivo da invenção fornecer um método para intensificar a degradabilidade de uma composição plástica que contém poliéster, ou qualquer produto plástico produzido com a dita composição plástica, em que ambas as entidades biológicas têm atividade de degradação de poliéster e a carga (ou cargas) antiácida é adicionada na composição plástica. Vantajosamente, tanto as entidades biológicas quanto a carga antiácida são misturadas com o poliéster para formar a composição plástica que pode ser adicionalmente usada para fabricar quaisquer produtos plásticos.

[0036] A invenção se refere adicionalmente ao uso de carga antiácida para intensificar a atividade de entidades biológicas e, mais particularmente, sua atividade de degradação de poliéster, em uma composição plástica que

contém poliéster.

[0037] Em uma modalidade específica, a composição plástica compreende menos de 50 %, de preferência, menos de 40 %, 30 %, 25 %, 20 %, 10 %, 9 %, 8 %, 7 %, 6 % em peso de carga antiácida. Particularmente, a composição plástica compreende entre 0,1 % e 50 % em peso de carga antiácida, de preferência, entre 2 % e 25 %, com mais preferência, entre 2 % e 15 %, ainda com mais preferência, entre 5 % e 10 %. Em uma modalidade específica, a composição plástica compreende cerca de 10 % em peso de carga antiácida. Em uma outra modalidade, a composição plástica compreende cerca de 5 % em peso de carga antiácida.

[0038] As cargas antiácidas podem ser minerais ou orgânicas. Em uma modalidade específica, a carga antiácida é selecionada dentre cargas antiácidas minerais. Tal carga antiácida mineral pode ser sintética ou natural. Os exemplos de carga antiácida mineral incluem, sem limitação:

- sais de carbonato ou carbonato de metal como carbonato de cálcio (ou calcário), carbonato de potássio, carbonato de magnésio, carbonato de alumínio, carbonato de zinco, carbonato de cobre
- sal de hidróxido ou hidróxido de metal como hidróxido de cálcio ou hidróxido de potássio (potassa) ou hidróxido de magnésio ou hidróxido de alumínio ou hidróxido de sódio (soda cáustica)
- sais de silicato como silicato de cálcio, silicato de potássio, silicatos de magnésio (talco), silicato de alumínio (caulim), ou misturas dos mesmos como mica
- hidrotalcita (carbonato de hidróxido de alumínio e magnésio, $Mg_6Al_2CO_3(OH)_{16} \cdot 4(H_2O)$) como DHT-4A2 ou DHT-4A comercial sintético
- óxido metálico ou sais de óxido como óxido de magnésio, óxido de cálcio, óxido de alumínio, óxido de ferro, óxido de cobre
- sais de sulfato como sulfato de cálcio (gesso), sulfato de bário

- sais de fosfato como fosfato de cálcio, hidroxiapatita
- argilas como vermiculita, paligorsquita-sepiolita e argilas de esmecitita como montmorilonita.

[0039] De preferência, a carga antiácida mineral é selecionada dentre carbonato de cálcio, hidróxido de cálcio, hidrotalcita, talco, mica ou argila.

[0040] Consiste em um objetivo específico da invenção fornecer uma composição plástica que compreende PLA e/ou PCL, entidades biológicas com capacidade de degradar PLA e/ou PCL e entre 1 e 50 % em peso de carbonato de cálcio e/ou hidrotalcita e/ou hidróxido de cálcio. De preferência, as entidades biológicas compreendem uma protease selecionada dentre Savinase®, Everlase®, Enzima protease de *Actinomadura keratinilytica* ou de *Laceyella sacchari* LP175, lipase PS de *Pseudomonas cepacia*, lipase AK de *Pseudomonas fluorescens*, lipase B de *Candida antarctica* (CalB).

[0041] Em uma modalidade específica, a razão molar (carga antiácida)/(ácido contido no poliéster) é menor que 0,5, de preferência, menor que 0,45, com mais preferência, menor que 0,4. Por exemplo, em uma composição plástica que contém PLA da invenção, a razão molar (carga antiácida)/(ácido láctico) é menor que 0,5, de preferência, menor que 0,45, com mais preferência, menor que 0,4.

Entidades biológicas

[0042] De acordo com a invenção, a composição plástica compreende entidades biológicas adequadas para degradar pelo menos um poliéster contido na dita composição plástica. Os inventores mostraram que a presença de carga (ou cargas) antiácida embutida em uma composição plástica com entidades biológicas permite aumentar sua atividade enzimática e, desse modo, intensificar a degradabilidade da composição plástica.

[0043] Em uma modalidade preferencial, as entidades biológicas compreendem pelo menos uma enzima com atividade de degradação de poliéster e/ou pelo menos um microrganismo que expressa e, opcionalmente excreta, uma enzima que tem uma atividade de degradação de poliéster. Em uma modalidade

preferencial, as entidades biológicas consistem em pelo menos uma enzima com atividade de degradação de poliéster. Os exemplos de enzimas adequadas que têm uma atividade de degradação de poliéster para uso na invenção incluem, sem limitação, despolimerase, esterase, lipase, cutinase, carboxilesterase, protease ou poliesterase. As enzimas podem estar na forma pura ou enriquecida, ou em mistura com outros excipientes ou diluentes. Uma combinação de enzimas pode ser usada também.

[0044] Em uma modalidade alternativa, as entidades biológicas compreendem microrganismos que produzem tais enzimas, seja naturalmente ou como resultado de manipulação específica (por exemplo, microrganismos recombinantes). Os exemplos preferenciais de microrganismos adequados incluem, sem limitação, bactérias, fungos e leveduras. Em uma modalidade, as entidades biológicas compreendem microrganismos esporulados e/ou esporos dos mesmos.

[0045] Em uma modalidade específica, as entidades biológicas compreendem enzimas encapsuladas em nanocápsulas, enzimas encapsuladas em moléculas em gaiola, e enzimas agregadas juntas. O termo "molécula em gaiola" designa uma molécula que pode ser inserida na estrutura das ditas enzimas para estabilizar as mesmas e para torná-las resistentes a altas temperaturas. As técnicas de encapsulação são bem conhecidas por aqueles versados na técnica e incluem, por exemplo, nanoemulsões.

[0046] As entidades biológicas podem ser fornecidas em uma forma líquida ou sólida. Por exemplo, as entidades biológicas podem estar em uma forma de pó. Para esse fim, as entidades biológicas podem ser secas ou desidratadas. Os métodos para secagem ou desidratação de entidades biológicas como microrganismos ou enzimas são bem conhecidos por um versado na técnica e incluem, sem limitação, liofilização, secagem por congelamento, secagem por aspersão, secagem supercrítica, evaporação por corrente descendente, evaporação de camada fina, evaporação centrífuga, secagem em transportador,

secagem em leito fluidizado, secagem em tambor ou qualquer combinação dos mesmos.

[0047] Em uma modalidade específica, as entidades biológicas usadas para preparar a composição plástica são uma formulação de enzimas e/ou microrganismos misturados com um diluente ou carreador, como componente (ou componentes) estabilizador e/ou solubilizante. Por exemplo, a formulação pode ser uma solução que compreende enzimas e/ou microrganismos em suspensão em água e, opcionalmente, componentes adicionais, como glicerol, sorbitol, dextrina, amido, glicol como propanodiol, sal, etc. Alternativamente, a formulação pode ser um pó que compreende enzimas e/ou microrganismos na forma de pó misturados com um pó estabilizador, como maltodextrina.

[0048] Em uma modalidade específica, as entidades biológicas usadas para preparar a composição plástica estão contidas em um lote mestre que compreende tais entidades biológicas misturadas com um polímero. Tal composição de lote mestre pode compreender de 11 % a 90 % em peso de entidades biológicas que têm uma atividade de degradação de poliéster, com base no peso total da composição de lote mestre. De preferência, o polímero do lote mestre é compatível com o poliéster da composição plástica. Particularmente, tal polímero é o poliéster da composição plástica pretendida. O lote mestre é misturado com o poliéster da composição plástica de modo que a composição plástica compreenda entre 0,1 e 10 % em peso de entidades biológicas.

[0049] Em uma outra modalidade específica, as entidades biológicas compreendem o sobrenadante de cultura de um microrganismo de degradação de poliéster. Nesse sentido, um objetivo específico da invenção se refere a uma composição plástica conforme definido acima, que compreende entre 0,1 % e 10 %, em peso de um sobrenadante de cultura de um microrganismo de degradação de polímero. O sobrenadante pode ter sido tratado preliminarmente (por exemplo, mecânica ou física ou quimicamente) para aumentar a concentração de

enzimas e/ou para remover outros componentes como restos de DNA ou célula.

Composições plásticas

[0050] Consiste em um objetivo da invenção fornecer composições plásticas que compreendem entidades biológicas ativas embutidas com uma carga antiácida em um poliéster. As composições plásticas da invenção podem ser facilmente usadas para preparar adicionalmente artigos plásticos com degradabilidade aprimorada em condições ambientais.

[0051] A composição plástica pode estar na forma sólida (por exemplo, pó ou grânulos) ou na forma líquida. De preferência, a composição plástica está em uma forma física sólida com um índice de fluidez compreendido entre 1 e 60 g/10 min. Tal índice de fluidez pode ser medido por meio de técnicas conhecidas por uma pessoa versada na técnica como plastômetro de extrusão de fluxo ou reômetros capilares. A forma da composição plástica pode ser vantajosamente adaptada ao propósito final da dita composição (por exemplo, a natureza do polímero, o tipo de produto plástico a ser produzido, etc.).

[0052] Vantajosamente, a composição plástica compreende pelo menos um poliéster selecionado dentre ácido poliláctico (PLA) (como poli(ácido L-láctico) (PLLA), poli(ácido D-láctico) (PDLA), poli(ácido D,L-láctico) (PDLLA) ou estereocomplexo de PLA (scPLA)), ácido poliglicólico (PGA), poli-hidroxialcanoato (PHA), policaprolactona (PCL), succinato de polibutileno (PBS), tereftalato de polibutileno (PBT), tereftalado de isossorbido de polietileno (PEIT), adipato de succinato de polibutileno (PBSA), tereftalato de adipato de polietileno (PBAT), tereftalato de polietileno (PET), tereftalato de politrimetileno (PTT), furonato de polietileno (PEF), adipato de poli(etileno) (PEA), naftalato de polietileno (PEN), e derivados ou mesclas/misturas dos mesmos.

[0053] Em uma modalidade preferencial, a composição plástica compreende pelo menos PLA e/ou PCL e, opcionalmente,

um ou mais poliésteres, de preferência, selecionados dentre PBAT, PBS, PBSA e PHA.

[0054] Em uma modalidade específica, a composição plástica pode compreender adicionalmente pelo menos um polímero natural, de preferência, selecionado dentre celulose, hemicelulose, amido e derivados. De preferência, a composição plástica da invenção compreende PLA e/ou PCL e pelo menos um polímero adicional selecionado dentre PBAT, amido ou farinha ou misturas dos mesmos.

[0055] Em uma modalidade específica, a composição plástica compreende PLA e/ou PCL e pelo menos uma poliolefina.

[0056] De acordo com a invenção, a composição plástica pode compreender adicionalmente um ou mais aditivos. Falando de modo geral, os aditivos são usados a fim de intensificar as propriedades específicas no produto final (isto é, o artigo plástico final produzido com a dita composição plástica). Por exemplo, os aditivos podem ser selecionados a partir do grupo que consiste, sem limitação, em plastificantes, agentes de coloração, auxiliadores de processamento, agentes reológicos, agentes antiestáticos, agentes anti-UV, agentes de têmpera, agentes antiembaçamento, compatibilizadores, agentes de deslizamento, agentes retardadores de chama, antioxidantes, fotoestabilizantes, sequestrantes de oxigênio, tintas, adesivos, fertilizantes e produtos fitossanitários. Vantajosamente, a composição plástica compreende menos de 25 % em peso de tais aditivos, de preferência, menos de 20 %, com mais preferência, menos de 10 %, ainda com mais preferência, menos de 5 %, tipicamente entre 0,1 e 4 % em peso de tais aditivos.

[0057] Alternativa ou adicionalmente, a composição plástica pode compreender adicionalmente uma ou mais cargas adicionais. Por exemplo, tais cargas podem ser selecionadas dentre o grupo que consiste, sem limitação, em sílica, grafite, negro de fumo, fibras de metal ou flocos de metal, fibras de vidro, cargas magnéticas, fibras de aramida, fibras cerâmicas, serragem, fibras vegetais como fibras de linho,

fibras de madeira, fibras de cânhamo, fibras de bambu, penas de galinha e derivados dos mesmos ou mesclas/misturas desses materiais.

[0058] Em uma modalidade específica, a composição plástica compreende, com base no peso total da composição plástica:

- de 65 a 95 % em peso de pelo menos um poliéster;
- de 2 a 25 % em peso de pelo menos uma carga antiácida;
- de 0,1 a 10 % em peso de entidades biológicas que têm uma atividade de degradação de poliéster; e, opcionalmente,
- pelo menos um polímero e/ou aditivo adicional e/ou carga adicional.

[0059] Particularmente, a composição plástica compreende, com base no peso total da composição plástica:

- de 65 a 95 % em peso de PLA;
- de 2 a 25 % em peso de pelo menos uma carga antiácida, de preferência, selecionada dentre hidrotalcita, carbonato de cálcio, hidróxido de cálcio, talco, mica e argila;
- de 0,1 a 10 % em peso de protease que tem uma atividade de degradação de PLA; e, opcionalmente,
- pelo menos um polímero e/ou um aditivo adicional e/ou uma carga adicional.

[0060] Em uma outra modalidade específica, a composição plástica compreende, com base no peso total da composição plástica:

- de 5 a 65 % em peso de um primeiro poliéster;
- de 10 a 60 % em peso de um segundo poliéster e/ou polímero natural como amido ou farinha;
- de 2 a 25 % em peso de pelo menos uma carga antiácida;
- de 0,1 a 10 % em peso de entidades biológicas que têm uma atividade de degradação para o primeiro poliéster; e, opcionalmente,
- pelo menos um aditivo e/ou uma carga adicional.

[0061] Particularmente, a composição plástica compreende, com base no peso total da composição plástica:

- de 5 a 65 % em peso de PLA;
- de 10 a 60 % em peso de pelo menos um poliéster adicional selecionado dentre PBAT, PHAs, PBS ou PBSA e/ou um polímero natural selecionado dentre amido ou farinha;
- de 2 a 25 % em peso de pelo menos uma carga antiácida selecionada dentre hidrotalcita, carbonato de cálcio, hidróxido de cálcio, talco, mica e argila;
- de 0,1 a 10 % em peso de protease que tem uma atividade de degradação de PLA; e, opcionalmente,
- pelo menos um aditivo e/ou uma carga adicional.

[0062] A Tabela 1 abaixo lista exemplos de composições plásticas específicas de acordo com a invenção em que a carga antiácida é ou compreende CaCO_3 . De preferência, o poliéster é PLA, as entidades biológicas compreendem protease que tem uma atividade de degradação de PLA.

Tabela 1: Composição de composições plásticas biodegradáveis que compreendem CaCO_3

Quantidade de Poliéster	Quantidade de Entidades Biológicas	Quantidade de CaCO_3 .	Quantidade de polímero (ou polímeros) adicional e/ou carga (ou cargas) adicional e/ou aditivo (ou aditivos)
3 % a 97 %	0,1 a 10 %	2 %	0 % a 94 %
8 % a 94 %	0,1 a 10 %	5 %	0 % a 86 %
15 % a 89 %	0,1 a 10 %	10 %	0 % a 74 %
22 % a 84 %	0,1 a 10 %	15 %	0 % a 62 %
29 % a 79 %	0,1 a 10 %	20 %	0 % a 50 %
36 % a 74 %	0,1 a 10 %	25 %	0 % a 38 %
44 % a 69 %	0,1 a 10 %	30 %	0 % a 25 %
58 % a 60 %	0,1 a 10 %	40 %	0 % a 2 %
5 %	0,1 a 10 %	0,1 a 3 %	82 % a 94 %
10 %	0,1 a 10 %	0,1 a 6 %	74 % a 89 %

20 %	0,1 a 10 %	0,1 a 13 %	57 % a 79 %
30 %	0,1 a 10 %	0,1 a 20 %	40 % a 69 %
40 %	0,1 a 10 %	0,1 a 27 %	23 % a 59 %
50 %	0,1 a 10 %	0,1 a 34 %	6 % a 49 %
60 %	0,1 a 10 %	0,1 a 40 %	0 % a 39 %
70 %	0,1 a 10 %	0,1 a 30 %	0 % a 29 %
80 %	0,1 a 10 %	0,1 a 20 %	0 % a 19 %
90 %	0,1 a 10 %	0,1 a 10 %	0 % a 9 %

[0063] A Tabela 2 abaixo lista exemplos de composições plásticas específicas de acordo com a invenção em que a carga antiácida é ou compreende CaOH_2 . Tais composições plásticas podem conter também um ou mais aditivos e/ou cargas adicionais. De preferência, o Poliéster é PLA, as entidades biológicas compreendem protease que tem uma atividade de degradação de PLA.

Tabela 2: Composição de composições plásticas biodegradáveis

Quantidade de Poliéster	Quantidade de Entidades Biológicas	Quantidade de CaOH_2 .	Quantidade de polímero (ou polímeros) adicional e/ou carga (ou cargas) adicional e/ou aditivo (ou aditivos)
4 % a 97 %	0,1 a 10 %	2 %	0 % a 93 %
10 % a 94 %	0,1 a 10 %	5 %	0 % a 84 %
20 % a 89 %	0,1 a 10 %	10 %	0 % a 69 %
30 % a 84 %	0,1 a 10 %	15 %	0 % a 54 %
39 % a 79 %	0,1 a 10 %	20 %	0 % a 40 %
49 % a 74 %	0,1 a 10 %	25 %	0 % a 25 %
59 % a 69 %	0,1 a 10 %	30 %	0 % a 10 %
64 % a 66 %	0,1 a 10 %	33 %	0 % a 2 %
5 %	0,1 a 10 %	0,1 a 2 %	83 % a 94 %
10 %	0,1 a 10 %	0,1 a 5 %	75 % a 89 %
20 %	0,1 a 10 %	0,1 a 10 %	60 % a 79 %

30 %	0,1 a 10 %	0,1 a 15 %	45 % a 69 %
40 %	0,1 a 10 %	0,1 a 20 %	30 % a 59 %
50 %	0,1 a 10 %	0,1 a 25 %	15 % a 49 %
60 %	0,1 a 10 %	0,1 a 30 %	0 % a 39 %
70 %	0,1 a 10 %	0,1 a 30 %	0 % a 29 %
80 %	0,1 a 10 %	0,1 a 20 %	0 % a 19 %
90 %	0,1 a 10 %	0,1 a 10 %	0 % a 9 %

[0064] Em uma modalidade específica, a composição plástica é uma composição plástica biodegradável de acordo com pelo menos um dos padrões e/ou rótulos relevantes conhecidos por uma pessoa versada na técnica como padrão EN 13432, padrão ASTM D6400, OK Biodegradation Soil (Label Vinçotte), OK Biodegradation Water (Label Vinçotte), OK Compost (Label Vinçotte), OK Compost Home (Label Vinçotte).

[0065] Uma composição plástica biodegradável se refere a uma composição plástica que é pelo menos parcialmente transformada sob condições ambientais em oligômeros e/ou monômeros de pelo menos um poliéster da composição plástica, água, dióxido de carbono ou metano ou biomassa. Conforme ilustrado nos exemplos, as composições plásticas preferenciais da invenção são biodegradáveis em água. De preferência, cerca de 90 % em peso da composição plástica é biodegradado em água dentro de menos de 90 dias, com mais preferência, dentro de menos de 60 dias, ainda com mais preferência, dentro de menos de 30 dias. Alternativa ou adicionalmente, a composição plástica pode ser biodegradada quando exposta às condições de umidade e temperatura que ocorrem nos cenários. De preferência, cerca de 90 % em peso da composição plástica é biodegradado com menos de 3 anos no ambiente, com mais preferência, dentro de menos de 2 anos, ainda com mais preferência, dentro de menos de 1 ano. Alternativamente, a composição plástica pode ser biodegradada sob condições de compostagem industrial, em que a temperatura é mantida acima de 50 °C.

Processo para produzir as composições plásticas

[0066] A presente invenção também se refere a um processo para preparar uma composição plástica conforme descrito acima, que compreende uma etapa (a) de misturar 0,1 % a 10 % em peso de entidades biológicas que têm uma atividade de degradação de poliéster, com um poliéster e uma carga antiácida, e, opcionalmente, uma etapa (b) de condicionar a dita mistura da etapa (a) em uma forma sólida. Em uma modalidade específica, o processo compreende adicionalmente uma etapa de misturar pelo menos um aditivo com o poliéster, entidades biológicas e carga antiácida, antes da etapa (b). Alternativamente, tal aditivo pode ser misturado na etapa (a) com o poliéster, entidades biológicas e carga antiácida.

[0067] Em uma modalidade específica, a etapa (a) de misturar é realizada em temperatura ambiente, isto é, uma temperatura abaixo de 45 °C, de preferência, abaixo de 35 °C, com mais preferência, entre 30 °C e 20 °C, misturando-se pós e/ou líquidos.

[0068] Em uma modalidade específica, o poliéster usado na etapa (a) está sob uma forma granulada. Em uma outra modalidade, o poliéster, a carga antiácida e as entidades biológicas estão sob a forma de pó. Com esse objetivo, o poliéster e/ou a carga antiácida e/ou as entidades biológicas podem ser mecanicamente pré-tratados antes da etapa (a) de misturar, para levar a tais formas em pó. Particularmente, o poliéster e/ou a carga antiácida podem ser triturados, e/ou as entidades biológicas podem ser secas ou desidratadas. De preferência, o processo compreende adicionalmente uma etapa de homogeneização dos pós (isto é, poliéster e carga antiácida e entidades biológicas), por exemplo, por meio de agitação ou semelhantes. Tal mistura de pó pode ser mesclada em uma extrusora, como extrusoras de rosca única, extrusoras de múltiplas roscas de projeto cogiratório ou contragiratório, amassadores dispersivos, extrusora de rosca única reciprocante (coamassadores). Tal etapa de extrusão pode garantir uniformidade e homogeneidade da dispersão tanto

de entidades biológicas quanto de carga antiácida na composição que contém poliéster.

[0069] Alternativamente, a etapa (a) de misturar é realizada com formas líquidas de poliéster, carga antiácida e/ou entidades biológicas. Por exemplo, o poliéster e/ou a carga antiácida são diluídos em um líquido antes da etapa (a) e/ou uma formulação líquida de entidades biológicas que podem compreender componente (ou componentes) estabilizadores e/ou solubilizantes é usada.

[0070] Alternativamente, a etapa (a) de misturar é realizada em uma temperatura na qual o poliéster está em um estado parcial ou totalmente fundido. A etapa (a) de misturar pode, então, ser realizada em uma temperatura de 40 °C ou acima, particularmente em ou acima de 45 °C, 55 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C, 90 °C, 100 °C, ou ainda acima de 150 °C, dependendo da natureza do poliéster. Tipicamente, essa temperatura não excede 300 °C. Mais particularmente, a temperatura não excede 250 °C. A temperatura da etapa de misturar pode ser adaptada por uma pessoa versada na técnica dependendo do tipo de poliéster, entidades biológicas, e/ou carga antiácida usados para a produção da composição plástica. Particularmente, a temperatura é escolhida de acordo com o ponto de fusão, ou temperatura de fusão do poliéster. Em uma modalidade específica, a etapa (a) de misturar é realizada no ponto de fusão do poliéster da composição plástica. O poliéster está, então, em um estado parcial ou totalmente fundido. Em uma outra modalidade, a etapa (a) de misturar é realizada em uma temperatura acima da temperatura de transição do vidro do dito poliéster, particularmente entre a temperatura de transição do vidro (T_g) e a temperatura de fusão do dito poliéster. Em uma modalidade específica, a etapa (a) de misturar é realizada em uma temperatura acima da temperatura de fusão do dito poliéster.

[0071] Em uma modalidade específica, a composição plástica pode ser produzida por meio de um processo chamado

"compostagem", normalmente um processo de granulação por extrusão, em que o poliéster é fundido e misturado com as entidades biológicas e a carga antiácida. A compostagem combina técnicas de mistura e mescla durante um processo térmico, a fim de garantir a uniformidade, homogeneidade e dispersão no composto final. A compostagem é uma técnica conhecida por uma pessoa versada na técnica. Tal processo de formação de composto pode ser executado com uma extrusora, tais como extrusoras de rosca única, extrusoras de múltiplas roscas de projeto cogiratório ou contragiratório, amassadores dispersivos, extrusora de rosca única reciprocante (coamassadores).

[0072] De modo mais geral, a etapa (a) de misturar pode ser realizada com uma extrusora, em que o poliéster é aquecido e fundido e misturado com as entidades biológicas e a carga antiácida. O poliéster pode ser introduzido na extrusora em uma forma em pó ou granulada, de preferência, em uma forma granulada.

[0073] Em uma modalidade preferencial, a extrusora usada para a produção da composição plástica é uma extrusora de múltiplas roscas, de preferência, uma extrusora de rosca dupla, com mais preferência, uma extrusora de rosca dupla corrotativa. Em uma modalidade específica, a extrusora compreende adicionalmente, após as roscas, um misturador estático. Em uma outra modalidade, a extrusora é usada com um molde perfurado com orifício (ou orifícios).

[0074] Em uma modalidade preferencial, o tempo de permanência da mistura na extrusora é compreendido entre 5 segundos e 3 minutos, de preferência, é menos de 2 minutos, com mais preferência, menos de 1 minuto. Quando a composição plástica compreender um poliéster com uma temperatura de fusão abaixo de 150 °C, o tempo de permanência da mistura na extrusora é, de preferência, menos de 2 minutos.

[0075] Um versado na técnica adaptará facilmente as características da extrusora (por exemplo, o comprimento e o diâmetro da rosca (ou roscas), etc.), e o tempo de

permanência para o poliéster, as entidades biológicas, e o tipo de composição plástica pretendido.

[0076] Como revelado acima, as entidades biológicas podem ser introduzidas na extrusora em uma forma de pó ou líquida como uma formulação líquida que compreende um componente de estabilização e/ou solubilização (por exemplo, água, glicerol, sorbitol, dextrina, incluindo maltodextrinas e ciclodextrinas, amido, glicol como propanodiol, sal etc.).

[0077] Particularmente, tal extrusora pode conter um alimentador principal e diversas zonas de aquecimento sucessivas, em que a temperatura pode ser independentemente controlada e regulada e em que os componentes adicionais podem ser adicionados em tempos diferentes durante o processo.

[0078] Vantajosamente, a carga antiácida é introduzida em um estágio posterior da etapa de mistura e, mais particularmente, quando o poliéster estiver em um estado parcial ou totalmente fundido. Então, uma mistura homogênea é favorecida.

[0079] Vantajosamente, as entidades biológicas são introduzidas em um estágio posterior da etapa de mistura (isto é, nas últimas zonas de aquecimento) e, mais particularmente, quando o poliéster estiver em um estado parcial ou totalmente fundido e após a carga antiácida ter sido adicionada. Desse modo, a exposição à temperatura elevada é reduzida. De preferência, o tempo de permanência das entidades biológicas na extrusora é a metade do tempo de permanência do poliéster e/ou da carga antiácida, ou menos.

[0080] De acordo com a invenção, após a etapa (a) de misturar, a mistura pode ser condicionada (b) em qualquer forma sólida adequada. Nesse sentido, em uma modalidade preferencial, a mistura emitida a partir da etapa (a) é conformada em uma haste através de um molde. A haste é, então, resfriada e, opcionalmente, seca antes de ser cortada na forma de granulados de composição plástica. Em uma modalidade adicional, os ditos granulados da composição

plástica podem ser pulverizados ou micronizados para produzir um pó da dita composição plástica.

[0081] Quando a mistura emitida da etapa (a) for uma mistura em pó, é possível submeter a mistura em pó a um processo de granulação por extrusão, de preferência, em uma extrusora para que a mistura esteja em um estado parcial ou totalmente fundido, antes da etapa (b).

[0082] Alternativamente, a mistura emitida da etapa (a) pode ser aglomerada em uma forma física sólida.

[0083] Em uma modalidade específica, a presente invenção se refere a um processo para preparar uma composição plástica, que compreende uma etapa (a) de misturar entre 0,1 % e 10 % em peso de proteases que têm uma atividade de degradação de PLA, com base no peso total da composição plástica, com PLA e uma carga antiácida e uma etapa (b) de condicionar a dita mistura da etapa (a) em uma forma sólida, em que a etapa (a) de misturar é, de preferência, realizada em uma temperatura entre 150 e 180 °C e/ou em uma extrusora, de preferência a extrusora de rosca dupla e, com mais preferência, uma extrusora de rosca dupla corrotativa, e em que a carga antiácida é, de preferência, selecionada dentre hidrotalcita, carbonato de cálcio e/ou hidróxido de cálcio.

[0084] Em uma outra modalidade específica, a presente invenção se refere a um processo para preparar uma composição plástica, que compreende uma etapa (a) de misturar entre 0,1 % e 10 % em peso de lipases que têm uma atividade de degradação de PCL, com base no peso total da composição plástica, com PCL e uma carga antiácida e uma etapa (b) de condicionar a dita mistura da etapa (a) em uma forma sólida, em que a etapa (a) de misturar é, de preferência, realizada em uma temperatura entre 60 e 80°C e/ou em uma extrusora, de preferência a extrusora de rosca dupla e, com mais preferência, uma extrusora de rosca dupla corrotativa, e em que a carga antiácida é, de preferência, selecionada dentre hidrotalcita, carbonato de cálcio e/ou hidróxido de cálcio.

[0085] Em uma modalidade específica, a composição plástica

pode ser obtida por meio de um processo de adsorção de enzima (Jesionowski *et al.*, Adsorption (2014) 20:801-821). A pessoa versada na técnica adaptará facilmente o processo ao tipo de composição plástica, entidades biológicas e/ou carga antiácida.

[0086] De modo mais geral, a composição plástica pode ser produzida por meio de quaisquer técnicas conhecidas por uma pessoa versada na técnica.

Artigos plásticos

[0087] A invenção também se refere ao uso de tais composições plásticas para fabricar artigos plásticos com degradabilidade aprimorada e/ou controlada.

[0088] Consiste também em um objetivo da invenção fornecer um artigo plástico produzido com a composição plástica da invenção, em que as entidades biológicas da composição plástica são adequadas para degradar pelo menos um poliéster do artigo plástico e a carga antiácida tem capacidade de intensificar a atividade de degradação das entidades biológicas.

[0089] Portanto, a invenção se refere a um método para fabricar um artigo plástico que compreende pelo menos um poliéster, sendo que o método compreende:

- A. fornecer uma composição plástica da invenção; e
- B. conformar a dita composição plástica em um artigo plástico.

[0090] Vantajosamente, a etapa B é implantada a uma temperatura na qual o poliéster da composição plástica está em um estado parcial ou totalmente fundido. Por exemplo, a etapa B pode ser realizada a uma temperatura a 40 °C ou acima, particularmente a ou acima de 45 °C, 55 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C, 90 °C, 100 °C, ou ainda acima de 150 °C, dependendo da natureza do poliéster na composição plástica. Tipicamente, essa temperatura não excede 300 °C. Mais particularmente, a temperatura não excede 250 °C. A temperatura da etapa B pode ser adaptada por uma pessoa versada na técnica dependendo do tipo da composição plástica

e/ou do tipo dos artigos plásticos pretendidos. Particularmente, a temperatura é escolhida de acordo com o ponto de fusão, ou temperatura de fusão do poliéster da composição plástica.

[0091] Em uma modalidade específica, a etapa B é realizada no ponto de fusão do poliéster. O poliéster está, então, em um estado parcial ou totalmente fundido. Em uma outra modalidade, a etapa B é realizada a uma temperatura entre a temperatura de transição do vidro (Tg) e o ponto de fusão do dito poliéster. Em uma modalidade específica, a etapa B é realizada a uma temperatura acima do ponto de fusão do dito poliéster.

[0092] Tipicamente, a dita etapa B pode ser realizada por meio de extrusão, composição de extrusão, moldagem por sopro de extrusão, extrusão de filme soprado, extrusão de filme fundido, calandragem e termoformação, moldagem por injeção, moldagem por compressão, expansão por extrusão, moldagem giratória, engomadura, revestimento, estratificação, expansão, pultrusão, granulação por compressão ou impressão em 3D. Tais operações são bem conhecidas pela pessoa versada na técnica, que adaptará facilmente as condições de processo (por exemplo, temperatura, tempo de permanência, etc.).

[0093] Em uma modalidade específica, a etapa B é implantada com uma composição plástica sólida sob uma forma de pó ou granulada, de preferência, sob uma forma granulada. Em uma outra modalidade, a etapa B é implantada com uma composição plástica líquida.

[0094] Vantajosamente, o artigo plástico resultante é um artigo plástico biodegradável que se conforma a pelo menos um dos padrões relevantes e/ou rótulos conhecidos por um elemento versado na técnica como o padrão EN 13432, padrão ASTM D6400, OK Biodegradation Soil (Label Vinçotte), OK Biodegradation Water (Label Vinçotte), OK Compost (Label Vinçotte), OK Compost Home (Label Vinçotte).

[0095] Um artigo plástico biodegradável se refere a um artigo plástico que é pelo menos parcialmente transformado

sob condições ambientais em oligômeros e/ou monômeros de pelo menos um poliéster do artigo plástico, água, dióxido de carbono ou metano ou biomassa. Por exemplo, o artigo plástico é biodegradável em água. De preferência, cerca de 90 % em peso do artigo plástico é biodegradado em água dentro de menos de 90 dias, com mais preferência, dentro de menos de 60 dias, ainda com mais preferência, dentro de menos de 30 dias. Com mais preferência, o artigo plástico pode ser biodegradado quando exposto às condições úmidas e de temperatura que ocorrem nos cenários. De preferência, cerca de 90 % em peso do artigo plástico é biodegradado com menos de 3 anos no ambiente, com mais preferência, dentro de menos de 2 anos, ainda com mais preferência, dentro de menos de 1 ano. Alternativamente, o artigo plástico pode ser biodegradado sob condições de compostagem industrial, em que a temperatura é mantida acima de 50 °C.

[0096] A invenção também fornece um método para aumentar a biodegradabilidade de um artigo plástico que compreende pelo menos um poliéster, em que o método compreende a etapa de misturar um poliéster tanto com entidades biológicas adequadas para degradar o dito poliéster quanto a carga antiácida para obter uma composição plástica e a etapa de fabricar um artigo plástico com a dita composição plástica.

EXEMPLOS

Exemplo 1 - Composição plástica que compreende o ácido poliláctico (PLA), Savinase®, e carbonato de cálcio ou hidróxido de cálcio como carga antiácida.

1A- Processo de fabricação da composição plástica através de um processo de extrusão

[0097] As formulações A-E (Tabela 3) foram preparadas a fim de avaliar a habilidade do Carbonato de cálcio (CaCO₃) ou Hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂), como cargas antiácidas, para aumentar a degradação de composições de PLA.

Tabela 3: Formulações

	PLA	Protease (Savinase®)	Dextrina	CaCO ₃	Ca (OH) ₂
--	-----	-------------------------	----------	-------------------	----------------------

A	95 %	2,5 %	2,5 %	-	-
B	95 %	2,5 %	-	2,5 %	
C	95 %	2,5 %	-	-	2,5 %
D	95 %	-	2,5 %	2,5 %	-
E	95 %	-	2,5 %	-	2,5 %

As porcentagens são dadas em peso, com base no peso total da formulação.

[0098] A corresponde ao controle: a carga antiácida foi substituída por uma dextrina neutra; D e E correspondem aos controles negativos, desprovidos de protease.

As formulações foram preparadas com o uso de:

- PLA (polímero de ácido poliláctico, PLA 4043D da NatureWorks), sob uma forma de pó (< 500 µm) obtida a partir de péletes de PLA imersos em nitrogênio líquido e micronizados com o uso de um sistema Ultra Centrifugal Mill ZM 200.
- Savinase® 16L da Novozymes, sob a forma sólida, que é conhecido por ter a habilidade de degradar PLA (Degradação de Polilactídeo por proteases comerciais; Y. Oda, A. Yonetsu, T. Urakami e K. Tonomura; 2000). A forma sólida de Savinase® 16L foi obtida a partir da forma líquida comercial por meio de ultrafiltração em 3,5 kDa de membrana, diafiltração, adição de dextrina e secagem por congelamento.
- dextrina (MALDEX 190 Wheat da Terreos) ou carbonato de cálcio (CaCO₃ da OMYA) ou hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂ da Sigma Aldrich).

[0099] Com base nessas formulações, as composições plásticas à base de ácido poliláctico biodegradáveis foram preparadas através de um processo de extrusão.

[00100] Uma máquina de compostagem, ou extrusora de rosca dupla corrotativa, foi usada ("Haake MiniLab II ThermoFisher"). Essa máquina de compostagem compreendeu sucessivamente um elemento de alimentação manual, duas roscas corrotativas e a cabeça da rosca dupla.

[00101] Todos os pós foram misturados juntos por meio de agitação manual antes da introdução na máquina de compostagem. A mistura foi, então, introduzida na zona de alimentação, e empurrada na extrusora de rosca aplicando pressão manual. A mistura passou através de roscas corrotativas com o uso de uma velocidade de rotação da rosca dupla de 80 rpm. A temperatura da extrusão foi fixada em 165 °C. A mistura de PLA, entidades biológicas e carga antiácida (ou dextrina) chegou, então, na cabeça da rosca, compreendendo um orifício de 0,4 mm em diâmetro, em que a mistura foi empurrada a fim de formar formatos de tira. Esse extrusado foi, então, cortado com alicates de corte para obter a composição plástica sob forma granulada.

1B- Testes de biodegradabilidade das composições plásticas

[00102] A biodegradabilidade das composições plásticas obtida a partir do exemplo 1A foi avaliada.

[00103] 100 mg de cada amostra granulada (de A a E) foram pesados e introduzidos na tubulação de diálise. 3 ml de 0,1 M de tampão de Tris-HCl pH 9,5 foram adicionados na tubulação de diálise antes de fechar a mesma. A tubulação de diálise foi, então, introduzida em uma garrafa plástica contendo 50 ml de 0,1 M de tampão de Tris-HCl pH 9,5.

[00104] A despolimerização foi iniciada incubando-se cada amostra a 45 °C, 150 rpm em um agitador de incubação HT Multitron Pro. As alíquotas de 1 ml de tampão foram amostradas regularmente, filtradas em 0,22 µm de filtro de seringa, e analisadas por meio de Cromatografia Líquida de Alta Pressão (HPLC) com uma coluna Aminex HPX-87H para monitorar a liberação de ácido láctico (LA) e dímero de ácido láctico (DP2). O sistema de cromatografia usado foi um sistema de UHPLC Ultimate 3000 (Thermo Fisher Scientific, Inc. Waltham, MA, EUA) incluindo um módulo de bomba, um autoamostrador, um forno de coluna com termostato a 50 °C, e um detector de UV a 220 nm. O eluente foi de 5 mM de H₂SO₄. A injeção foi de 20 µl de amostra. LA foi medido de acordo com as curvas padrão preparadas a partir de LA comercial.

[00105] A hidrólise de artigos plásticos foi calculada com base no LA e DP2 liberado. A porcentagem de degradação foi calculada pela razão molar de LA mais o LA contido em DP2 em um dado tempo em função do LA contido inicialmente no PLA na composição plástica. Os resultados de despolimerização, após 12 dias de teste, são mostrados na Figura 1.

[00106] Os resultados mostraram que a adição de CaCO_3 ou Ca(OH)_2 à composição plástica permite aumentar significativamente a degradação do PLA.

Exemplo 2 - Composições plásticas que compreendem PLA, protease e uma mistura de cargas antiácidas

2A- Processo de fabricação das composições plásticas através de um processo de extrusão

[00107] As formulações a seguir A-C (Tabela 4) foram preparadas a fim de avaliar a habilidade do Carbonato de cálcio (CaCO_3) em separado ou misturado com Hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), como cargas antiácidas, para aumentar a degradação de composições de PLA.

Tabela 4: Formulações

	PLA	Protease	CaCO_3	Ca(OH)_2
A	90 %	10 %	-	-
B	85 %	10 %	-	5 %
C	85 %	10 %	2,5 %	2,5 %

As porcentagens são dadas em peso, com base no peso total das formulações.

As formulações foram preparadas com o uso de

- PLA, carbonato de cálcio e hidróxido de cálcio em forma de pó conforme descrito no Exemplo 1A,
- uma enzima protease da cepa *Actinomadura keratinilytica* sob a forma sólida. A forma sólida de protease de *Actinomadura keratinilytica* foi obtida a partir do processo de fermentação, seguida por ultrafiltração em 3,5 kDa de membrana, diafiltração, adição de dextrina e secagem por meio de atomização. Tal protease é conhecida pela degradação de PLA conforme descrito na patente WO

2016/062695.

[00108] Com base nessas formulações, as composições plásticas à base de ácido poliláctico biodegradáveis foram preparadas através de um processo de extrusão. O processo de extrusão foi o mesmo que aquele descrito no Exemplo 1A.

2B- Testes de biodegradabilidade das composições plásticas

[00109] A biodegradabilidade das composições plásticas obtida a partir do exemplo 2A foi avaliada.

[00110] O teste de despolimerização foi realizado com o uso do mesmo material e método que o exposto no Exemplo 1.

[00111] A hidrólise das composições plásticas foi calculada com base no LA e dímero de LA liberado. A porcentagem de degradação foi calculada em relação à porcentagem final de PLA na formulação. Os resultados de despolimerização foram expressos em comparação com a amostra de controle A (sem carga antiácida, 100 % de base), após 3 dias de teste (Figura 2).

[00112] Os resultados mostram que a adição tanto de CaCO_3 quanto de Ca(OH)_2 à composição plástica também permite intensificar a degradação da composição à base de PLA.

Exemplo 3 - Composições plásticas que compreendem PLA, protease e carga ácida mineral natural ou comercial

3A- Processo de fabricação das composições plásticas através de um processo de extrusão

[00113] A eficiência tanto de um sequestrador de ácido sintético mineral (DHT4-A2) quanto um sequestrador de ácido natural mineral (CaCO_3) foi avaliada e comparada.

[00114] As formulações a seguir A-C (Tabela 5) foram preparadas a fim de avaliar a habilidade de uma hidrotalcita comercial (Carbonato de Hidróxido de Alumínio e Magnésio (DHT4-A2)), para aumentar a degradação das composições de PLA.

Tabela 5: Formulações

	PLA	Protease	CaCo3	DHT4-A2
A	95 %	5 %	-	-
B	90 %	5 %	5 %	-

C	90 %	5 %	-	5 %
---	------	-----	---	-----

As porcentagens são dadas em peso, com base no peso total das formulações.

[00115] As formulações foram preparadas com o uso de PLA e carbonato de cálcio na forma de pó conforme descrito no Exemplo 1A, uma enzima protease da cepa *Actinomadura keratinilytica* sob a forma sólida conforme descrito no Exemplo 2A, e DHT4-A2 (de Kyowa Chemical Industry).

[00116] Com base nessas formulações, as composições plásticas à base de ácido poliláctico biodegradáveis foram preparadas através de um processo de extrusão conforme aqueles descritos no Exemplo 1A.

3B- Testes de biodegradabilidade das composições plásticas

[00117] A biodegradabilidade das composições plásticas obtida a partir do exemplo 3A foi avaliada.

[00118] O teste de despolimerização foi realizado com o uso do mesmo material e método que o exposto no Exemplo 1.

[00119] A hidrólise das composições plásticas foi calculada com base no LA e dímero de LA liberado. A porcentagem de degradação foi calculada em relação à porcentagem final de PLA na formulação. Os resultados de despolimerização, após 2 dias de teste, são mostrados na Figura 3.

[00120] Os resultados mostram que, após dois dias de testes, a taxa de degradação da composição C, que compreende a hidrotalcita comercial é mais de duas vezes maior que a taxa de degradação da composição que compreende carbonato de cálcio natural.

Exemplo 4 - Composição plástica que compreende PLA, Savinase®, e várias quantidades de carbonato de cálcio (CaCO₃)

4A- Processo de fabricação das composições plásticas através de um processo de extrusão

[00121] A eficiência de Carbonato de cálcio (CaCO₃) em uma concentração maior foi avaliada.

[00122] Com essa finalidade, diferentes formulações A-C (Tabela 6) foram preparadas.

Tabela 6: Formulações

	PLA	Protease	Dextrina	CaCO ₃
A	95 %	5 %	-	-
B	70 %	-	-	25 %
C	70 %	5 %	-	25 %

As porcentagens são dadas em peso, com base no peso total das formulações.

[00123] A corresponde a uma amostra de controle (sem carga antiácida) e B corresponde a um controle negativo (sem protease).

[00124] As formulações que compreendem PLA, Protease Savinase® 16L, e carbonato de cálcio em forma de pó foram preparadas conforme descrito no Exemplo 1A.

[00125] Com base nessas formulações, as composições plásticas à base de ácido poliláctico biodegradáveis foram preparadas através de um processo de extrusão conforme descrito no Exemplo 1A.

4B- Testes de biodegradabilidade das composições plásticas

[00126] A biodegradabilidade das composições plásticas obtida a partir do exemplo 4A foi avaliada.

[00127] O teste de despolimerização foi realizado com o uso do mesmo material e método que o exposto no Exemplo 1.

[00128] A hidrólise de artigos plásticos foi calculada com base no LA e dímero de LA liberado. A porcentagem de degradação foi calculada em relação à porcentagem final de PLA na formulação. Os resultados de despolimerização, após 3 dias de teste, são mostrados na Figura 4.

Exemplo 5 -Composições plásticas que compreendem PLA, Everlase® e carbonato de cálcio

5A- Processo de fabricação das composições plásticas através de um processo de extrusão

[00129] De acordo com esse experimento, a habilidade do carbonato de cálcio de intensificar a atividade de degradação de Everlase® contido em uma composição de PLA foi avaliada.

[00130] Com essa finalidade, as formulações A e B foram

preparadas:

- Formulação A = 95 % de PLA + 5 % de Everlase®
- Formulação B = 90 % de PLA + 5 % de Everlase® + 5 % de carbonato de cálcio

[00131] A porcentagem foi calculada em peso com base no peso total da composição.

[00132] As composições foram preparadas compreendendo PLA na forma sólida (polímero de ácido poliláctico, PLA XP951/B por Accurel) e carbonato de cálcio conforme descrito no Exemplo 1 e Everlase® 16L da Novozymes, sob a forma sólida (reformulada no estado sólido com dextrina). A forma sólida de Everlase® 16L foi obtida a partir da forma líquida comercial por meio de diafiltração, adição de dextrina e secagem por meio de secagem por congelamento.

[00133] Com base nessas formulações, as composições plásticas à base de ácido poliláctico biodegradáveis foram preparadas através de um processo de extrusão.

[00134] O processo de extrusão usado foi o mesmo que aquele descrito no Exemplo 1A.

5B - Testes de biodegradabilidade das composições plásticas

[00135] A biodegradabilidade das ditas composições plásticas foi adicionalmente testada.

[00136] 100 mg de amostra A e B foram, cada uma, introduzidos em uma garrafa plástica contendo 50 ml de 0,1 M de tampão de Tris-HCl pH 9,5. A despolimerização foi iniciada incubando-se cada amostra a 45 °C, 150 rpm em um agitador de incubação Infors HT Multitron Pro. As alíquotas de 1 ml de tampão foram amostradas regularmente e filtradas em 0,22 µm de filtro de seringa. As amostras foram analisadas seguindo o mesmo material e método descrito no Exemplo 1A.

[00137] A hidrólise de artigos plásticos foi calculada com base no LA e dímero de LA liberado. A porcentagem de degradação é calculada em relação à porcentagem final de PLA na formulação. Os resultados de despolimerização, após 3 dias de teste, são mostrados na Figura 5.

Exemplo 6 - Composições plásticas que compreendem

policaprolactona (PCL), lipase e carbonato de cálcio (CaCO₃)

6A- Processo de fabricação das composições plásticas através de um processo de extrusão

[00138] Duas formulações A e B (Tabela 7) foram preparadas para avaliar a influência de carbonato de cálcio na composição plástica contendo PCL:

Tabela 7: Formulações

	PCL	Lipase	CaCo3
A	95 %	5 %	-
B	90 %	5 %	5 %

A porcentagem foi calculada em peso com base no peso total da composição.

[00139] As formulações foram preparadas com o uso de:

- PCL em forma de pó (polímero de policaprolactona, CAPA 6500 da Perstorp). PCL é usado sob uma forma de pó (< 1 mm) obtido a partir de granulado de PCL imerso em nitrogênio líquido e micronizado com o uso de um sistema Ultra Centrifugal Mill ZM 200.
- uma enzima lipase sob a forma sólida (Amano Lipase PS de Amano), conhecida pela degradação de PCL e
- carbonato de cálcio (da OMYA).

[00140] Com base nessas formulações, as composições plásticas à base de PCL biodegradáveis foram preparadas através de um processo de extrusão.

[00141] Todos os pós foram misturados juntos por meio de agitação manual antes da introdução na máquina de compostagem (a mesma máquina de compostagem usada como no exemplo 1A). A mistura foi, então, introduzida na zona de alimentação, e empurrada para a extrusora de rosca aplicando-se pressão manual. A mistura passou através da rosca corrotativa, através da rotação da rosca dupla a 80 rpm. A temperatura foi fixada em 80°C. A mistura de polímero, entidades biológicas e carga antiácida chegou, então, na cabeça da rosca, compreendendo um orifício de 0,4 mm de comprimento, em que a mistura foi empurrada a fim de formar formatos de tira. Esse

extrusado foi, então, cortado com alicates de corte para obter a forma granulada.

6B - Testes de biodegradabilidade das composições plásticas

[00142] A biodegradabilidade das ditas composições plásticas foi adicionalmente avaliada.

[00143] Com essa finalidade, 500 mg de cada amostra foi pesado e introduzido em uma garrafa plástica contendo 25 ml de água em osmose.

[00144] A despolimerização foi iniciada incubando-se cada amostra a 45 °C, 150 rpm em um agitador de incubação Infors HT Multitron Pro. As alíquotas de 1 ml de tampão foram amostradas regularmente e filtradas em 0,22 µm de filtro de seringa, as amostras foram analisadas por meio de Cromatografia Líquida de Alta Pressão (HPLC) com uma coluna Aminex HPX-87H para monitorar a liberação de ácido 6-hexanoico (HHA). O sistema de cromatografia usado foi um sistema de UHPLC Ultimate 3000 (Thermo Fisher Scientific, Inc. Waltham, MA, EUA) incluindo um módulo de bomba, um autoamostrador, um forno de coluna com termostato a 50 °C, e um detector de UV a 220 nm. O eluente foi de 5 mM de H₂SO₄. A injeção foi de 20 µl de amostra. HHA foi medido de acordo com as curvas padrão preparadas a partir de HHA comercial (Alfa Aesar).

[00145] A hidrólise de artigos plásticos foi calculada com base no HHA liberado. A porcentagem de degradação é calculada em relação à porcentagem final de PCL na formulação. Os resultados de despolimerização, após 3 dias de teste, são mostrados na Figura 6.

[00146] Os resultados mostraram que a adição de CaCO₃ à composição plástica permite aumentar significativamente a degradação do PCL.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para preparar uma composição plástica compreendendo pelo menos um poliéster, entidades biológicas com uma atividade de degradação de poliéster e pelo menos um agente de enchimento antiácido, em que as entidades biológicas são selecionadas a partir de despolimerase, esterase, lipase, cutinase, carboxilesterase, protease e poliesterase e representam menos de 11% em peso, com base no peso total da composição plástica, em que a carga antiácida é selecionada a partir de sais de carbonato, metais, sais de hidróxido, grupo hidrotalcita, talco, mica e argila e em que o poliéster é selecionado de PLA, PCL, PBAT, PHAs e PBS, em que o processo é **caracterizado por** compreender uma etapa (a) de misturar entre 0,1 % e 10 % em peso das entidades biológicas que tem uma atividade de degradação de poliéster, com um poliéster e uma carga antiácida e uma etapa (b) de condicionar a dita mistura da etapa (a) em uma forma sólida.

2. Processo para preparar uma composição plástica, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** a composição plástica compreender entre 0,1% e 50% em peso de carga antiácida.

3. Processo para preparar uma composição plástica, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 2, **caracterizado por** as entidades biológicas serem selecionadas a partir de lipase e protease.

4. Processo para preparar uma composição plástica, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 2, **caracterizado por** o poliéster ser selecionado a partir de PLA e PCL.

5. Processo para preparar uma composição plástica de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado por** compreender ainda outro polímero sintético selecionado de PBAT, PHAs, PBS e/ou pelo menos um polímero natural selecionado a partir de amido, farinha e celulose

e/ou pelo menos um aditivo selecionado do grupo que consiste em plastificantes, corantes, auxiliares de processamento, retardadores de chama e estabilizadores de luz.

6. Processo para preparar uma composição plástica de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizada por** a composição plástica resultante compreender, com base no peso total da composição plástica:

- 65 a 95% de pelo menos um poliéster selecionado a partir de PLA, PCL, PBAT, PHAs e PBS;

- de 2 a 25% de pelo menos uma carga antiácida, selecionada a partir de hidrotalcita, carbonato de cálcio, talco, mica, argila e/ou hidróxido de cálcio;

- de 0,1 a 10% de entidades biológicas selecionadas a partir de despolimerase, esterase, lipase, cutinase, carboxilesterase, protease e poliesterase.

7. Processo para preparar uma composição plástica de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizada por** a composição plástica resultante compreender, com base no peso total da composição plástica:

- 65 a 95% de pelo menos um poliéster selecionado a partir de PLA e PCL;

- de 2 a 25% de pelo menos uma carga antiácida, selecionada a partir de hidrotalcita, carbonato de cálcio, talco, mica, argila e/ou hidróxido de cálcio;

- de 0,1 a 10% de entidades biológicas selecionadas a partir de despolimerase, esterase, lipase, cutinase, carboxilesterase, protease e poliesterase.

8. Processo para preparar uma composição plástica de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizada por** a composição plástica resultante compreender PLA, entidades biológicas com uma atividade de degradação de PLA e uma carga antiácida selecionada a partir de hidrotalcita, carbonato de cálcio, talco, mica, argila e cálcio hidróxido.

9. Processo, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado por** a etapa (a) de misturar ser realizada em

uma temperatura em que o poliéster está em um estado parcial ou totalmente fundido e/ou em uma extrusora.

10. Processo de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado por** a etapa (a) da mistura ser realizada em uma extrusora de rosca dupla.

11. Processo de acordo com a reivindicação 9 ou 10, **caracterizado por** a etapa (a) da mistura ser realizada em uma extrusora de rosca dupla corrotativa.

12. Método para fabricação de um artigo plástico que contém poliéster **caracterizado por** compreender as etapas de:

(a) fornecer uma composição plástica obtida com o processo conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 11, em que as entidades biológicas são adequadas para degradar o dito pelo menos um poliéster da composição plástica, e

(b) transformar a dita composição plástica no dito artigo plástico,

em que a etapa (b) é implantada em uma temperatura na qual o poliéster da dita composição plástica está em um estado parcial ou totalmente fundido, e/ou é realizada por meio de extrusão, composição de extrusão, moldagem por sopro de extrusão, extrusão de filme soprado, extrusão de filme fundido, calandragem e termoformação, moldagem por injeção, moldagem por compressão, expansão por extrusão, moldagem giratória, engomadura, revestimento, estratificação, expansão, pultrusão, granulação por compressão e impressão em 3D.

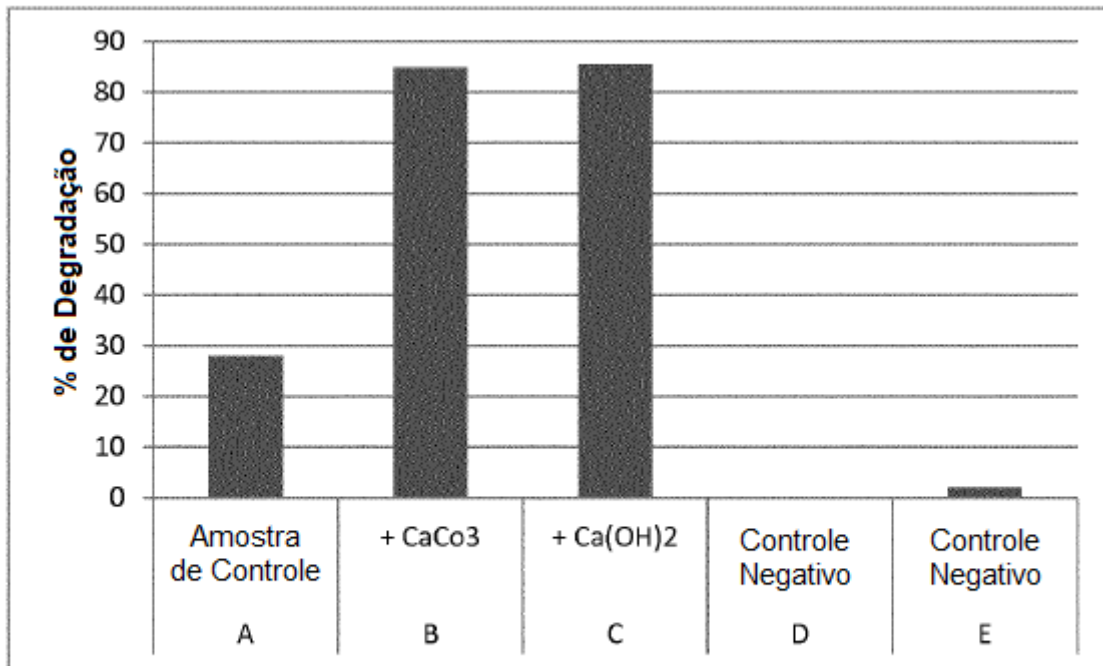


FIGURA 1

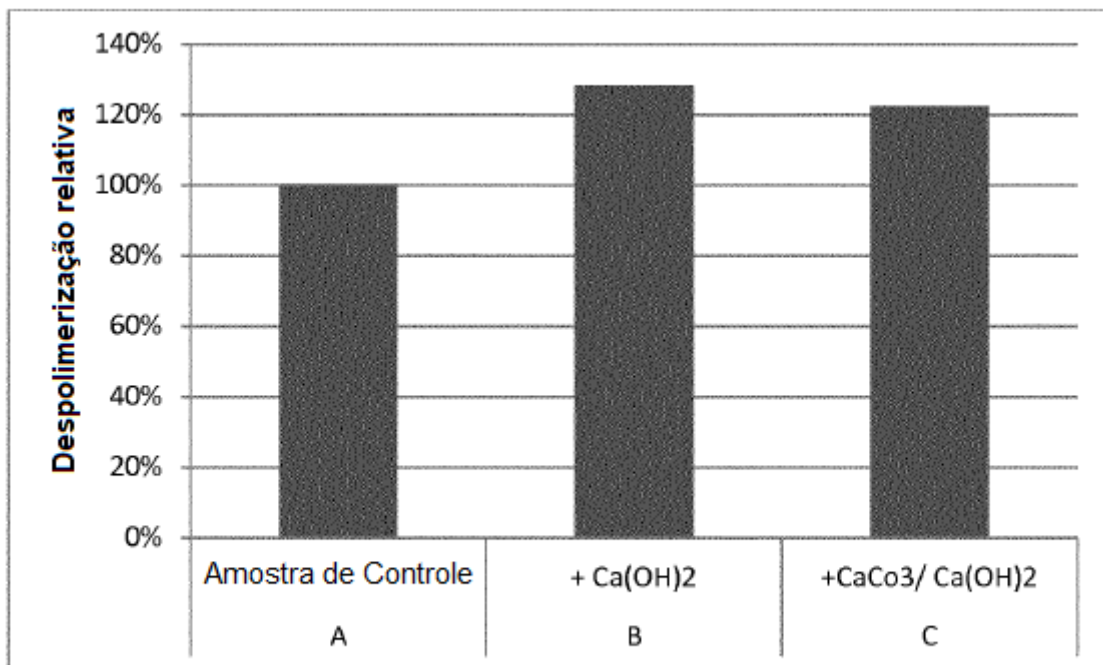


FIGURA 2

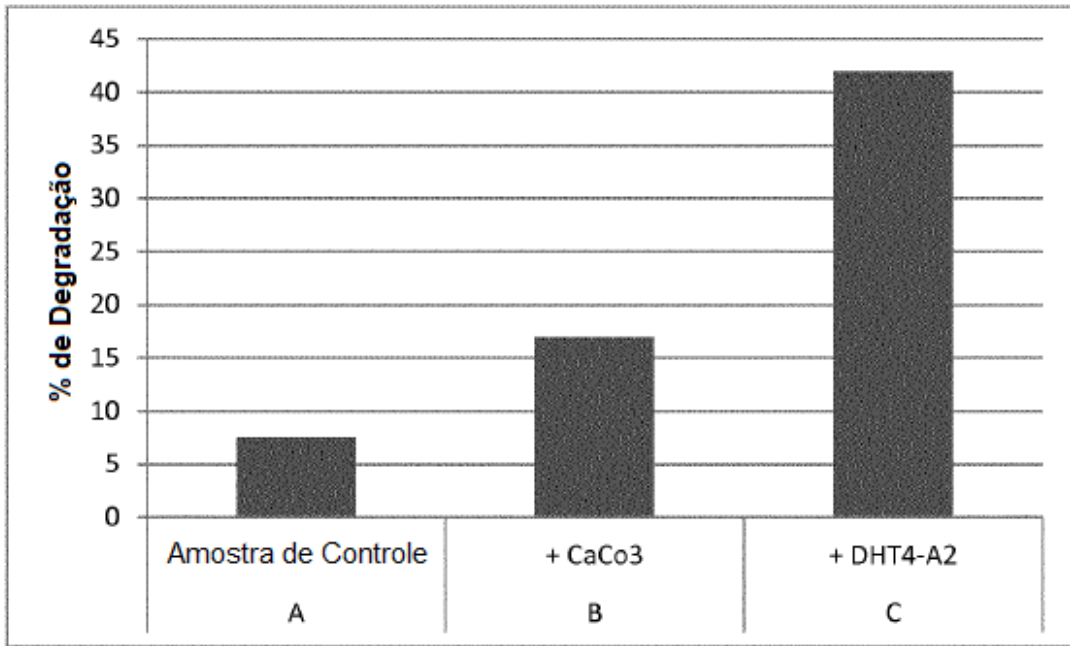


FIGURA 3

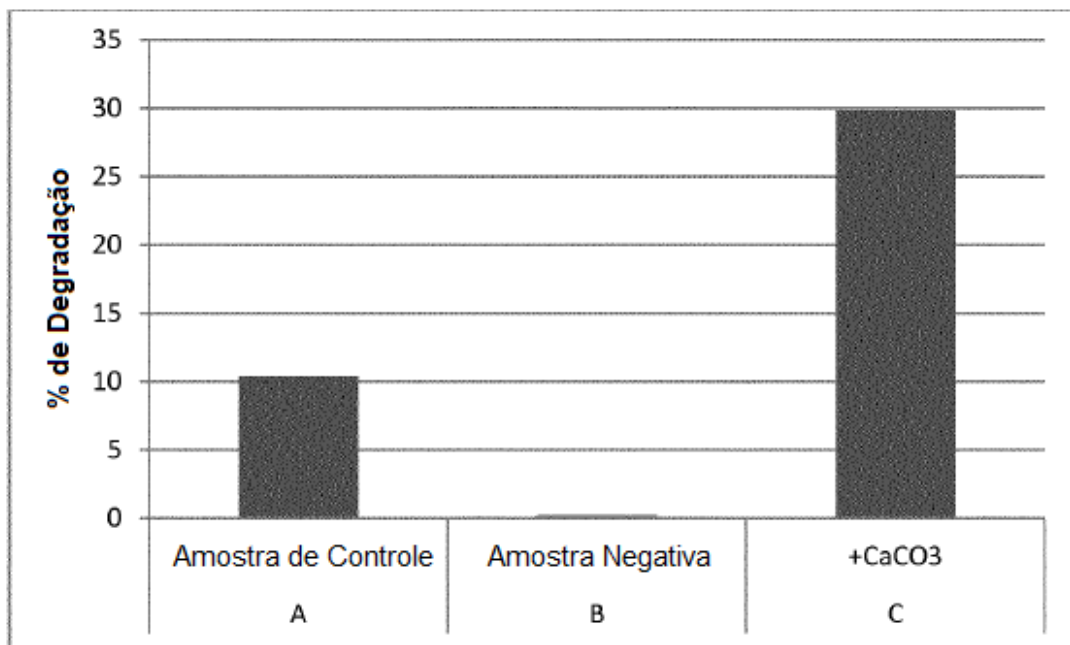


FIGURA 4

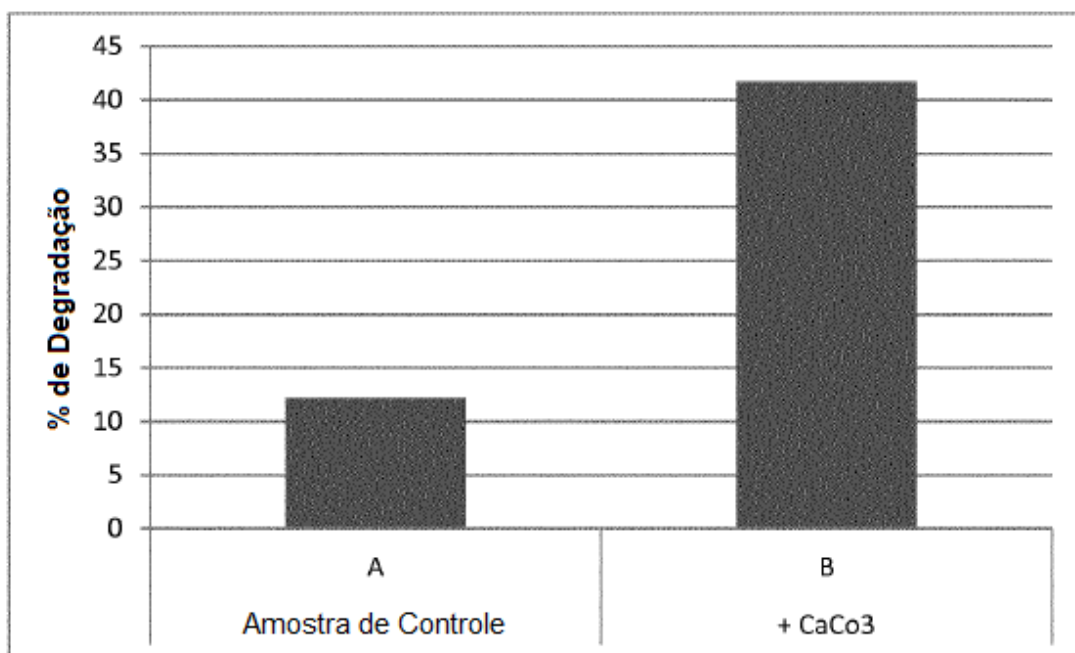


FIGURA 5

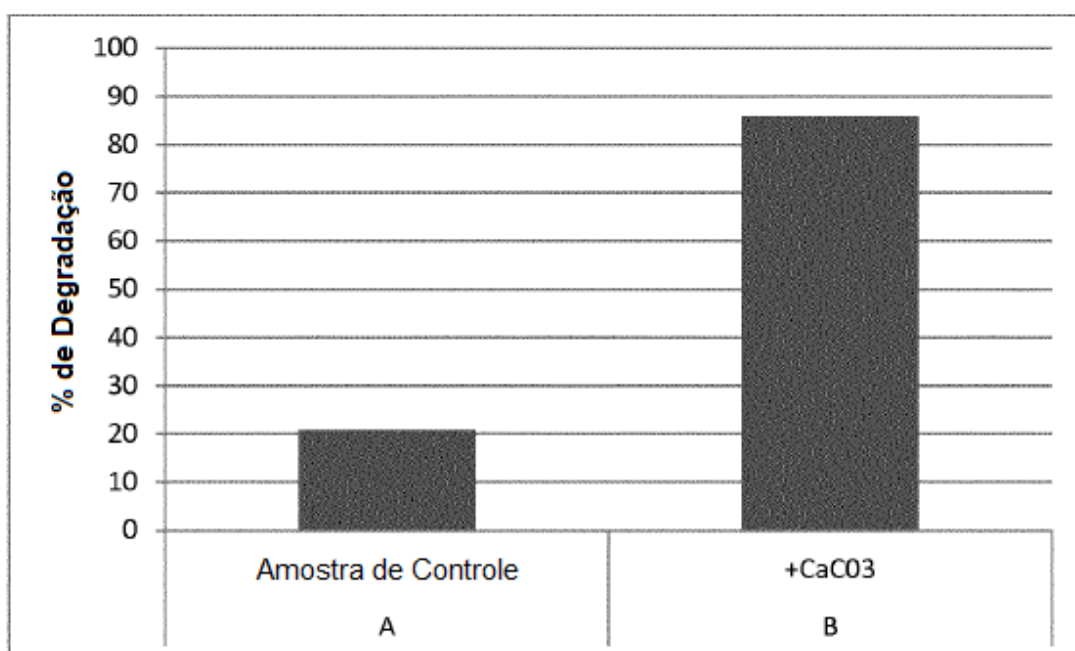


FIGURA 6