



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 10 2012 029383-8 A2

(22) Data de Depósito: 19/11/2012

(43) Data da Publicação: 16/09/2014
(RPI 2280)



(51) Int.Cl.:

C08J 11/04

C08J 11/10

C08J 11/14

A62D 3/02

A62D 3/10

(54) Título: PROCESSO DE BIODEGRADAÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS NATURAIS E SINTÉTICOS PELA AÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS NÃO PATOGÊNICOS

(73) Titular(es): Universidade Federal do Rio Grande do Sul

(72) Inventor(es): Augusto Schrank, Daniel Eduardo Weibel, Felipe Kessler, Leticia Marconatto, Marilene Henning Vainstein, Roberta da Silva Bussamara Rodrigues

(57) Resumo: PROCESSO DE BIODEGRADAÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS NATURAIS E SINTÉTICOS PELA AÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS NÃO PATOGÊNICOS. É descrito um processo de biodegradação de materiais poliméricos naturais e sintéticos pela ação de micro-organismos não patogênicos que prevê etapas de modificação da superfície de um material polimérico ou de um filme fino em geral utilizando radiação eletromagnética, permitindo a degradação através de micro-organismos não patogênicos, tal como fungos filamentosos entomopatogênicos, leveduras e bactérias.

Relatório descritivo de patente de invenção

PROCESSO DE BIODEGRADAÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS NATURAIS E SINTÉTICOS
PELA AÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS NÃO PATOGÊNICOS

Campo da invenção

5 A presente invenção descreve um processo de biodegradação de materiais poliméricos naturais e sintéticos pela ação de micro-organismos não patogênicos. Mais especificamente compreende um processo que consiste em modificar a superfície de um material polimérico ou um filme fino em geral utilizando radiação eletromagnética, permitindo a degradação através de micro-
10 organismos não patogênicos, tal como fungos filamentosos, leveduras e bactérias.

Antecedentes da invenção

Atualmente, o desenvolvimento de polímeros ambientalmente corretos é uma tendência, tendo em vista as questões ambientais relacionadas. Muitos
15 polímeros biocompatíveis e biodegradáveis, entre eles os poliésteres microbianos, são um exemplo muito bem conhecido de polímeros que cumprem com esse propósito. Esses polímeros são produzidos por uma ampla variedade de micro-organismos, já que dessa forma armazenam carbono e energia a nível molecular. Essa família de poliésteres microbianos tem a
20 vantagem de serem termoplásticos semicristalinos e com propriedades mecânicas semelhantes aos plásticos convencionais, como o polipropileno, por exemplo, além de serem resistentes à água e impermeáveis ao oxigênio. Todas essas propriedades lhes conferem muitas vantagens potenciais nas indústrias alimentícias e de embalagens.

25 Mais recentemente, vários plásticos biodegradáveis foram introduzidos no mercado, mas nenhum foi capaz de ser degradado eficientemente nos aterros sanitários (Shah, A. A.; Hasan, F.; Hameed, A.; Ahmed, S., *Biotechnology Advances* 2008, 26, 246.) e (Ammala, A.; Bateman, S.; Dean, K.; Petinakis, E.; Sangwan, P.; Wong, S.; Yuan, Q.; Yu, L.; Patrick, C.; Leong, K. H., *Progress in*

Polymer Science 2011, 36, 1015.). Por este motivo, esses polímeros não foram utilizados em grande escala, aliado a falta de competitividade com os polímeros derivados da indústria do petróleo, que são muito mais baratos.

Dessa forma, prevaleceram no mercado os poliméricos sintéticos, cuja
5 contrapartida é a introdução no meio ambiente de enormes quantidades de contaminantes incapazes de serem degradados pelos mecanismos tradicionais da natureza.

Do total de plásticos produzidos no Brasil, em média 21,2% dos plásticos rígidos e filme foram reciclados em 2008, o que equivale a cerca de 556 mil
10 toneladas/ano

(http://www.ressoar.org.br/dicas_reciclagem_panorama_brasil_plastico.asp) e
(http://www.reciclador.org.br/economico_indices.html), sendo um dos empecilhos a grande variedade de tipos de plásticos. Na reciclagem, o plástico pode ser convertido em grânulos para a fabricação de outros subprodutos
15 plásticos, ou sofrer queima junto a carvão, madeira, etc., com o intento de gerar energia, porém provocando o aumento da concentração do gás carbônico no meio ambiente.

Portanto, os métodos tradicionais de degradação geralmente se limitam a um fracionamento e quebra dos materiais polímeros por métodos físicos ou
20 químicos, que em geral levam à formação de particulados poliméricos, aumentando o efeito contaminante no meio ambiente.

Outra metodologia completamente diferente de eliminar o impacto ambiental dos plásticos é a biodegradação. Nesse sentido, na última década aparece fortemente uma forte tendência a produzir polímeros que sejam
25 biodegradáveis ou que possuam na sua estrutura funcionalidades que permitam aos micro-organismos iniciar os processos de biodegradação e degradar o material polimérico (Shah, A. A.; Hasan, F.; Hameed, A.; Ahmed, S., *Biotechnology Advances* 2008, 26, 246.), (Ammala, A.; Bateman, S.; Dean, K.; Petinakis, E.; Sangwan, P.; Wong, S.; Yuan, Q.; Yu, L.; Patrick, C.; Leong, K.
30 H., *Progress in Polymer Science* 2011, 36, 1015.), (Wang, R.; Chen, W.; Meng, F.; Cheng, R.; Deng, C.; Feijen, J.; Zhong, Z., *Macromolecules* 2011, 44,

6009.), (Morent, R.; De Geyter, N.; Desmet, T.; Dubruel, P.; Leys, C., *Plasma Processes and Polymers* 2011, 8, 171.) e (Leja, K.; Lewandowicz, G., *Polish Journal of Environmental Studies* 2010, 19, 255.).

A literatura técnica descreve mecanismos e metodologias para degradar polímeros sintéticos (Shah, A. A.; Hasan, F.; Hameed, A.; Ahmed, S., *Biotechnology Advances* 2008, 26, 246.), (Ammala, A.; Bateman, S.; Dean, K.; Petinakis, E.; Sangwan, P.; Wong, S.; Yuan, Q.; Yu, L.; Patrick, C.; Leong, K. H., *Progress in Polymer Science* 2011, 36, 1015.), (Leja, K.; Lewandowicz, G., *Polish Journal of Environmental Studies* 2010, 19, 255.), (Singh, B.; Sharma, N., *Polymer Degradation and Stability* 2008, 93, 561.) e (Gautam, R.; Bassi, A. S.; Yanful, E. K., *Applied Biochemistry and Biotechnology* 2007, 141, 85.).

Os fungos são geralmente utilizados em processos de biorremediação, que consiste em utilizar seres vivos ou seus componentes na recuperação de áreas contaminadas. Esses processos, em geral, empregam microrganismos ou suas enzimas para degradar compostos poluentes, já que utilizam substratos orgânicos como fonte de carbono para se alimentar. Os fungos são muito utilizados porque são micro-organismos robustos e que têm a capacidade de gerar uma grande variedade de enzimas conforme o ambiente onde se encontram. Apesar disso, poucas dessas aplicações de biorremediação são relatadas na literatura no que se refere a utilização de um fungo para degradar polímeros. Por exemplo, Artham e colaboradores (Artham, T.; Doble, M., *Biomacromolecules* 2010, 11, 20.) estudaram a degradação de policarbonatos, previamente tratados por métodos químico-físicos, pelo fungo da podridão branca, *Phanerochaete chrysosporium* NCIM 1170 (SF2), obtendo aproximadamente 5,4 % de perda de peso e 42% na redução de Mn após 12 meses. Os resultados mostraram o pouco conhecimento existente sobre os mecanismos de degradação em policarbonatos, mas claramente demonstraram a importância dos pré-tratamentos químico-físicos para aumentar a biodegradação.

Russell e colaboradores (Russell, J. R.; Huang, J.; Anand, P.; Kucera, K.; Sandoval, A. G.; Dantzler, K. W.; Hickman, D.; Jee, J.; Kimovec, F. M.;

Koppstein, D.; Marks, D. H.; Mittermiller, P. A.; Nunez, S. J.; Santiago, M.; Townes, M. A.; Vishnevetsky, M.; Williams, N. E.; Nunez Vargas, M. P.; Boulanger, L.-A.; Bascom-Slack, C.; Strobel, S. A., *Applied and Environmental Microbiology* 2011, 77, 6076.) investigaram a biodegradação de poliuretanos poliésteres (PUR) por fungos endofíticos. Após a caracterização molecular da atividade de degradação, os autores concluíram que uma serina hidrolase seria responsável pela degradação observada nesta série de polímeros. Foi observada uma atividade muito ampla no crescimento anaeróbico usando PUR como única fonte de carbono, o qual sugere que os fungos endofíticos podem ser uma fonte de biodiversidade promissória para degradação polimérica.

Friedrich e colaboradores (Friedrich, J.; Zalar, P.; Mohorcic, M.; Klun, U.; Krzan, A., *Chemosphere* 2007, 67, 2089.) demonstraram pela primeira vez, em 2007, a possibilidade de degradar um plástico muito utilizado e resistente como o Nylon 6, utilizando 58 tipos diferentes de fungos. A maioria dos fungos foi incapaz de degradar o Nylon 6 e somente o fungo da podridão branca (*White rot*) conseguiu crescer quando o polímero foi a única fonte de nitrogênio presente no meio. No estudo, foi sugerido que a degradação ocorre através de um processo de solubilização parcial do material polimérico seguido de sua metabolização.

Fungos e bactérias são capazes de degradar polímeros sintéticos e naturais com mecanismos que dependem da cristalinidade, grupos funcionais superficiais e propriedades estruturais e mecânicas, etc. Quando um micro-organismo entra em contato com um substrato polimérico, existem vários fatores que podem induzir ou inibir seu crescimento. A interface entre o substrato e o micro-organismo é o principal componente que determinará as mudanças bioquímicas subsequentes, já que o micro-organismo necessita da fonte de carbono existente no material para seu desenvolvimento como ser vivo. Se o meio onde o micro-organismo se encontra é desfavorável, permanecerá em estado latente.

O estado da técnica descreve processos de biodegradação, tal como o documento US4154653 que descreve um processo de degradação de

polímeros estirenos com grupos hidroxilas cultivados com a bactéria *Moraxella* genus, ou o fungo da penicilina genus, num meio contendo o polímero estireno hidroxilado com uma estrutura unitária de fórmula geral, onde X e Y representam átomos de hidrogênio e grupos alcoxi como fonte de carbono respectivamente.

O documento US5342779 descreve a combinação de irradiação ultravioleta e a presença de fungos degradantes de lignina para melhorar a biodegradação de contaminantes ambientais. O fungo preferido é o *Phanerochaete chrysosporium* (ATCC 64046) e a combinação das enzimas produzidas pelo fungo e a radiação ultravioleta aumenta a degradação que seria esperada pelos tratamentos separados.

O documento US6020184 descreve um método de degradação dos polímeros poliorganosiloxanos (POS) e polidimetilsiloxanos (PDMS) utilizando fungos das espécies *Phanaerochete sortida*, *Phanaerochete chrysosporium* e *Aspergillus sydowii* BJS94, sendo obtida a melhor condição de biodegradação dos polímeros pelo fungo *Aspergillus sydowii* BJS94.

No entanto, os documentos do estado da técnica não descrevem processos de biodegradação com uma etapa prévia de ativação superficial de materiais poliméricos previamente ao tratamento com fungos ou bactérias, mediante modificação e aumento da molabilidade destes materiais poliméricos, com a possibilidade de introduzir novos grupos funcionais superficiais que facilitem os processos de crescimento dos fungos ou bactérias.

De forma diversa, é objeto da presente invenção um processo de biodegradação de materiais poliméricos naturais e sintéticos pela ação de micro-organismos não patogênicos ao ser humano que provê a ativação da superfície dos materiais poliméricos com irradiação UV ou VUV em presença de gases ou vapores reativos, sendo obtidas superfícies hidrofílicas e com enxerto de diferentes grupos funcionais e que, mediante controle de parâmetros experimentais, tal como tempo de irradiação UV-VUV e o contato dos materiais tratados com os fungos, torna possível controlar a degradação dos materiais poliméricos em um intervalo de tempo menor.

Sumário

A invenção provê um processo de biodegradação de materiais poliméricos naturais e sintéticos, tal como polihidroxicarbonatos, poliuretanos, polisulfonas, polibutadienos, poliestirenos, poliésteres, polipropilenos, polietilenos, policaprolactonas, entre outros, pela ação de micro-organismos não patogênicos.

A invenção provê um processo de biodegradação de materiais poliméricos naturais e sintéticos pela ação de micro-organismos não patogênicos onde polímeros contendo grupos aromáticos são modificados com alta eficiência devido ao alto coeficiente de absorção ultravioleta do anel aromático, assim como outros polímeros com cromóforos que absorvem na faixa de 200-400 nm também podem ser modificados superficialmente com eficiência.

A invenção provê um processo de biodegradação de materiais poliméricos naturais e sintéticos pela ação de micro-organismos não patogênicos utilizando irradiação UV ou VUV.

A invenção provê um processo de biodegradação de materiais poliméricos naturais e sintéticos pela ação de micro-organismos não patogênicos, preferentemente fungos filamentosos, com a formação de hifas que facilita o acesso a matriz polimérica através de qualquer fissura ou rachadura existente na superfície destes materiais.

A invenção provê um processo de biodegradação de materiais poliméricos naturais e sintéticos pela ação de micro-organismos não patogênicos que provê a aceleração da degradação de materiais poliméricos, utilizando micro-organismos de baixo impacto econômico em comparação aos produtos químicos utilizados convencionalmente.

Breve descrição das figuras

A figura 1 apresenta representação gráfica da relação entre a hidrofobicidade da superfície do filme de Polissulfona (PSU) mediante a variação do tempo de irradiação.

A figura 2 apresenta o gráfico evidenciando a relação entre o enxerto de novos grupos funcionais na superfície e o tempo de irradiação, sendo utilizada a técnica de espectroscopia infravermelho por transformadas de Fourier no modo de refletância total atenuada (FTIR-ATR).

5 A figura 3 apresenta imagens evidenciando a diferença de crescimento e o efeito de degradação de um filme de Polissulfona (PSU) tratado com luz UV/Oxigênio (E, F), um filme de PSU sem tratamento após 30 dias de cultivo (B, C) e uma amostra controle sem fungo (A, D).

10 A figura 4 apresenta representação gráfica evidenciando que a hidrofiliabilidade do filme de PU (Poliuretano) em função do tempo de irradiação.

A figura 5 apresenta a representação gráfica evidenciando a relação entre o aumento da concentração de oxigênio superficial e o aumento do tempo de irradiação para prover maior hidrofiliabilidade da superfície.

15 A figura 6 apresenta imagens que evidenciam a diferença de crescimento e o efeito de degradação de um filme de Polihidroxibutirato (PHB) tratado com luz UV/Oxigênio (E, F), um filme sem tratamento após 30 dias de cultivo (B, C) e uma amostra controle (A, D).

Descrição detalhada da invenção

20 O processo de biodegradação de materiais poliméricos naturais e sintéticos pela ação de micro-organismos não patogênicos, objeto da presente invenção, compreende em uma primeira etapa o pré-tratamento fotoquímico superficial do material polimérico ou de um filme fino em geral, que recebe irradiação ultravioleta (UV) ou UV de vácuo (VUV) conjuntamente com um fluxo contínuo de gás ou vapor reativo ou vapor mantido durante todo o processo
25 fotoquímico.

O gás reativo pode ser selecionado dentre oxigênio, vapores de ácido acrílico, amônia ou compostos nitrogenados, vapores de compostos leves de silanos, etc.

30 A irradiação com luz UV ou VUV forma radicais na superfície do material polimérico, sendo a seguir neutralizado pelo gás reativo. A modificação

superficial obtida no material polimérico pode ser medida através do grau de hidrofiliabilidade superficial, concentração de oxigênio na superfície, molhabilidade, concentração de diferentes grupos funcionais, etc.

As ligações covalentes resultantes dão aos materiais poliméricos propriedades superficiais físicas e químicas diferentes dos materiais iniciais. Por exemplo, um polímero hidrofóbico pode ser facilmente convertido em hidrofílico e vice-versa, dependendo das condições experimentais utilizadas. As novas funcionalidades introduzidas produzem um material com características superficiais diferentes e permanentes. O tratamento superficial UV, adicionalmente, provê a esterilização do material.

O material polimérico submetido ao pré-tratamento fotoquímico segue para uma etapa de biodegradação por micro-organismos selecionados dentre fungos filamentosos entomopatogênicos, leveduras e bactérias. Nesta etapa, o material polimérico é mantido em contato com o micro-organismo a temperatura entre 25 a 30°C por um período de 10 a 60 dias.

No caso de polímeros naturais, o período de tempo preferentemente é de 10 a 20 dias, e para os polímeros sintéticos entre 30 a 60 dias.

O material polimérico é suportado sobre meio de cultura: meio cove mínimo ou água-ágar com micronutrientes.

O meio cove mínimo é composto por 0,6% nitrato de sódio, 1% glicose, 2% solução de sais (2,6%KCl, 2,6% MgSO₄.7H₂O, 7,6% KH₂PO₄), 0,04% elementos de traços (4mg Na₂B₄O₇.7H₂O, 40mg CuSO₄. 5H₂O, 1mg FeSO₄, 80mg MnSO₄.2H₂O, 80mg ZnSO₄.7H₂O) e 1,5% ágar.

O meio água-ágar é composto por 1,5 % ágar, 2% solução de sais (2,6%KCl, 2,6% MgSO₄.7H₂O, 7,6% KH₂PO₄), 0,04% elementos de traços (4mg Na₂B₄O₇.7H₂O, 40mg CuSO₄. 5H₂O, 1mg FeSO₄, 80mg MnSO₄.2H₂O, 80mg ZnSO₄.7H₂O).

A fim de ser adicionada uma quantidade controlada do micro-organismo nos experimentos com os polímeros, os fungos são previamente cultivados em placas com meio cove completo (0,6% nitrato de sódio; 1% glicose; 0,2% peptona; 0,05 extrato de levedura; 0,15% triptona; 1,5% ágar; 2% solução de

sais e 0,04% solução de traços), por 7 dias em estufa a 28°C. Após o período de incubação, os esporos são lavados utilizando solução de Tween 80 0,01%, centrifugados por 7 min. a 5000rpm, lavados por 2 vezes com água destilada estéril e armazenados a 4°C. Esses esporos armazenados são quantificados por contagem em Câmara de Neubauer e aliqotados de acordo com a quantidade do microrganismo desejável de ser adicionado.

O potencial degradativo do fungo foi avaliado através de técnicas espectroscópicas e microscópicas e comparado com os mesmos polímeros incubados, na mesma condição, porém sem a adição do micro-organismo.

O experimento 1 compreende 1.10^7 esporos do fungo “semeados” sob o meio de cultura, utilizando alça de Drigalsky, sendo em seguida os polímeros suportados sobre o inóculo e mantidos em estufa a 28°C por 30 e 60 dias para materiais sintéticos e 10 e 20 dias para materiais naturais.

O experimento 2 compreende polímeros dispostos sob o meio de cultura cove mínimo e sobre esses materiais são inoculados 1.10^7 esporos do fungo e mantidos em estufa a 28°C por 30 e 60 dias para materiais sintéticos e 10 e 20 dias para materiais naturais.

O experimento 3 compreende polímeros dispostos sob o meio água-ágar e sobre esses materiais são inoculados 1.10^7 esporos do fungo e mantidos em estufa a 28°C por 30 e 60 dias para materiais sintéticos e 10 e 20 dias para materiais naturais.

Após o período de incubação, as amostras foram retiradas das placas, lavadas com etanol 70% para eliminar o micro-organismo e secas à temperatura ambiente.

Para a análise do material utilizando-se as técnicas de XPS (Espectroscopia de Fotoelétrons de Raio-x), GPC (Cromatografia de Permeação em Gel), Gravimetria, FTIR (Infravermelho com Transformada de Fourier) e MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura), estas amostras foram lavadas com auxílio de ultrassom para a retirada dos micro-organismos da superfície do material.

Teste 1:

Filmes finos de PSU ($\sim 1 \mu\text{m}$) ou de maior espessura ($\sim 50\text{-}100 \mu\text{m}$) foram irradiados na presença de um fluxo de Oxigênio ($5 \text{ cm}^3/\text{s}$) com radiação UV proveniente de uma lâmpada de Hg de média pressão de 400 W. Como as modificações acontecem na superfície do material, os resultados obtidos utilizando espessuras de filmes diferentes foram iguais.

Conforme apresentado na figura 1, a hidrofobicidade do filme de PSU pode ser modificada facilmente até o grau desejado modificando somente um parâmetro experimental, no caso o tempo de irradiação. As propriedades levemente hidrofóbicas da PSU sem tratamento (ângulo de contato com água, AC, $\sim 80^\circ$) são modificadas em somente 30 minutos de irradiação, produzindo um filme de características claramente hidrofílicas (AC $\sim 30^\circ$).

Na figura 2, é evidenciado que a maior hidrofobicidade da superfície se deve ao aumento na concentração de grupos funcionais contendo oxigênio quando o tempo de irradiação aumenta. A técnica utilizada para esse análise foi a espectroscopia infravermelho por transformadas de Fourier no modo de refletância total atenuada (FTIR-ATR).

Na figura 3 é possível observar claramente a diferença no desenvolvimento do fungo sobre a superfície polimérica. Nas figuras B e C (filme de PSU sem tratamento com fungo), pode ser observado que não houve germinação dos esporos, podendo ser ocasionado pela ausência dos grupos oxigenados, que dificultou a germinação. Provavelmente não será observada degradação devido à parada de crescimento ou divisão celular deste fungo.

Nas figuras E e F (filme de PSU tratado com UV e O_2 com fungo), é possível observar o aumento da hidrofobicidade da superfície polimérica, o que facilitou o crescimento fúngico, comprovado pela grande quantidade de hifas germinadas a partir dos esporos.

Teste 2:

Filmes finos de poliuretana (PU) ($< 1 \mu\text{m}$) ou de maior espessura ($\sim 50 \mu\text{m}$) foram irradiados na presença de um fluxo de Oxigênio ($50\text{-}100 \text{ L}/\text{min}$) com

radiação ultravioleta proveniente de uma lâmpada de Hg de media pressão de 250W.

Conforme apresentado na figura 4, a hidrofiliçidade do filme de PU pode ser modificada facilmente. As propriedades hidrofóbicas da PU sem tratamento (AC ~ 85°) são modificadas em 90 minutos de irradiação, produzindo um filme de características claramente hidrofílicas (AC ~ 28°).

A figura 5 mostra que a maior hidrofiliçidade da superfície se deve ao um aumento na concentração de oxigênio superficial quando o tempo de irradiação aumenta. A técnica utilizada para esse análise foi a espectroscopia eletrônica de fotoemissão (XPS), que permite obter análises quali e quantitativos de elementos e grupos funcionais que se encontram na região superficial das amostras. Nesta figura, a concentração superficial de oxigênio (O1s/C1s) aumenta linearmente com o tempo de irradiação. Estes resultados têm muito boa correlação com os dados apresentados com uma técnica muito diferente de determinação de ângulo de contato (Figura 4). Analisando em detalhe os espectros de alta resolução de XPS para os sinais de C1s e O 1s, são observados novos grupos funcionais na superfície da PU, indicando que a funcionalização superficial é de origem covalente e, portanto permanente.

Tratamentos superficiais como os apresentados para polímeros como PSU ou PU podem ser realizados em todo tipo de polímeros, inclusive naturais.

Um exemplo de degradação acelerado de um polímero natural funcionalizado utilizando o processo descrito na presente invenção é apresentado na figura 6, onde é evidenciada a diferença de crescimento e o efeito de degradação de um filme de Polihidroxibutirato (PHB) tratado com luz UV/Oxigênio e um filme sem tratamento apos 30 dias de cultivo.

O mesmo comportamento apresentado na figura 3 também é observado para PHB. A ausência dos grupos funcionais dificultou a germinação do fungo. Sem a ocorrência da germinação, a atividade enzimática é reduzida e, consequentemente, a degradação não ocorre, ou ocorre em baixos níveis.

Reivindicações

1. PROCESSO DE BIODEGRADAÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS NATURAIS E SINTÉTICOS PELA AÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS NÃO PATOGÊNICOS **caracterizado** por compreender as etapas de:
 - 5 a) pré-tratamento fotoquímico superficial do material polimérico ou filme fino conjuntamente com um fluxo contínuo de gás reativo ou vapor;
 - b) biodegradação do material polimérico suportado sobre meio de cultura a temperatura entre 25 a 30°C por um período de 10 a 60 dias.
- 10 2. PROCESSO DE BIODEGRADAÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS NATURAIS E SINTÉTICOS PELA AÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS NÃO PATOGÊNICOS, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato do pré-tratamento fotoquímico compreender irradiação ultravioleta (UV) ou UV de vácuo (VUV)
- 15 3. PROCESSO DE BIODEGRADAÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS NATURAIS E SINTÉTICOS PELA AÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS NÃO PATOGÊNICOS, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato do gás reativo ser selecionado dentre oxigênio, vapores de ácido acrílico, amônia ou compostos nitrogenados, vapores de compostos leves de silanos, entre outros.
- 20 4. PROCESSO DE BIODEGRADAÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS NATURAIS E SINTÉTICOS PELA AÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS NÃO PATOGÊNICOS, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato dos micro-organismos serem selecionados dentre fungos filamentosos entomopatogênicos, leveduras e bactérias.
- 25 5. PROCESSO DE BIODEGRADAÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS NATURAIS E SINTÉTICOS PELA AÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS NÃO PATOGÊNICOS, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato do meio de cultura compreender meio cove mínimo composto por 0,6% nitrato de sódio, 1% glicose, 2% solução de sais (2,6%KCl, 2,6%
30 MgSO₄.7H₂O, 7,6% KH₂PO₄), 0,04% elementos de traços (4mg Na₂B₄O₇.7H₂O, 40mg CuSO₄. 5H₂O, 1mg FeSO₄, 80mg MnSO₄.2H₂O, 80mg ZnSO₄.7H₂O) e 1,5% ágar.

6. PROCESSO DE BIODEGRADAÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS NATURAIS E SINTÉTICOS PELA AÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS NÃO PATOGÊNICOS, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato do meio de cultura compreender meio água-ágar composto por 1,5 % ágar, 2% solução de sais (2,6%KCl, 2,6% MgSO₄.7H₂O, 7,6% KH₂PO₄), 0,04% elementos de traços (4mg Na₂B₄O₇.7H₂O, 40mg CuSO₄. 5H₂O, 1mg FeSO₄, 80mg MnSO₄.2H₂O, 80mg ZnSO₄.7H₂O).

Resumo

**PROCESSO DE BIODEGRADAÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS NATURAIS E SINTÉTICOS
PELA AÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS NÃO PATOGÊNICOS**

5 É descrito um processo de biodegradação de materiais poliméricos naturais e sintéticos pela ação de micro-organismos não patogênicos que prevê etapas de modificação da superfície de um material polimérico ou de um filme fino em geral utilizando radiação eletromagnética, permitindo a degradação através de micro-organismos não patogênicos, tal como fungos filamentosos entomopatogênicos, leveduras e bactérias.