Produção, propriedades e aplicações de bioplástico obtido a partir da cana-de-açúcar

Mariana Robiati Telles[(1)]
Luciana Maria Saran[(2)]
Sandra Helena Unêda-Trevisolli[(3)]

Resumo

Os plásticos convencionais são produzidos, principalmente, a partir de matérias-primas provenientes do petróleo, um recurso natural não renovável. Inserido no contexto atual de preocupação crescente com o ambiente, tem-se o bioplástico, um material produzido a partir de matéria-prima renovável e que, quando descartado em condições que favorecem o processo de decomposição do mesmo, integra-se mais rápido à natureza do que os plásticos convencionais. No que se refere a estudos científicos, uma das descobertas mais recentes nessa área é o polímero polihidroxibutirato, que pode ser fabricado a partir do bagaço da cana-de-açúcar, espécie vegetal largamente cultivada e explorada não só na região de Jaboticabal como em todo o Brasil. Este polímero é obtido por meio da ação de bactérias que se alimentam do bagaço e formam dentro de si o polímero. O polihidroxibutirato pode ser usado na fabricação de vasos, colheres e sacolas plásticas, entre outros objetos. O presente trabalho é resultado de revisão bibliográfica visando à obtenção de informações a respeito da produção, das propriedades e das aplicações do bioplástico polihidroxibutirato.

Palavras-chave: bactérias, açúcares, polímeros, polihidroxialcanoatos, polihidroxibutirato.

Abstract

Conventional plastics are produced mainly from raw materials derived from petroleum, a nonrenewable natural resource. Inserted in the current context of increasing concern with the environment, we have the bioplastic, a material produced from renewable raw materials and that, when discarded in conditions that favor the decomposition process of it, is part of nature faster than conventional plastics. With regard to scientific studies, one of the most recent discoveries in this area is the polyhydroxybutyrate polymer, which can be made from sugar

[(1)] Tecnóloga em Biocombustíveis, graduada pela Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, meltelles@bol.com.br

[(2)] Doutora em Ciências, docente da Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, lmsaran@gmail.com

[(3)] Pós-doutora em Genética e Melhoramento de Plantas, docente e diretora da Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, sahuneda@hotmail.com

cane bagasse, plant species widely cultivated and exploited not only in the region of Jaboticabal but also in the whole of Brazil. This polymer is obtained through the action of bacteria that feed on the pulp and form within the polymer itself. The polyhydroxybutyrate can be used to make pots, spoons and plastic bags, among other objects. This work is the result of a literature review aimed at obtaining information regarding the production, properties and applications of polyhydroxybutyrate bioplastics.

Keywords: *bacteria, sugars, polymers, polyhydroxyalkanoates, polyhydroxybutyrate.*

Introdução

Na sociedade atual, em decorrência de uma gama de propriedades interessantes apresentadas pelos plásticos, tais como leveza, inércia química e boa resistência mecânica, entre outras, esses materiais vêm sendo cada vez mais utilizados. Os plásticos convencionais são produzidos, principalmente, a partir de matérias-primas provenientes do petróleo, um recurso natural não renovável. Devido ao fato dos plásticos petroquímicos demorarem cerca de 100 a 400 anos para se decompor, propiciando um grande acúmulo de resíduos dessa natureza no ambiente, o que tende a impactá-lo negativamente, deve-se pensar numa maneira sustentável de produzir, utilizar e "descartar" objetos de plástico, visando minimizar os impactos negativos desse material, para o ambiente.

Inserido no contexto atual de preocupação crescente com o ambiente tem-se o bioplástico, que é um material produzido a partir de matéria-prima 100% renovável e que em geral, quando descartado em condições que favorecem o seu processo de decomposição, integra-se mais rápido à natureza do que os plásticos convencionais. Pesquisas em torno de plásticos biodegradáveis vêm ocorrendo em todo o mundo. Nestas pesquisas a utilização de várias matérias-primas naturais e renováveis, tais como óleo de mamona, cana-de-açúcar, beterraba, ácido lático, milho e proteína de soja, têm sido testadas na produção de bioplásticos. Os estudos mais conhecidos e que proporcionaram resultados mais satisfatórios foram os que exploraram a produção do poliuretano a partir do óleo da mamona e a produção do polihidroxibutirato, PHB a partir da cana-de-açúcar. No Brasil, polihidroxibutirato foi obtido por meio de pesquisas realizadas por cientistas da divisão de Química do Agrupamento de Biotecnologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, IPT (VIVEIROS, 2002).

O PHB pode ser fabricado a partir da fermentação do açúcar da cana-de-açúcar, o qual é inicialmente invertido por processo enzimático transformando-se em um xarope.

Posteriormente, ocorre a formação do polímero no interior de bactérias que se alimentam do xarope. O polímero formado pode ser usado na fabricação de vasos, colheres e sacolas plásticas, dentre outras aplicações. Atualmente a produção de PHB ocorre no município de Serrana, localizado no interior do estado de São Paulo, em uma usina sucroalcooleira, denominada Usina da Pedra. O projeto piloto teve inicio em 1992, com estudos realizados pelo IPT em parceria com a COPERSUCAR e a Usina da Pedra (ORTEGA, 2006).

O presente trabalho é resultado de uma revisão bibliográfica, que visou ao levantamento de informações a respeito da produção, das propriedades e das aplicações de diferentes tipos de bioplásticos, com ênfase no PHB, que é um tipo de bioplástico que, conforme mencionado, pode ser obtido do bagaço da cana-de-açúcar, cultura largamente cultivada e explorada não só na região de Jaboticabal como em várias outras regiões do Brasil.

Bioplásticos derivados da cana-de-açúcar

O primeiro polihidroxialcanoato estudado foi o poli-3-hidroxibutirato, P[3HB]. Em 1958, Macre e Wilkinson verificaram o papel funcional do P[3HB], como reserva de energia, através da comprovação do seu acúmulo por *B. megaterium*, em um meio com alta relação de carbono e nitrogênio (CAMARGO, 2003).

Na década de 60 a descoberta de propriedades termoplásticas aumentou o interesse levando a empresa W.R.Grace Co. a produzir comercialmente o P[3HB]. Na década de 70 foram descobertos outros hidroxialcanoatos. (RODRIGUES, 2005). A empresa inglesa Imperial Chemical Industrie começa a produzir PHA's com o nome de Biopol®.

No Brasil, em meados da década de 90, foram iniciadas as pesquisas para a produção do P[3HB], a partir de processos fermentativos. O PHB começou a ser produzido em 1995, por meio de tecnologia desenvolvida em uma planta piloto na usina da Pedra em Serrana-SP, com a parceria do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, da COPERSUCAR e da Universidade de São Paulo, USP (AKIYAMA et al., 2003; NONATO et al., 2001 apud RODRIGUES, 2005, p. 19).

Como resultado dessa parceria, teve início um estudo com os polímeros polihidroxialcanoatos, PHA's que podem ser produzidos por bactérias, em biorreatores, a partir de açúcares. O poli(β-hidroxibutirato), PHB, é o principal representante dos PHA's, sendo suas propriedades semelhantes às do polipropileno, PP.

O PHB apresenta a particularidade de ser altamente biodegradável quando exposto a ambiente biologicamente ativo, o que o torna muito atraente para a substituição dos plásticos convencionais (KRUPP et al*.,* 1992 apud NASCIMENTO, 2001). É uma espécie de poliéster proveniente da cana-de-açúcar ou de outras fontes renováveis. Apresenta coloração branca e aspecto granulado.

Processo de obtenção do polihidroxibutirato

O meio de obtenção do PHB, mais utilizado para fins industriais ou para pesquisas, é a síntese por microrganismos, especialmente bactérias (LEE, 1996; Marchessault, 2005 apud TADA, 2009). A TABELA 1 apresenta dados a respeito da capacidade de algumas bactérias para acumular polihidroxialcanoatos.

Há muitos microrganismos capazes de produzir PHA's. Bactérias da espécie *Ralstonia eutropha* (anteriormente denominada *Alcaligenes eutrophus*) têm sido utilizadas na produção industrial, por apresentar altas taxas de produção de polímero e proporcionar altos rendimentos. Entretanto, a cepa original (*Alcaligenes eutrophus* H16) só utiliza alguns tipos de açúcares, e, embora espécies mutantes (*Ralstonia eutropha* DSM 545, *Alcaligenes eutrophus* NCIMB 11599) possam crescer em glicose, não podem hidrolisar sacarose. Outro microrganismo com grande potencial para a produção industrial é *Burkholderia sacchari* (anteriormente denominada *Burkholderia* sp. IPT 101), isolado de solo de canavial brasileiro (BRÄMER, 2001 apud SQUIO, 2004).

A *Ralstonia eutropha* cresce em meio mineral contendo glicose, como única fonte de carbono, e fosfato suficiente para o crescimento celular, até atingir uma determinada biomassa desejada. A TABELA 2 apresenta os tipos de bactérias e respectivos substratos carbônicos estudados na obtenção de copolímeros contendo PHA(R)-3HB como um componente.

No Brasil o PHB é fabricado pela BIOCYCLE®, produzido na Usina da Pedra, em Serrana-SP, com a parceria do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, da COPERSUCAR e da Universidade de São Paulo. Nessa planta piloto, o PHB é produzido pela bactéria *Ralstonia eutropha,* geneticamente modificada para o consumo de sacarose. Linhagens não modificadas de *Ralstonia eutropha* são capazes de metabolizar apenas açúcar invertido e não sacarose (SQUIO, 2004; VELHO, 2006 apud TADA, 2009).

Segundo Tada (2009), o processo de obtenção do PHB utilizado no projeto Copersucar-IPT envolve duas fases nos fermentadores, conforme ilustra a FIGURA 1. Na primeira fase, as bactérias são induzidas a crescer, em meio de cultura sem limitação de nutrientes necessários ao crescimento, até que seja atingida a concentração celular desejada de bactérias. Na segunda fase, a síntese do PHB ocorre quando há limitação de nutrientes necessários para a bactéria, por exemplo, o fósforo; em um meio com excesso de carbono, os microrganismos se alimentam desses açúcares, e em seu interior são formados grânulos de poliésteres. Para as bactérias esses grânulos funcionam como reserva de energia.

Após esse processo, o PHB é extraído e purificado, com o auxílio de um solvente orgânico, que rompe a parede celular do microrganismo, possibilitando a liberação dos grânulos de poliéster. O que sobra do processo retorna à lavoura como adubo orgânico. O bioplástico obtido junto à máquina extratora possui a aparência de um pó branco (ORTEGA, 2006).

Entre as várias etapas que compõem o processo de produção do PHB, destacam-se a etapa de fermentação, que determina a massa molar final do polímero obtido, e a etapa de extração, da qual dependem muitas propriedades do produto final, como, por exemplo, sua flexibilidade. A última etapa é muito importante, pois é responsável pelo grau de pureza do polímero (CASARIN, 2004).

Um dos grandes obstáculos na produção do PHB e dos PHA's é o seu alto custo, devido ao custo dos substratos utilizados. Para compensar o gasto alto com substrato é necessário utilizar fontes de carbono mais baratas.

A produção de PHB e copolímeros, integrada à produção de açúcar e álcool em usinas de processamento de cana-de-açúcar, pode representar uma grande oportunidade de produzir polímero a baixo custo e expandir a indústria de cana. Neste caso, a energia necessária aos processos de produção provém da queima do bagaço da cana. Os efluentes do processo e a biomassa resultante após a extração do polímero podem ser utilizados como fertilizantes na plantação de cana, e os solventes utilizados na purificação do polímero são derivados da fermentação alcoólica, naturais e biodegradáveis, portanto, sem representar impacto ambiental negativo (NONATO, 2001 apud SQUIO, 2004).

Propriedades e aplicações do polihidroxibutirato

O PHB apresenta propriedades mecânicas similares às do polipropileno, tais como elevada cristalinidade, resistência à mistura, resistência à água, pureza óptica, boa estabilidade a

radiação ultravioleta, barreira à permeabilidade de gases, biocompatibilidade, alta regularidade da cadeia carbônica e elevada massa molecular, embora tenha duas características que o limitam a certas aplicações, que são a sua característica quebradiça e a reduzida faixa de condições de processamento (RODRIGUES, 2005).

O PHB possui muitas outras propriedades interessantes como, por exemplo, a já citada biodegradabilidade. Além da biodegradabilidade, outras características importantes são a biocompatibilidade e a possibilidade de ser produzido a partir de fontes renováveis ou mesmo a partir de subprodutos e rejeitos industriais (BORMANN et al., 1998; FUKUI; DOI, 1998; YU, 2001 apud RODRIGUES, 2005).

Segundo Ortega (2006), o PHB pode ser utilizado na fabricação de embalagens para higiene, limpeza, cosméticos e produtos farmacêuticos, além de também ser empregado na produção de sacos e de vasilhames para fertilizantes e defensivos agrícolas. Pode ser usado na produção de artefatos mais flexíveis, como, por exemplo, frascos de xampu ou materiais que necessitam do processo de extrusão por sopro, como é o caso dos sacos plásticos.

Já foi desenvolvido um produto da mesma família do PHB, o PHB–HV (polihidroxibutirato – hidroxivalerato), que tem menor ponto de fusão e não é 100% degradável, como o PHB. A principal dificuldade no desenvolvimento do PHB está concentrada na escolha do tipo de bactéria (RAMALHO, 2009).

O custo da produção do PHB ainda é muito elevado devido à complexidade do processo produtivo, que ocorre em várias etapas.

Conclusão

O bioplástico polihidroxibutirato é produzido no Brasil pela Usina da Pedra, situada em Serrana, no estado de São Paulo, e é denominado comercialmente como BIOCYCLE®. É produzido por microrganismos selecionados da natureza, o que pode encarecer o processo, até que sejam obtidas linhagens puras para fabricação específica.

Uma das dificuldades da produção do bioplástico é o custo, pois as bactérias e os substratos utilizados para tal finalidade possuem custo elevado. Para diminuir o custo, alguns bioplásticos podem ser produzidos a partir de fontes renováveis, tais como o óleo da mamona, o milho, a partir do qual se obtém amido, que é um polímero natural, ou a cana-de-açúcar.

Para incrementar a produção, suas propriedades e aumentar as aplicações dos bioplásticos, ainda serão necessárias muitas pesquisas, principalmente para que esses materiais passem a apresentar algumas propriedades, por exemplo, as mecânicas, superiores às apresentadas por determinados plásticos convencionais.

Referências

AKIYAMA, M.; TSUGE, T.; DOI, Y. Environmental life cycle comparison of polyhydroxyalkanoates produced from renewable carbon resources by bacterial fermentation. 2003. In: RODRIGUES, A. D. **Estudo da Produção de Polihidroxibutirato por *Cupriavidus necator* em fermentação no estado sólido.** 2005. XI, 86 p. (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Química, 2005) Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

BORMANN, E. J.; LEIBNER, M.; ROTH, M. et al. Production of polyhydroxybutyrate by *Ralstonia eutropha* from protein hydrolysates. 1998. In: RODRIGUES, A. D. **Estudo da Produção de Polihidroxibutirato por *Cupriavidus necator* em fermentação no estado sólido.** 2005. XI, 86 p. (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Química, 2005) Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

BRÄMER, C. O.; VANDAMME, P.; SILVA, L. F.; GOMEZ, J. G. C.; STEINBÜCHEL, A.; Int. J. Syst. Bacterior. Evol. Microbiol. 2001. In: SQUIO, C. R.; ARAGAO, G. M. F. de. Estratégias de cultivo para produção dos plásticos biodegradáveis poli(3-Hidroxibutirato) e poli(3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato) por bactérias. Química Nova, v. 27, n. 4, ago de 2004.

CAMARGO, F. A. **Obtenção, caracterização e estudo de biodegradação de blendas de poli(3-hidroxibutirato-co-valerato)/(PHBV) com lignina de bagaço de cana de açúcar.** 2003. 115 p. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química. Campinas, SP:[s.n.], 2003.

CASARIN, S. A. **Desenvolvimento e caracterização de blendas e compostos empregando polímeros biodegradáveis.** 2004. 112 p. Dissertação (Mestrado em Ciências), UFSCar, São Carlos, 2004. Disponível em: <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000317738>. Acesso em: 20 mar. 2010.

FUKUI, T.; DOI, Y. Efficient production of polyhydroxyalkanoates from plant oils by *Alcaligenes eutrophus* and its recombinant strain. 1998. In: RODRIGUES, A. D. **Estudo da Produção de Polihidroxibutirato por *Cupriavidus necator* em fermentação no estado sólido.** 2005. XI, 86 p. (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Química, 2005) Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

KRUPP, L. R.; JEWELL, J. W. Biodegradability of Modified Plastic Films in Controlled Biological Enviroments. 1992. In: NASCIMENTO, J. F. **Estudo da Processabilidade e da caracterização do Poli(ácido 3-hidroxibutírico) – PHB obtido a partir de cana de açúcar.** 2001. 74 p. Dissertação (Mestrado em Química) – Faculdade de Engenharia Qúimica - Campinas, SP.

LEE, S. Y.; Trends Biotechnol, 1996. In: TADA, E. S. **Blendas com poli(3-hidroxibutirato) (PHB) e copolímeros aleatórios: comportamento de fases e cinética de cristalização.** 2009. 247 p. Tese de Doutorado em Ciências. Campinas, SP: [s.n], 2009.

LIMA, E. G.; OKIMOTO, M. L. L. R. Revisão da Aplicação de Produtos Biopolímeros Obtidos pela Reciclagem de Plásticos em Design. **Revista Iberoamericana de Polímeros**. v. 10, p. 244-259, set. 2009.

NONATO, R. V.; MANTELATTO, P. E.; ROSSELL, C. E. V. Integrated production of biodegradable plastic, sugar and ethanol. 2001. In: SQUIO, C. R.; ARAGAO, G. M. F. de. Estratégias de cultivo para produção dos plásticos biodegradáveis poli(3-Hidroxibutirato) e poli(3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato) por bactérias. Química Nova, São Paulo, v. 27, n. 4, ago de 2004.

ORTEGA FILHO, S. **O potencial da agroindústria canavieira do Brasil.** São Paulo: Faculdade de Ciências Farmacêuticas. 2006. 9 p. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/Departamentos/FBT/HP_Professores/Penna/EstudoDirigido/Agroindustria_Canavieira.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2010.

RAMALHO, M. **Plásticos biodegradáveis provenientes da cana de açúcar.** p. 52. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, 2009. Disponível em: <http://www.fateczl.edu.br/TCC/2009-2/tcc-123.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2010.

RODRIGUES, A. D. **Estudo da Produção de Polihidroxibutirato por *Cupriavidus necator* em fermentação no estado sólido.** 2005. XI, 86 p. (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Química, 2005) Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

SQUIO, C. R.; ARAGAO, G. M. F. de. Estratégias de cultivo para produção dos plásticos biodegradáveis poli(3-Hidroxibutirato) e poli(3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato) por bactérias. Química Nova, v. 27, n. 4, ago de 2004. In*:* TADA, E. S. **Blendas com poli(3-hidroxibutirato) (PHB) e copolímeros aleatórios: comportamento de fases e cinética de cristalização.** 2009. 247 p. Tese de Doutorado em Ciências. Campinas, SP: [s.n], 2009.

TADA, E. S. **Blendas com poli(3-hidroxibutirato) (PHB) e copolímeros aleatórios: comportamento de fases e cinética de cristalização.** 2009. 247 p. Tese de Doutorado em Ciências. Campinas, SP: [s.n], 2009.

TSUGE, T. Metabolic Improvements and Use of Inexpensive Carbon Sources in Microbial Production of Polyhydroxyalkanoates. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 94, n. 6, p. 579-584, 2002.

VELHO, L.; VELHO, P. The development of a sugar based plastic in Brazil. The role of Government Schemes in fostering Public Sector Research-Industry Relations. 2006. In: RODRIGUES, A. D. **Estudo da Produção de Polihidroxibutirato por *Cupriavidus necator* em fermentação no estado sólido.** 2005. XI, 86 p. (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Química, 2005) Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

VIEGAS, R. P. C. Estudo da produção de Polihidroalcanoatos (PHAs) por *Chromobacterium violaceum.* 2005. Dissertação (mestrado) – Universidade de Santa Catarina – SC, Florianópolis, 2005

VIVEIROS, M. Bagaço vira plástico biodegradável. **Folha de São Paulo***,* 03/11/2002. Caderno Ambiente. P. A15. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u62132.shtml>. Acesso em: 20 de nov. de 2009.

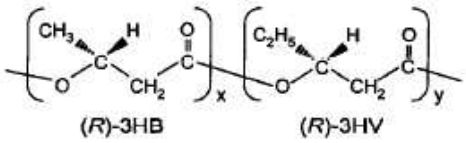
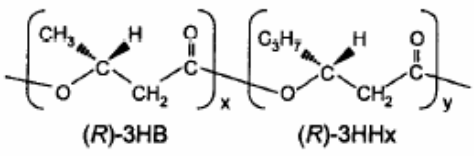
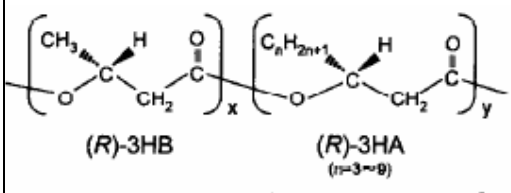
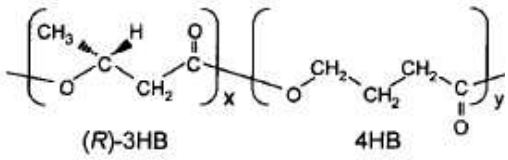
YU, J. Production of PHA from starchy water via organic acids. 2001. In*:* RODRIGUES, A. D. **Estudo da Produção de Polihidroxibutirato por *Cupriavidus necator* em fermentação no estado sólido.** 2005. XI, 86 p. (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Química, 2005) Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

Tabela 1. Capacidade de alguns microrganismos para acumular polihidroxialcanoatos.

Microorganismo	% de acúmulo
R. eutropha	96
Azospirillum	75
Azotobacter	73
Baggiatoa	57
Leptothrix	67
Methylocystis	70
Pseudomonas	67
Rhizobium	57
Rhodobacter	80

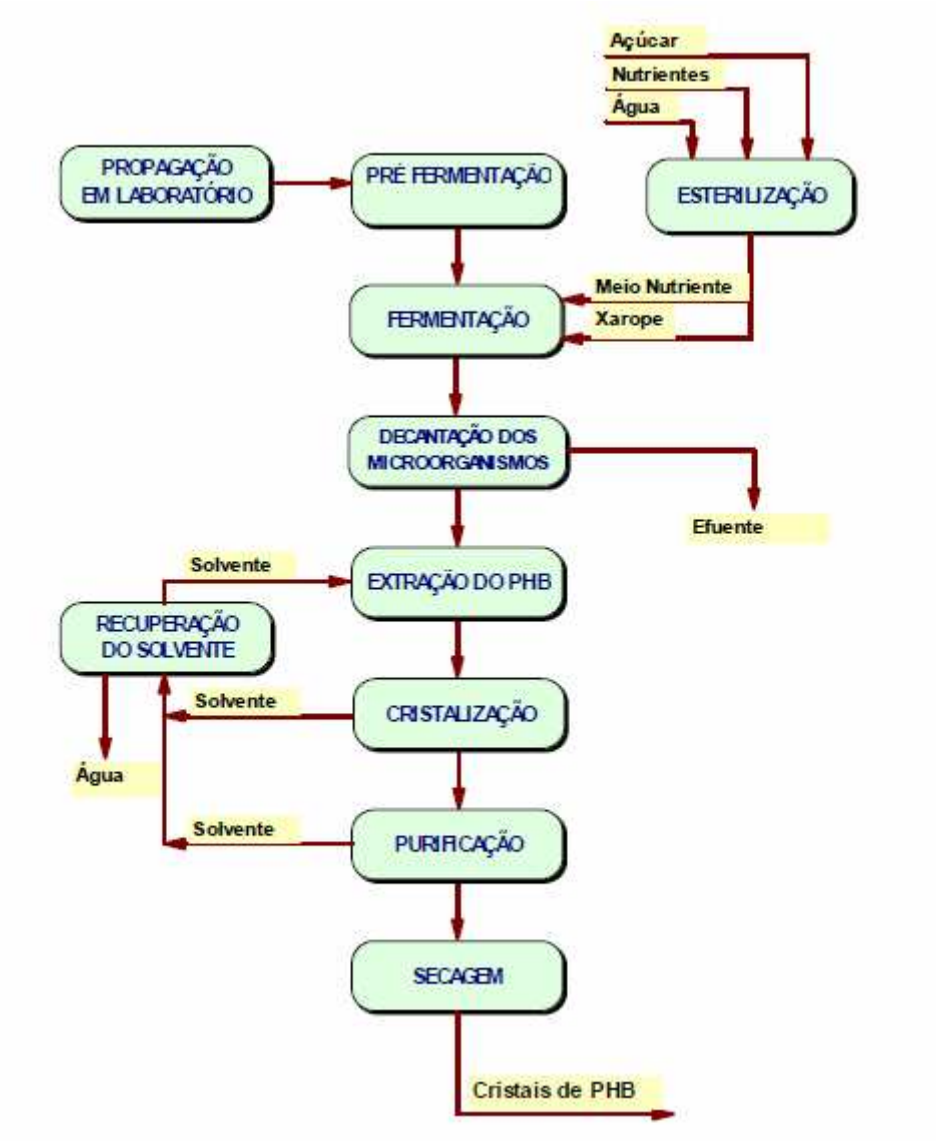
Fonte: REDIFF HOME PAGE apud VIEGAS, 2005, p. 16.

Tabela 2. Tipos de bactérias e respectivos substratos carbônicos estudados na obtenção de copolímeros contendo PHA (R)-3HB como um componente.

Espécie Bacteriana	Substrato Carbônico	Copolímero Aleatório
Ralstonia eutropha	Ácido Propiônico Ácido Pentanoico	
Aeromonas caviae	Óleos Vegetais Ácidos Graxos	
Pseudomonas sp. 61-3	Açúcar	
Ralstonia eutropha *Alcaligenes latus* *Comomonas acidvorans*	Ácido 4-hidroxibutírico γ-Butirolactona 1,4-Butanodiol 1,6-Hexanodiol	

Fonte: TSUGE, 2002, p. 580.

Figura 1. Esquema do processo de obtenção do polihidroxibutirato.



Fonte: ORTEGA, 2006, p. 8.