

## ESTUDO SOBRE BIOPOLÍMEROS: Obtenção e Aplicação de Polihidroxibutirato (PHB)

**Gabriel Perez dos Santos**

Graduando em Engenharia Química,  
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

**Vitor Vinícius Anjos Bonfim Ribeiro**

Graduando em Engenharia Química,  
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

**Ricardo da Silva Ferreira Junior**

Doutor em Química – UFMS  
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

**Uilian Gabaldi Yonezawa**

Químico – Faculdades Integradas de Fernandópolis; Mestre em Ciência dos Materiais – UNESP;  
Doutorando em Ciência dos Materiais – UNESP;  
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

### RESUMO

Os polímeros são de grande importância devido a suas propriedades e aplicações. No entanto, grande parte dos materiais poliméricos é derivada de fontes não renováveis e o seu descarte inadequado, assim como sua alta resistência a degradação, tem prejudicado o meio ambiente. Portanto este trabalho tem como objetivo construir o estado da arte de um biopolímero em específico o PHB e avaliar as diversas propriedades do mesmo. Deste modo, o respectivo estudo mostra o processo de produção do PHB que é obtido pela bactéria *Ralstonia eutropha*, que são capazes de metabolizar a sacarose da cana-de-açúcar (apenas açúcares invertidos) produzindo assim, um polímero biocompatível, biodegradável e atóxico podendo ser utilizados em diversas áreas. Portanto é notória que a produção e aplicação do PHB são uma tendência inovadora no mercado de biopolímero.

**PALAVRAS-CHAVE:** polímeros; biopolímero; cana-de-açúcar; *Ralstonia eutropha*.

### 1 INTRODUÇÃO

Os produtos poliméricos têm uma grande relevância no cotidiano da sociedade, uma vez que esses possuem diversas aplicações. Contudo, pode-se afirmar que uma boa porcentagem da obtenção desses materiais é proveniente do petróleo. Vale ressaltar que o alto consumo de petróleo é derivado de fontes naturais, não renováveis e encontram-se cada vez mais escassos. No entanto a grande preocupação sobre esses materiais consiste na destinação e descarte final dos mesmos (GONÇALVES, 2013). Portanto, os descartes inadequados desses produtos poliméricos prejudicam o meio ambiente, gerando problemas consideráveis

em aterros devido a sua alta resistência a degradação, delongando anos para se decompor (BRITO et al., 2011).

Os polímeros ou plásticos ambientalmente degradáveis (biopolímeros) abrem uma opção complementar no gerenciamento de resíduos, minimizando assim, os problemas ambientais causados pelos polímeros sintéticos. (INNOCENTNI-MEI; MARIANI, 2005). Uma das matérias primas naturais e renováveis que tem despertado o interesse dos pesquisadores para a obtenção de biopolímeros, por proporcionarem resultados satisfatórios é a cana-de-açúcar (TELLES; SARAN; UNÊDA-TREVISOLLI, 2011). O Brasil é um dos maiores países produtores de cana-de-açúcar (SANCHEZ et al., 2010). Um dos biopolímero adquirido da cana-de-açúcar é o poli-(3-hidroxi-butirato) (PHB) sua obtenção é através de síntese por microrganismos, no qual é produzido por meio de fermentação bacteriana, com predominância de utilização da bactéria *Raltonia eutropha*. A biossíntese deste polímero permite um processo cíclico sustentável através de fontes renováveis, substituindo tecnologias de ponta, ligadas à produção e ao uso de materiais poliméricos sintéticos (VOGELSANGER et al., 2003).

As propriedades mecânicas do PHB são relativamente iguais às do polipropileno, como por exemplo, a alta cristalinidade, resistência à água, resistência à mistura, boa estabilidade a radiação ultravioleta, biocompatibilidade, elevada regularidade da cadeia carbônica e uma alta massa molecular (TELLES; SARAN; UNÊDA-TREVISOLLI, 2011), apesar de possuir duas características que o limitam a algumas aplicações que são: sua reduzida faixa de condições de processamento e sua característica quebradiça (RODRIGUES, 2005). Uma das principais propriedades do PHB quando comparado com polímeros derivados do petróleo é a sua capacidade de ser biodegradável. Além de biodegradabilidade, outra característica importante é a possibilidade de ser produzido a partir de fontes renováveis (BORMANN et al., 1998; FUKUI; DOI, 1998; YU, 2001 apud RODRIGUES, 2005).

## 2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo relatar informações a respeito da produção e aplicação de biopolímeros, especificamente o PHB obtidos a partir da cana-de-açúcar. A motivação da construção do levantamento de dados sobre

biopolímeros é minimizar a exploração de matérias primas não renovável, assim como a redução da poluição ambiental.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada neste trabalho foi de natureza descritiva, com levantamento bibliográfico referente ao tema proposto, tendo como fonte de análise: livros, teses, dissertações e artigos de revistas científicas. Assim como, trabalhos disponíveis no meio eletrônico, fornecendo conceitos e resultados de diversas pesquisas no meio acadêmico para alcançar o objetivo e discutir com êxito o tema em questão.

### 4 MATERIAIS POLIMÉRICOS

A palavra polímero origina-se do grego *poli* (muitos) e *mero* (unidade de repetição). Os polímeros são moléculas com cadeias extremamente grande, constituída pelas repetições de pequenas unidades, denominadas monômeros, ligadas covalentemente. Para a produção de um polímero precisa-se do monômero, isto é, uma molécula com uma unidade de repetição. Dependendo do tipo do monômero, número médio de meros por cadeia e do tipo de ligação covalente, poderemos dividir os polímeros em três grandes classes, plásticos, fibras e borrachas. Os plásticos são materiais que contem polímeros orgânicos e sintéticos capazes de serem moldados sobre calor e pressão. As fibras são corpos flexíveis compostos por macromoléculas lineares, orientadas longitudinalmente. As borrachas são matérias que possuem elasticidade longa que podem ser flexíveis em temperatura ambiente (CANEVAROLO JÚNIOR, 2006; ANDRADE, 1995).

Existem diversas formas para a classificação de um polímero, de acordo com a mudança de temperatura e o comportamento das cadeias poliméricas pode classificá-los como termoplástico e termorrígido. Os termoplásticos são polímeros que podem ser fundidos e solidificados várias vezes de acordo com a mudança de temperatura que sofre. Já os polímeros termorrígidos, geralmente são materiais em forma líquida que após uma influência de temperatura a reação se torna infusível (MORASSI, 2013). Várias propriedades físicas são dependentes do comprimento da molécula, isto é, sua massa molar. Como os polímeros normalmente envolvem uma

larga faixa de valores de massa molar, se espera grande variação em suas propriedades. Vale ressaltar também que alterações no tamanho da molécula, quando esta é pequena, provocam grandes mudanças nas suas propriedades físicas (CANEVAROLO JÚNIOR, 2006).

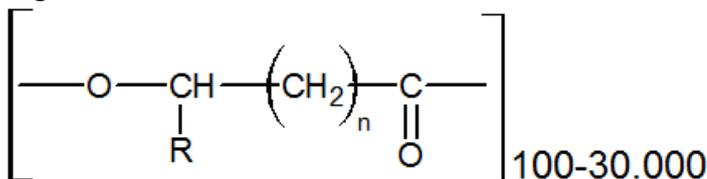
Durante uma síntese de polimerização, é necessário que cada monômero ou combinação de monômeros se liguem entre si para formar a cadeia polimérica. Deste modo, cada monômero deve se ligar, no mínimo, com outros dois monômeros para que ocorra a reação de polimerização. O número de pontos reativos presentes em cada monômero é chamado de funcionalidade. Deste modo, o monômero deve ter pelo menos funcionalidade dois, conhecido como bifuncionalidade, podendo ser obtida pela presença de grupos funcionais reativos e/ou ligações duplas reativas. Monômeros que possuem funcionalidade maior ou igual a três são chamadas de polifuncionais, que produzem rede tridimensional (CANEVAROLO JÚNIOR, 2010).

O monômero ou molécula que dão origem ao polímero podem ser obtidos de fontes não renováveis e fontes renováveis, o que nos permite classificá-lo como polímero sintético ou natural, respectivamente. Os polímeros sintéticos apresentam capacidade de estiramento bastante inferior à dos elastômeros, possuindo alguma elasticidade reversível e sofrendo pequena deformação permanente. Os mais conhecidos são o polietileno e polipropileno, no qual suas aplicações estão voltadas para fins indústrias, fornecendo materiais para diversas aplicações, tais como: frascos de embalagens, carcaças de eletrodomésticos e muitos outros (SILVA; SILVA, 2003). Por outro lado, têm-se os polímeros naturais que já existem normalmente na natureza e tem despertado grandes interesses devido as suas propriedades de biodegradabilidade, biocompatibilidade e atoxicidade, alguns exemplos de polímeros naturais, extraídos diretamente da natureza, têm-se os carboidratos de plantas (amido, celulose, alginato, ágar, etc.) e de origem animal ou vegetal como proteína de soja, glúten de trigo, gelatina e colágeno (MAGALHÃES; ALMEIDA, 2004; FONSECA, 2014).

## **5 PROCESSO DE OBTENÇÃO DO POLI-(3-HIDROXIBUTIRATO)**

O PHB pertence à família dos polihidroxicanoatos (PHAs). A Figura 1 mostra a estrutura do PHAs em que, diversas propriedades dependem do tamanho e da composição do grupo alquila, R.

Figura 1. Fórmula estrutural do PHAs.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Tabela 1 apresenta dados da capacidade das bactérias acumularem polihidroxialcanoatos.

Tabela 1. Capacidade de alguns microrganismos para acumular polihidroxialcanoatos (principal composto para a obtenção do PHB)

Microrganismo	% de acúmulo
<i>R. eutropha</i>	96
<i>Azospirillum</i>	75
<i>Azotobacter</i>	73
<i>Baggiatoa</i>	57
<i>Leptothrix</i>	67
<i>Methylocystis</i>	70
<i>Pseudomonas</i>	67
<i>Rhizobium</i>	57
<i>Rhodobacter</i>	80

Fonte: Extraído de REDIFF HOME PAGE apud VIEGAS, 2005.

O meio de obtenção do PHB mais utilizado é por microrganismos, principalmente bactérias (Tabela 1). O método desenvolvido consiste na fermentação da sacarose da cana-de-açúcar pela bactéria *Ralstonia eutropha*. Linhagens não modificadas de *Ralstonia eutropha* que não são capazes de metabolizar sacarose, apenas açúcares invertidos. (TADA, 2009 apud FONSECA, 2014). É importante destacar que a massa molar obtida na produção do biopolímero (PHB) depende da escolha do microrganismo, assim como estratégias de produção (taxa de crescimento e duração da fermentação). O PHB tem peso molecular na faixa de  $1 \times 10^4$  a  $3 \times 10^6$  (NASCIMENTO, 2001; SUDESH et al., 2000 apud FONSECA, 2014).

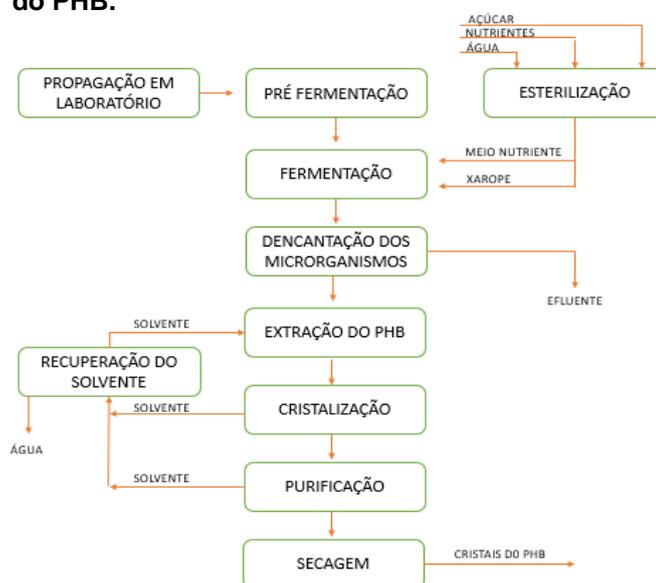
Conforme ilustra a Figura 2, a primeira fase do processo, as bactérias são impulsionadas a crescerem, em meio de cultura sem limitação de nutrientes necessários para o crescimento, até que a concentração celular de bactérias seja atingida. Na segunda fase, a síntese do PHB ocorre quando há algum tipo de limitação de nutrientes necessários para a bactéria, como por exemplo, o fósforo e juntamente com esta fase, tem-se o aumentar substrato com fontes de carbono. Os

microrganismos se alimentam desses açúcares, são formados grânulos de poliésteres em seu interior. Esses grânulos trabalham como reserva de energia. Logo após todo esse processo, o PHB é extraído e purificado, com um solvente orgânico, no qual a parede celular do microrganismo é quebrada, possibilitando a liberação dos grânulos de poliésteres. Tudo que sobra no processo retorna como adubo orgânico para a lavoura (ORTEGA, 2006; TADA, 2009 apud TELLES, 2011).

Uma desvantagem na produção do PHB junto com PHAs é o alto custo devido à utilização de substratos no processo. Para compensar o alto capital com substrato é necessário utilizar fontes de carbono mais baratas (TELLES; SARAN; UNÊDA-TREVISOLLI, 2011).

A produção de PHB e copolímeros junto com a produção de açúcar e etanol em usinas de cana-de-açúcar podem ser muito rentáveis para produção de biopolímero (produto ecológico) expandindo assim a indústria de cana no país (NONATO, 2001 apud SQUIO, 2004).

**Figura 2. Fluxograma do processo de produção do PHB.**



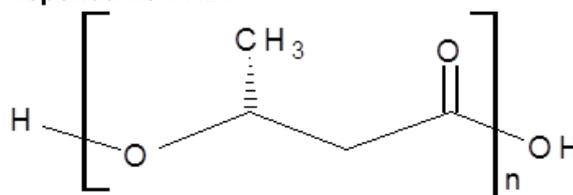
**Fonte:** Extraído de ORTEGA, 2006 apud TELLES, 2011.

## 6 ESTRUTURA DO POLI-(3-HIDROXIBUTIRATO)

O PHB com fibras cristalinas demonstra que as moléculas do polímero apresentam formação helicoidal. O modelo conformacional tem forças básicas que são principalmente interações de Van der Waals entre os grupos metila e o oxigênio

das carbonilas. Devido à taticidade do PHB, é altamente cristalino o material, também opticamente ativo, na configuração absoluta no carbono quiral, quando o PHB é produzido por microrganismo. A Figura 3 mostra a fórmula estrutural do PHB. (NASCIMENTO, 2001; SUDESH et al., 2000, apud FONSECA, 2014).

**Figura 3. Fórmula estrutural da unidade repetida no PHB.**



Fonte: Elaborado pelos autores

O PHB possui propriedades termoplásticas, que lhes permitem serem moldados ou transformados em filmes para aplicações diversas (CHANDRA; RUSTIGI, 1998). As diversas propriedades do PHB, já mencionadas anteriormente neste trabalho de revisão permitem utilizar o mesmo em diversas áreas como: marinha, agricultura, nos ramos de embalagens de alimentos, fármacos e produtos de higiene pessoal e, por serem biocompatíveis, têm potencial para aplicações na área médica, como futuros suportes de culturas de tecido para implantes (BUCCI 2003; ASSIS, 2009 apud FONSECA, 2014; TELLES, 2011).

## 7 APLICAÇÕES DO POLI-(3-HIDROXIBUTIRATO)

O PHB por ser considerado um termoplástico natural biodegradável pode ser usado em diversas áreas desde a agricultura à higiene pessoal. Como por exemplo, Maia, Junior e Rodríguez (2014), realizaram estudos sobre o desenvolvimento de dispositivos odontológicos e ortopédicos que possui características ao osso natural, boa compatibilidade e biodegradabilidade podendo ser integrado à estrutura óssea. Sendo assim, a realização do trabalho visou a formulação e caracterização de biocompósitos de poli-(3-hidroxiabutirato) utilizando nanopartículas de hidroxiapatita sintética e, posterior comparação dos resultados com os materiais já utilizados no mercado. As conclusões no respectivo estudo foram testar as propriedades mecânicas sobre flexão e compressão do PHB, também a metodologia da formulação de biocompósitos com diferentes porcentagens de nano hidroxiapatita com a técnica de *spray dryer*.

Fonseca (2014) estudou a aplicação do PHB em embalagens alimentícias, segundo o autor o PHB utilizado na produção de embalagens pode sofrer degradação por microrganismos promovendo a produção de resíduos orgânicos. Portanto, mesmo que as embalagens sejam descartadas em qualquer lugar, ela degrada-se num período de meses, no máximo anos minimizando assim, os problemas ambientais quando comparados com embalagens de PP, PE, PS, PET, etc. cuja degradação leva centenas de anos. O autor relata também que o PHB e seus copolímeros podem substituir os polímeros convencionais em diversas aplicações por possuírem propriedades físicas semelhantes (Tabela 2). Além disso, o PHB tem uma barreira natural à luz na faixa de radiação ultravioleta (UV) o que possibilita a isenção de absorvedores de UV ou uso de pigmentos protegendo assim os alimentos facilmente oxidáveis.

**Tabela 2. Propriedades físicas do PHB e alguns copolímeros em comparação com plásticos.**

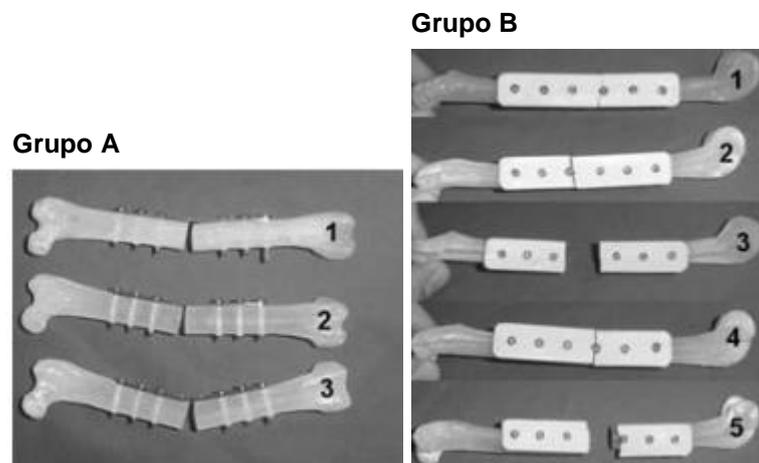
Material	Tm (°C)	Tg (°C)	Tensão de Cisalhamento (Mpa)	Elongamento na ruptura (%)
PHB	177	4	43	5
P(HB-co-10%HV)	150	-	25	20
P(HB-co-20% HV)	135	-	20	100
P(HB-co-17% HHx)	127	-1	21	400
P(HB-co-17% HHx)	120	-2	20	850
Polipropileno (PP)	170	-	34	400
Poliestireno (OS)	110	-	50	-

Fonte: Extraído de PRADELLA, 2006.

Alvez et al. (2010) realizaram estudos sobre placas de compósitos de PHB em modelos ósseos em gatos. Foram fixadas as placas em um modelo acrílico de fêmur de gato, onde o conjunto foi submetido aos testes de flexão com quatro pontos, compressão axial e torção, empregando-se como referência microplacas de aço. Os testes de flexão e de compressão foram feitos com a média das forças máximas, respectivamente, de 323,20 N e 617,70 N, para as placas de compósito, e de 352,33 N e 547,70 N, para as placas de aço. No teste de torção, as médias dos torques máximos foram de 1,01 Nm para as placas de compósito e de 1,15 Nm para as placas de aço. O comportamento físico do material foi diferente, pois as placas de compósito se romperam e as de aço apenas se deformaram, revelando baixa ductilidade das placas de compósito. A Figura 4 apresenta as fraturas obtidas no estudo de flexão com quatro pontos. Portanto, as placas mecânicas testadas se

deformaram de forma elástica, porém, no ponto de vista clínica isso é bom, pois uma vez que ela permite que o sistema volte à forma normal após a aplicação de força, desde que a força não supere o limite de deformação elástica. Os autores relatam ainda que a placa de compósito possui resistência máxima próxima a da placa de aço 2.0 o que segundo eles, os resultados são promissores e encorajam outros estudos mais aprofundados sobre a aplicação do compósito em placas de fixação de fraturas.

**Figura 4. Corpos de prova fixados com placas de aço em modelos ósseos de gatos (Grupo A) e por placas de compósito PHB/HA (Grupo B) após a realização do ensaio de flexão com quatro pontos.**



Fonte: Extraído de (ALVEZ, et al. 2010)

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme o desenvolvimento do estudo de revisão é possível concluir que a substituição de polímeros convencionais provenientes de fontes não renováveis por biopolímeros vem crescendo nos últimos anos. É notório também que o biopolímero em específico o poli(3-hidroxi-butarato) possui propriedades específicas que permite a substituição do mesmo por polímeros sintéticos podendo ser utilizados em várias áreas de aplicação. No entanto estudos sobre o PHB ainda estão sendo desenvolvidos com a finalidade de melhorar suas propriedades destinando o mesmo para aplicações específicas.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. M. M. C.; MAGALHÃES, V. H. S. Polímero. Universidade de Fernando Pessoa, p. 2-17, 2004.

ALVEZ, E. G. L. Avaliação mecânica da placa de compósito de poli-hidroxibutirato e hidroxiapatita em modelos ósseos de gato, Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., v. 62, n. 6, p. 1367-1374, 2010.

ANDRADE, C. Compêndio de Nomenclatura Macromolecular. UNLZ, Zamora, 1995.

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. (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Química) Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, p. 86, 2005.

BRITO, G. F. et al. Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes, Departamento de engenharia de materiais da Universidade Federal de Campina Grande, p. 128-139, set. 2011.

BUCCI, D. Z.; TAVARES, L. B. B.; SELL, I. Biodegradation and physical evaluation of PHB packaging. Polymer Testing, vol. 26, p. 908-915, 2007. In: FONSECA, C. C. Produção e utilização do biopolímero poli(hidroxibutirato) (PHB) em embalagens alimentícias, Escola de Engenharia de Lorena, p. 12-58, 2014.

CANEVAROLO JUNIOR, S. V. Ciência dos polímeros. Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2006.

CANEVAROLO JUNIOR, S. V. Ciência dos polímeros. Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 3. ed. São Paulo: Artliber, 2010.

CHANDRA, R.; RUSTIGI, R. Biodegradable Polymers. Program, Polymer Science, Grã-Bretanha, n° 23, p. 1273-1335, 1998.

FONSECA, C. C. Produção e utilização do biopolímero poli(hidroxibutirato) (PHB) em embalagens alimentícias, Escola de Engenharia de Lorena, p. 12-58, 2014.

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. (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Química) Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, p. 86, 2005.

GONÇALVES, P. F. A. Obtenção e caracterização de compósitos poliméricos biodegradáveis obtidos via extrusão a partir de PLA (ácido polilático), amido de mandioca, glicerol e bagaço de cana-de-açúcar. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, p. 15-82, 2013.

INNOCENTINI-MEI, L. H.; MARIANI, P. D. S.O. Visão geral sobre polímeros ou plásticos ambientalmente degradáveis PADs. Campinas, out. 2005.

MAIA, Y. Y. V. A.; JUNIOR, L. P. B.; RODRÍGUEZ, R. J. S. Formulação de biocompósitos para uso odontológico a partir do polihidroxibutirato (phb) e nano hidroxapatita. Congresso fluminense de iniciação científica, 2014.

MORASSI, O. J. Polímeros termoplásticos, termofixos e elastômeros. Conselho Regional de Química IV Região, ago. 2013.

NASCIMENTO, J. F. Estudo da processabilidade e da caracterização do poli(ácido 3-hidroxibutírico)- PHB obtido a partir da cana-de-açúcar, 2001. In: FONSECA. C. C. Produção e utilização do biopolímero poli(hidroxibutirato) (PHB) em embalagens alimentícias, Escola de Engenharia de Lorena, p. 12-58, 2014.

NONATO, R. V.; MANTELATTO, P. E.; ROSSELL, C. E. V. Biotechnol. Appl. Microbiol, 2001.

OLIVEIRA, C. F. Produção de Polihidroxibutirato: Bioprospecção de *Beijerinckia sp.* da coleção de bactérias do Laboratório de Biopolímeros, Pelotas, p. 12-81, 2010.

ORTEGA FILHO, S. O potencial da agroindústria canavieira do Brasil. São Paulo: Faculdade de Ciências Farmacêuticas, p. 9, 2006, disponível em: <[http://www.fcf.usp.br/Departamentos/FBT/HP\\_Professores/Penna/EstudoDirigido/Agroindustria\\_Canavieira.pdf](http://www.fcf.usp.br/Departamentos/FBT/HP_Professores/Penna/EstudoDirigido/Agroindustria_Canavieira.pdf)>. Acesso em: 18 ago. 2010.

PRADELLA, J. G. C. Biopolímeros e Intermediários Químicos. São Paulo: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, p. 119, 2006.

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

SANCHEZ, E. M. S. et al. Compósito de Resina de Poliéster Insaturado com Bagaço de Cana-de-Açúcar: Influência do Tratamento das Fibras nas Propriedades. UNICAMP, vol. 20, nº 3, p. 194-200, 2010.

SILVA, A. L. B. B.; SILVA, E. O. Conhecendo materiais poliméricos, Universidade Federal de Mato Grosso, p. 5-84, 2003.

SUDESH, K.; ABE, H.; DOY, Y. Synthesis, structure and properties of polyhydroxyalkanoates: biological polyesters. Progress in Polymer Science, Vol. 25, p. 1503-1555, 2000. In: FONSECA. C. C. Produção e utilização do biopolímero poli(hidroxibutirato) (PHB) em embalagens alimentícias, Escola de Engenharia de Lorena, p. 12-58, 2014.

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. 2004.

TADA, E. S. Blendas com poli(3-hidroxibutirato) (PHB) e copolímeros aleatórios: comportamentos de fases e cinética de cristalização, 2009. In: FONSECA, C. C. Produção e utilização do biopolímero poli(hidroxibutirato) (PHB) em embalagens alimentícias, Escola de Engenharia de Lorena, p. 12-58, 2014.

TELLES, M. R.; SARAN L. M.; UNÊDA-TREVISOLLI, S. H. Produção, propriedades e aplicações de bioplástico obtido a partir da cana-de-açúcar. Ciência & Tecnologia: FATEC-JB, Jaboticabal, v. 2, n. 1, p. 52-63, 2011.

VIEGAS, C. P. R. Estudo da Produção de Polihidroxialcanoatos (PHAs) por *Chromobacterium violaceum*, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, out. 2005.

VOGELSANGER, N. et al. Blendas Biodegradáveis de Poli(3-Hidroxibutirato)/Poli( $\epsilon$ -Caprolactona): Obtenção e Estudo da Miscibilidade. Joinville, vol. 6, nº3, p. 359-365, 2003.