4º Congresso Internacional sobre Materiais Plásticos Compostáveis e de Fonte Renovável
11 e 12 de junho de 2025

ID Nº BIO.2

BIORRESINA BIODEGRADÁVEL BIOX 001 E SUAS BLENDAS PARA INJEÇÃO DE COLHERES COMPOSTÁVEIS

Claire Tondo Vendruscolo, Irina Marinho Factori [1], Luisa Vendruscolo [2], Allef Grabriel da Silva [3], Mario Alberto de Albuquerque Filho [4], João Felipe Colosio [5]

Biopolix Materiais Tecnológicos Ltda., Ribeirão Preto-SP, Brasil, biopolix@biopolix.com.br
SENAI Mario Amato , São Bernardo-SP, Brasil, irina.factori@sp.senai.br
Biopolix Materiais Tecnológicos Ltda., Ribeirão Preto-SP, Brasil, biopolix@biopolix.com.br
SENAI Mario Amato , São Bernardo-SP, Brasil, allef.silva@sp.senai.br
SENAI Mario Amato, São Bernardo-SP, Brasil, mario.albuquerque@sp.senai.br
Biopolix Materiais Tecnológicos Ltda., Ribeirão Preto-SP, Brasil, biopolix@biopolix.com.br

Resumo

A Biopolix desenvolveu a biorresina termoplástica e biodegradável BIOX 001, produzida a partir de matérias-primas de fontes renováveis e originalmente destinada à fabricação de biofilmes flexíveis. A tecnologia resultou em depósito de patente junto ao INPI. Estudos posteriores demonstraram sua viabilidade na formulação de biocompósitos moldáveis por injeção, mantendo as características de biodegradabilidade e a origem renovável. As análises das propriedades físicas e químicas da BIOX 001 indicaram potencial compatibilidade com outras biorresinas comerciais biodegradáveis e compostáveis. Com isso, foram produzidas blendas com PBAT (BASF) e PLA (ERT), visando a fabricação de artefatos de uso único, por injeção, tomando como modelo colheres de sobremesa. As blendas, BIOX 001 com PBAT (BASF) (55% e 45%); e BIOX 001 com PLA (ART) (55% e 45%) foram obtidas por extrusão em extrusora dupla rosca BERTEC (modelo MCL18, D = 25 mm, L/D = 40). Já para a obtenção das colheres foi utilizada uma mini injetora BABYPLAST 10/12 Plus (Cronoplast S.L., Barcelona), com molde de duas cavidades. Todas as formulações apresentaram bom desempenho de injeção, com fácil desmolde. As análises de cor, odor e tração indicaram que os materiais são adequados para utensílios descartáveis. A blenda com PLA demonstrou maior rigidez, enquanto a com PBAT apresentou maior flexibilidade. Com o objetivo de reduzir custos e ampliar a sustentabilidade, novos biocompósitos foram formulados com a adição de 10%, 20% e 30% de farinha de madeira à BIOX 001. As composições com 10% e 20% apresentaram bom desempenho na injeção e extração das peças; já a formulação com 30% teve dificuldades no desmolde e odor menos adequado. A cor foi satisfatória em todas as amostras, e a flexibilidade foi considerada adequada para as formulações com até 20% de carga. Para avaliação de segurança no contato com alimentos, foram realizados ensaios de migração de metais pesados segundo a norma EN 1186- 1:2002. A migração total esteve abaixo do limite estabelecido pela Resolução RDC nº 589/21 da ANVISA, e não foi observada alteração de coloração no simulante, conforme critérios da RDC nº 52/2010. Ensaios de degradação natural e imersão, com o material em formas fragmentadas e micronizadas, indicaram decomposição completa em 145 dias. A biodegradação foi confirmada conforme norma ASTM D5988. Os

resultados demonstram que a BIOX 001 é compatível com diferentes biorresinas comerciais e ainda permite a incorporação de cargas lignocelulósicas, possibilitando a produção de biocompósitos injetáveis com viabilidade técnica, econômica e ambiental para aplicações sustentáveis.

Palavras-chave: Biorresinas, Biocompósitos, Biomateriais

1. INTRODUÇÃO

1.1 Biomateriais, biopolímeros, biorresina e biocompósitos

Antecedem as biorresinas, a busca por biomateriais como fibras naturais e biopolímeros naturais ou sintéticos para produção da biorresina com as quais podemos obter diferentes biocompósitos. No entanto, segundo Ratner e Pires [1] [2] uso de biomateriais é milenar, suturas de linho e ouro foram usadas no Antigo Egito (2000 AC) [2]. A busca atual por maior sustentabilidade fez surgir uma grande área de desenvolvimento a "área de novos materiais sustentáveis e/ou biodegradáveis".

Na esteira do conhecimento de materiais atuais como: polímeros, resinas e compósitos ao buscar a substituição parcial desses por produtos mais sustentáveis foi necessário à sua identificação e nominação. Esses novos materiais fizeram surgir novos comportamentos, experiências, arquiteturas de produto, estimulando a inovação nesses ramos [3].

Ainda se tratando de novos materiais, evidentemente, estes trazem consigo a criação de novos termos, novas definições, enfim, uma nova nomenclatura. Como são utilizados em sua maioria as mesmas metodologias para sua caracterização tanto física como química, de forma natural adotou-se utilizar o prefixo bio para tudo que seja derivado de matéria viva. Esses novos materiais foram, portanto, nominando como: biomateriais, biopolímeros, biorresinas e biocompósitos.

Na área química as propriedades necessárias para a obtenção das biorresinas e, posteriormente, os biocompósitos na sua grande maioria são menos complexas do que os biomateriais para área médica os quais exigem que além de biocompatibilidade sejam bioabsorvíveis. Por ser um novo material deve ser cuidadosamente acompanhada, pois ainda não são completamente conhecidos e, portanto, podem apresentar falhas no desempenho como uma reação indesejada e até mesmo desintegrar ao longo do tempo [4]. Os polímeros naturais ou biopolímeros, são macromoléculas sintetizadas durante o ciclo de crescimento de organismos vivos [5]. Os biomateriais oferecidos pela natureza são inúmeros, como os exemplos derivados de plantas: celulose, microcelulose, lignina, amido, pectina e os de animais: colágeno, quitosana e seda. E os de microrganismos, em que o maior interesse para uso são os metabólitos produzidos por eles. Os artigos relacionados são voltados as suas produções e os mais conhecidos e utilizados são: Levana [6], Glucana [7], Clairana [8-10], Xantana [11-20], Pululana [21-24], Gelana [25- 29], PLA [30-34], PHA [35-38] e PHB [39-48].

As macromoléculas Levana, Glucana, Pululana, Xantana, Gelana são polissacarídeos produzidos por microrganismos, bactérias ou fungos. Esses biopolímeros são muito utilizadas nas indústrias: alimentícias, cosméticas e farmacêuticas. Biopolímeros como xantana são também utilizados na composição de fluído de perfuração de poços de petróleo [49-50].

Já o processo fermentativo do PHA e PHB geram naturalmente biorresinas, e são mais utilizados no seguimento de bioplásticos: filmes flexíveis, semi-flexíveis, rígidos e biocompósitos injetáveis. O PLA também é obtido por fermentação, essa macromolécula é uma biorresina; porém para sua obtenção depende da síntese do poli (ácido láctico/ PLA) que foi

obtido na fermentação de açúcares extraídos de fontes renováveis, tais como cana-de-açúcar, beterraba e milho [29-30]. Seu processo de obtenção é mais complexo, mas sua aplicação é bastante versátil desde filmes até artefatos injetáveis.

A grande disponibilidade, biocompatibilidade, biodegradabilidade e não-toxicidade destes biopolímeros e suas aplicações em biorresinas são a grande motivação de sua aplicação nos vários seguimentos industriais em busca de soluções mais sustentáveis. Os biocompósitos são inovações que surgiram com foco em melhorar as propriedades mecânicas, de barreira e de biodegradabilidade dos materiais biodegradáveis, ao mesmo tempo em que buscam reduzir os custos de produção e ampliar suas aplicações.

Em 2020, a startup Biopolix Materiais Tecnológicos Ltda. desenvolveu uma biorresina nanoestruturada biodegradável, a BIOX 001; cuja a composição básica é uma matriz biopolimérica de fonte renovável. Os biopolímeros da matriz são obtidos por fermentação aeróbica; utilizando como fonte de energia a sacarose, glicose ou amido; que são transformados em exopolissacarídeos. Os quais são associados à plastificantes provenientes de matérias-primas de fontes renováveis que podem ser agentes lipofílicos ou agentes hidrofílicos, como álcool polihidroxilado ou polialcool com 3 ou mais OH. Os nanoestruturantes utilizados são nanocargas inorgânicas, orgânicas ou ainda as nanopartículas funcionalizadas como ZnO e SiO_2. Para algumas aplicações, a matriz ainda pode conter agentes antiaglomerantes; compatibilizantes; estabilizantes térmicos, antioxidantes e ainda para alguns casos específicos a adição de conservantes.

As avaliações das propriedades da BIOX 001 indicaram a possibilidade de associação com outras biorresinas e biomateriais compostáveis e/ou biodegradáveis para obtenção de biocompósitos. Estes podem ser obtidos entre dois ou mais polímeros, tanto na forma de complexos ou por blendas resultantes da mistura física de dois materiais distintos, porém miscíveis. Dessa forma podem ser obtidos biocompósitos com propriedades físico-químicas, mecânicas e biológicas melhoradas quando comparados aos polímeros e biomateriais isolados.

Assim, iniciou-se uma busca por biorresinas comerciais compostáveis e sustentáveis que fossem compatíveis com a biorresina da Biopolix.

Neste trabalho foram avaliadas as possibilidades de obtenção de biocompósitos através de blendas de BIOX 001; com biorresinas compostáveis e/ou biodegradáveis; comerciais. Estas pesquisas, buscaram obter avanços tecnológicos e inovação de materiais e processos com foco no desenvolvimento de novos biomateriais.

2. OBJETIVO

Visando contribuir com o desenvolvimento de novos biomateriais e novos produtos biodegradáveis de uso único, pesquisamos blendas de biorresinas comerciais com a BIOX 001 e de BIOX 001 com cargas naturais, para obtenção de biocompósitos injetáveis para produção de colheres compostáveis e/ou biodegradáveis.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados para os experimentos foram as biorresinas BIOX 001, PBAT PLA e farinha de madeira.

A Biox 001, é composta de uma matriz biopolimérica com biopolímeros, plastificantes, nanocargas e para algumas aplicações, a matriz ainda pode conter agentes antiaglomerantes; compatibilizantes; estabilizantes térmicos, antioxidantes e ainda para alguns casos específicos a adição de conservantes.

O PBAT, com o nome comercial de Ecoflex é polímero biodegradável da BASF com certificação para compostagem, apesar da sua base fóssil. Já está no mercado há mais de um quarto de século com uma solução sustentável para plásticos.

O PLA da ERT (Earth Renewable Technologies) é um bioplástico, mais precisamente um polímero termoplástico, que é produzido a partir de fontes renováveis como cana-de-açúcar.

Com o objetivo de reduzir custos e ampliar a sustentabilidade, novos biocompósitos foram formulados com a adição de 10%, 20% e 30% de farinha de madeira à BIOX 001. A farinha de madeira é um pó fino obtido a partir da trituração e moagem de resíduos de madeira, como serragem, cavacos e aparas da indústria madeireira.

3.1 Metodogia dos corpos de prova

O biocompósito foi produzido em uma extrusora dulpa-rosca BERTEC, modelo MCL18, com diâmetro da rosca (D) de 25 mm e razão L/D de 40. A composição BX/PLA, foi produzida com 55% de biorresina Biox e 45% de PLA (ERT FC 10130); a composição BX/PBAT foi produzida com 50% de biorresina Biox e 50% de PBAT (Ecoflex® F blend C 1200).

Placas de dimensões 250x250 mm e 2 mm de espessura foram produzidos através de compressão à quente, em prensa hidráulica modelo LP-S-50, da LabTech Company, de acordo com o método ASTM D 4703, utilizando 150°C, tempo de pré-aquecimento de 12 minutos, seguido de compressão de 80bar por 2 minutos. Em seguida as placas foram resfriadas a uma taxa de 33°C por minuto, até atingir temperatura ambiente, sendo extraídas e retirado as rebarbas.

Figura 1. Prensa hidráulica para compressão à quente.

Em seguida, as placas foram cortadas para obtenção de corpos de prova de tração, utilizando um balancim mecânico de corte.

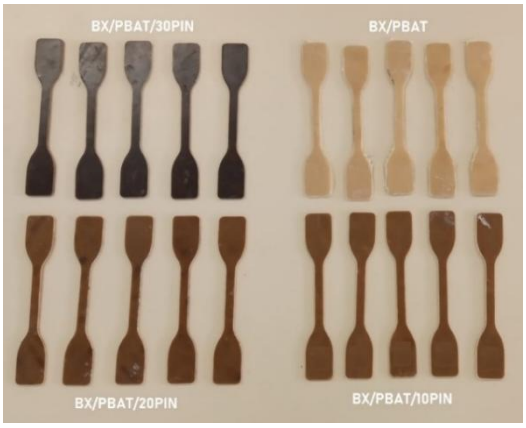

Figura 2. Corpos de prova utilizados no teste de tração.

Corpos de prova produzidos foram ensaiados de acordo com a norma ASTM D 638, tipo 4, com velocidade de 50 mm por minuto, com célula de carga de 500 N, em uma máquina universal Instron, modelo 5982.

3.2 Metodologia de obtenção das colheres

A metodologia de obtenção das blendas foi extrusão. BIOX 001 com PBAT (BASF) e BIOX 001 com PLA (ERT) foram misturadas na proporção de 55% de BIOX e 45 de outra biorresina. A extrusão em foi realizada em extrusora dupla rosca BERTEC (modelo MCL18, D = 25 mm, L/D = 40). Também a mesma metodologia foi utilizada para os novos biocompósitos que foram formulados com a adição de 10%, 20% e 30% de farinha de madeira à BIOX 001, buscando reduzir custos e ampliar a sustentabilidade.

Os equipamentos utilizados para obtenção das colheres foram a Extrusora dupla rosca BERTEC (modelo MCL18, D = 25 mm, L/D = 40), uma mini injetora BABYPLAST 10/12 Plus (Cronoplast S.L., Barcelona) e um molde de duas cavidades. Os equipamentos do Senai Mario Amato foram contratados por prestação de serviço pelo projeto da Biopolix, "Reforço das colheres biodegradáveis. "

A metodologia usada para a obtenção das colheres foi a injeção. Para a transformação dos novos biocompósitos foi utilizada uma mini injetora BABYPLAST 10/12 Plus (Cronoplast S.L., Barcelona), com o molde de duas cavidades.

Para os biocompósitos de BIOX 001com 10%; 20% e 30% de farinha de madeira utilizados como carga, os quais foram injetados; além das análises mencionadas; as colheres obtidas, foram também avaliadas quanto a segurança no contato com alimentos. A metodologia utilizada foram os ensaios de migração de metais pesados segundo a norma EN 1186- 1:2002.

Para a avaliação de degradação foi utilizada a metodologia de ensaios de degradação natural e imersão, com o material em formas fragmentadas e micronizadas, conforme a norma ASTM D5988.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados de tração são apresentados nos gráficos 1 e 2. No gráfico 1 são apresentados os resultados das propriedades de tensão máxima e módulo elástico, enquanto no gráfico 2 são mostrados os valores de tensão na ruptura e deformação na ruptura.

Para a composição BX/PLA, foi observada uma tensão máxima de 1,6 ± 0,2 MPa e um módulo elástico de 143,8 ± 21,5 MPa. Já a composição BX/PBAT apresentou uma tensão máxima de 4,4 ± 0,2 MPa e módulo elástico de 56,6 ± 4,1 MPa. Embora as porcentagens de reforço sejam diferentes, 45% para o PLA e 50% para o PBAT, a principal razão para a variação nas propriedades mecânicas está relacionada às características intrínsecas dos polímeros utilizados.

O PBAT é um polímero com alta capacidade de alongamento, podendo atingir superar até 700%. No entanto, devido à sua elevada flexibilidade, suporta menores tensões, tanto máxima quanto na ruptura [51-52]. Em contraste, o PLA é um polímero mais rígido, com baixa deformação e maior capacidade de suportar tensões [53-54]. Contudo, neste estudo, os valores de resistência mecânica do PLA ficaram abaixo do esperado. Alguns fatores podem justificar esse comportamento.

Um dos possíveis fatores é a compatibilidade entre os polímeros. É plausível que haja uma maior afinidade entre o BIOX 001 e o PBAT do que entre o BIOX 001 e o PLA. Além disso, o método de fabricação dos corpos de prova, por compressão, pode ter influenciado os resultados. O grade de PLA utilizado era voltado para o processo de injeção, e as condições de temperatura e pressão aplicadas podem ter afetado a estrutura do material. Como esses parâmetros influenciam de maneira significativa durante o processo de moldagem, ambos os fatores devem ser avaliados em estudos complementares.

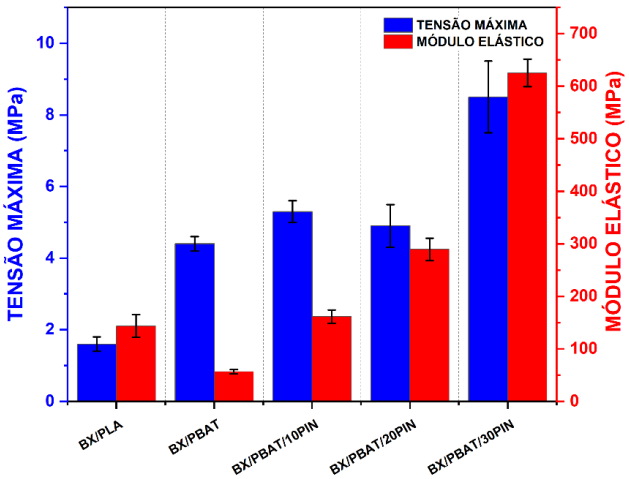

Gráfico 1. Propriedades mecânicas das composições obtidas pelo ensaio de tração: Tensão máxima e módulo elástico.

Nas composições BX/PBAT/10PIN, 20PIN e 30PIN, foi observado um aumento nas tensões máxima e na ruptura, bem como no módulo elástico. Esse comportamento indica um acréscimo na rigidez do material devido ao incremento do teor de pó de pinho. A redução na deformação até a ruptura corrobora essa interpretação. Os maiores valores foram registrados na composição com 30% de pó de pinho, que apresentou tensão máxima de 8,5 ± 1,0 MPa, módulo elástico de 625,3 ± 26,3 MPa, tensão na ruptura de 8,5 ± 1,0 MPa e deformação na ruptura de 1,9 ± 0,3%.

Esses resultados são similares com o estudo realizado por Yu et al., que avaliaram biocompósitos de PBAT com farinha de madeira. Os autores relataram comportamento semelhante, com aumento da resistência à tração, à flexão e do módulo elástico, atribuído à maior rigidez conferida pela celulose e lignina presentes na farinha de madeira. Além disso, associaram o alto alongamento do PBAT à presença de grupos éster flexíveis em sua estrutura. Por outro lado, o aumento da concentração de farinha de madeira provocou uma redução na deformação na ruptura dos biocompósitos, atribuída à fraca interação entre a carga natural e as cadeias poliméricas do PBAT.

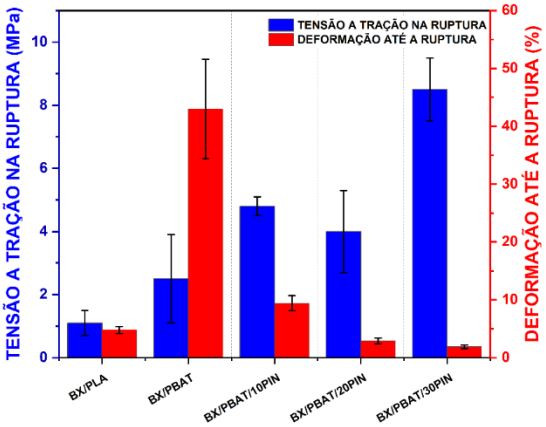

Gráfico 2. Propriedades mecânicas das composições obtidas pelo ensaio de tração: Tensão na ruptura e deformação na ruptura

Os resultados demonstram que a BIOX 001 é compatível com diferentes biorresinas comerciais.

Esses novos biocompósitos poderão permitir a incorporação de novas cargas, que ainda assim possibilitem a produção de biocompósitos injetáveis com viabilidade técnica, econômica e ambiental para aplicações sustentáveis.

Para os biocompósitos de BIOX 001 com adição de 10%; 20% e 30% de cargas lignocelulósicas,, figura 3, obtivemos os resultados a seguir: as composições com 10% e 20% apresentaram bom desempenho na injeção e extração das peças. No entanto, a formulação com 30% teve dificuldades no desmolde e odor menos adequado. A cor foi satisfatória em todas as amostras e a flexibilidade foi considerada adequada para as formulações com até 20% de carga.

Figura 3. Registro fotográfico das colheres injetadas

4.1 Resultados de migração

Simulante	Parâmetro	Resultado mg.Kg^{-1}	LME mg.Kg^{-1}
	Antimônio	<0,010	0,04
	Arsênio	<0,010	0,01
	Bário	0,037	1
	Boro	<0,010	6
	Cádmio	<0,0025	0,005
	Chumbo	<0,010	0,01
	Cobre	0,056	5
	Cromo	<0,0025	0,05
	Estanho	<0,10	1,2
	Prata	<0,010	0,05
	Zinco	0,11	5
	Mercúrio	<0,0005	0,005
	Fluoreto	<0,5	0,5

LME = Limite máximo de migração específica

Tabela 1. Resultados de migração de metais pesados

Como pode ser visto na tabela 1, os resultados da migração total estão abaixo do limite estabelecido pela Resolução RDC nº 589/21 da ANVISA, e não foi observada alteração de coloração no simulante, conforme critérios da RDC nº 52/2010. Assim sendo, as colheres obtidas com os compósitos que foram formulados com a adição de 10%, 20% e 30% de farinha de madeira à BIOX 001; são consideradas um material seguro para uso em contato com alimentos.

4.2 Resultados de biodegradação

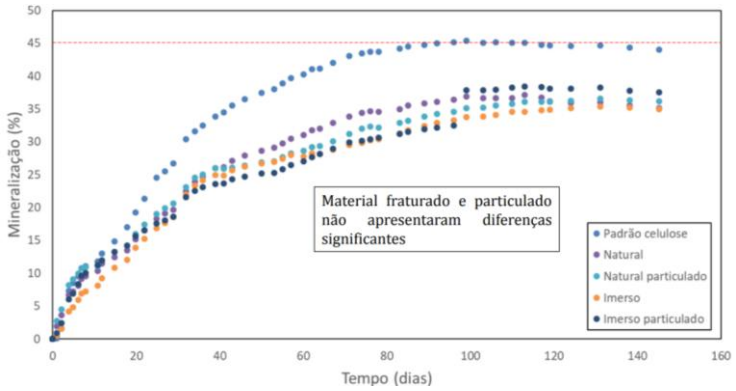

Gráfico 3. Resultados de biodegradação

A biodegradação foi confirmada conforme norma ASTM D5988. Ensaio apresentou um platô com ± 80 dias corridos, estabilizando em ~45% e biodegradação total ocorreu antes dos 180 dias, conforme o gráfico 3. Os resultados demonstram que a BIOX 001 é compatível com diferentes biorresinas comerciais e permite a incorporação de cargas lignocelulósicas, nanocargas ou partículas funcionalizadas, possibilitando a produção de biocompósitos injetáveis com viabilidade técnica, econômica e ambiental para aplicações sustentáveis.

A era das novas biorresinas e biocompósitos está nos seus primórdios, sendo ainda um campo em aberto para muitas pesquisas, as quais são necessárias afim de que se desenvolvam novos produtos compostáveis.

5. CONCLUSÃO

Estamos testemunhando atualmente uma onda significativa de desenvolvimento e comercialização de biorresinas e biocompósitos, mas é apenas o início de uma nova era. Os próximos anos traçarão um panorama mais claro sobre quais conceitos serão relevantes na comercialização desses produtos. Se são de fato adequados ao futuro, seja em termos de exigência de mercado, aceitação do cliente, sustentabilidade e se têm ou terão viabilidade econômica. Há de se considerar também se as matérias-primas renováveis estarão amplamente disponíveis; se avançaremos em tecnologias de processamento que sejam sustentáveis e econômicas para ter produtos de preços aceitáveis na comercialização.

Os resultados demonstram que a BIOX 001 é compatível com diferentes biorresinas comerciais. Os biocompósitos da BIOX 001; com a incorporação de cargas lignocelulósicas de 10% e 20% possibilitou a produção de biocompósitos injetáveis com viabilidade técnica, econômica e ambiental para aplicações sustentáveis e passíveis de uso em contato com alimentos.

Esses novos biocompósitos poderão através do aumento de resistência, novas colorações e ampliação da faixa de temperatura de processamento e de uso permitir a produção uma gama maior de produto, além das colheres de sobremesa. Considerando a variável temperatura, esses novos materiais, com diferentes especificações poderão atender distintos usos, que podem ir desde de sorvete até café e aplicações em outras áreas.

RECONHECIMENTOS

Agradecemos à EMBRAPII e ao CNPQ pelo apoio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Ratner, B. D. (2013). *History of biomaterials*. In B. D. Ratner, A. S. Hoffman, F. J. Schoen, & J. E. Lemons (Eds.), *Biomaterials science: An introduction to materials in medicine* (3rd ed., pp. 1–14). Elsevier.

[2] Pires, A. L. R., Bierhalz, A. C. K., & Moraes, Â. M. (2015). Biomateriais: Tipos, aplicações e mercado. *Química Nova, 38*(7), 957–971. https://doi.org/10.5935/0100-4042.20150094

[3] Ashby, M. F., & Johnson, K. (2010). *Materials and design: The art and science of material selection in product design* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.

[4] Beylerian, G. M., & Dent, A. (2007). *Ultra materials: How materials innovation is changing the world*. Thames & Hudson.

[5] George, A., Sanjay, M. R., Srisuk, R., Parameswaranpillai, J., & Siengchin, S. (2020). A comprehensive review on chemical properties and applications of biopolymers and their composites. *International Journal of Biological Macromolecules, 154*, 329–338. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.120

[6] George, A., Sanjay, M. R., Srisuk, R., Parameswaranpillai, J., & Siengchin, S. (2020). A Manresa, A., Espuny, M. J., & Guinea, J. (1987). Characterization and production of a new extracellular polymer from *Pseudomonas* sp. GPS-910. *Applied Microbiology and Biotechnology, 26*(3), 347–351. https://doi.org/10.1007/BF00256667

[7] Sutherland, I. W. (1999). Polysaccharases for microbial exopolysaccharides. *Carbohydrate Polymers, 38*(4), 319–328. https://doi.org/10.1016/S0144-8617(98)00114-3

[8] Oliveira, P. D., Michel, R. C., McBride, A. J. A., Moreira, A. S., Lomba, R. F. T., & Vendruscolo, C. T. (2013). Avaliação comparativa das propriedades de xantanas produzidas pelo patovar pruni e clairana com xantana comercial. *Polímeros: Ciência e Tecnologia, 23*(3), 329–335. https://doi.org/10.4322/polimeros.2013.086

[9] Boza, Y., Barbin, D., & Scamparini, A. R. P. (2004). Survival of *Beijerinckia* sp. microencapsulated in carbohydrates by spray-drying. *Journal of Microencapsulation, 21*(1), 15–24. https://doi.org/10.1080/02652040310001599751ResearchGate+5OUCI+5PubMed+5

[10] Moreira, Â. N., Moreira, A. S., Diaz, P. S., Del Pino, F. A. B., & Vendruscolo, C. T. (2005). Comportamento reológico e composição química do biopolímero da bactéria *Beijerinckia* sp. 7070 produzido via enzimática. *Brazilian Journal of Food Technology, 8*(2), 135–142

[11] Scamparini, A. R. P., Vendruscolo, C. T., & Moreira, A. S. (1997). Structural studies of polysaccharide CV-70. *International Journal of Biological Macromolecules, 21*(1–2), 115–121.

[12] Moreira, A.S, Vendruscolo, J.L.S., Gil-Turnes, C., Vendruscolo, C.T. (2001). Screening among 18 novel strains of *Xanthomonas campestris* pv. *pruni*. *Food Hydrocolloids, 15*, 469–474. https://doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00092-3.

[13] Nitschke, M., Rodrigues, V., & Schinatto, L. (2001). Formulação de meios de cultivo à base de soro de leite para a produção de goma xantana. *Ciência e Tecnologia de Alimentos, 21*(1), 82–85.

[14] Luvielmo, M. M., & Scamparini, A. R. P. (2009). Goma xantana: Produção, recuperação, propriedades e aplicação. *Estudos Tecnológicos, 5*, 50–67. DOI:10.4013/ete.2009.51.04.

[15] Gabardo, S. (2009). *Produção de goma xantana através do aproveitamento de soro de queijo* [Trabalho de conclusão de curso, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS].

[16] Vendruscolo, C. T., & Moreira, A. S. (2013). Xantana pruni: Biopolímero de isolado de clima sub-tropical. In *Estratégia para uma Agricultura Sustentável* (Vol. 1, pp. 31–58).

[17] Costa, E. S. M. (2023). *Efeito das fontes de nitrogênio nos meios de crescimento celular na produção e qualidade de xantana pruni* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pelotas – UFPel].

[18] Druzian, A. P., & Pagliarini, J. I. (2007). Produção de goma xantana por fermentação do resíduo de suco de maçã. *Ciência e Tecnologia de Alimentos, 27*(1), 26–31. https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000100005

[19] Moreira, A. S., Klaic, P. M. A., Vendruscolo, C. T., Furlan, L., & Oliveira, P. D. (2017). Modelagem dos parâmetros reológicos e térmicos da xantana pruni desacetilada por aplicação das modificações químicas de reticulação e troca iônica em diferentes combinações. *Patente BR10201701773*.

[20] Moreira, A. S., Fioravante, J. B., Vendruscolo, C. T., & Macagnan, K. L. (2018). Microcápsulas à base de xantana para preservação ou liberação controlada de probióticos e composição para microcápsulas à base de xantana. *Patente BR1020180687239*.

[21] Oliveira, J. D. (2014). *Produção e desenvolvimento biotecnológico de pululana e caracterização físico-química* [Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ].

[22] Schemidell, W. (2001). Microrganismos e meios de cultura para utilização industrial. In W. Schmidell et al. (Eds.), *Biotecnologia industrial: Engenharia bioquímica* (Vol. 2). Editora Edgard Blücher.

[23] Sueiroa, A. C., Faria-Tischerb, P. C. S., Lonnic, A. A. S. G., & Malia, S. (2016). Filmes biodegradáveis de amido de mandioca, pululana e celulose bacteriana. *Química Nova, 39*(9), 1059–1064. https://doi.org/10.21577/0100-4042.20160100

[24] Santos, J. E. (2020). *Produção do exopolissacarídeo pululana pelo fungo Aureobasidium pullulans em melaço de cana* [Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR].

[25] Pereira, G. F. (2014). *Bioprocessos da produção de goma gelana por Sphingomonas paucimobilis CCT 1899 usando resíduos agroindustriais como substrato de cultivo* [Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS].

[26] Oliveira, L. M. N. (2019). *Revestimento de gomas do cajueiro e gelana com extratos de plantas para aplicação em barra de fruta* [Tese de doutorado, Universidade Federal do Ceará – UFC].

[27] Prajapati, V. D., Jani, G. K., Zala, B. S., & Khutliwala, T. A. (2013). An insight into the emerging exopolysaccharide gellan gum as a novel polymer. *Carbohydrate Polymers, 93*(2), 670–678.

[28] Dolan, L. C., Matulka, R. A., Lebeau, A. L., & Boulet, J. M. (2016). Two new nontoxic, non-pathogenic strains of *Sphingomonas elodea* for gellan gum production. *Regulatory Toxicology and Pharmacology, 78*, 37–44.

[29] Rehm, B. H. A. (2010). Bacterial polymers: biosynthesis, modifications and applications. *Nature Reviews Microbiology, 8*(8), 578–592.

[30] Lim, L.-T., Auras, R., & Rubino, M. (2008). Tecnologias de processamento para poli(ácido láctico). *Progresso na Ciência dos Polímeros*.

[31] Farah, S., Anderson, D. G., & Langer, R. (2016). Propriedades físicas e mecânicas do PLA e suas funções em aplicações generalizadas — Uma revisão abrangente. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 107, 367–392. https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.06.012

[32] Murariu, M., & Dubois, P. (2016). PLA composites: From production to properties. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 107, 17–46. https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.04.003OUCI+1ResearchGate+1

[33] Gandini, A., & Belgacem, M. N. (2013). The state of the art of polymers from renewable resources. In *Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics* (pp. 71–85). William Andrew Publishing. https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-2834-3.00004-5ResearchGate+1Scite+1

[34] Lim, L.-T., Auras, R., & Rubino, M. (2008). Processing technologies for poly(lactic acid). *Progress in Polymer Science*, 33(8), 820–852. https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2008.05.004ResearchGate+1Scribd+1

[35] da Silva, L. F., Gomez, J. G. C., Rocha, R. C. S., Taciro, M. K., & Pradella, J. G. C. (2007). Biotechnological production of polyhydroxyalkanoates in Brazil for biodegradable polymers. *Instituto de Pesquisas Tecnológicas*, São Paulo.

[36] Rodrigues, A. A., Macagnan, K. L., Alves, M. I., Furlan, L., Kesserlingh, S. M., & Moura, A. B. (2017). Simplified recovery process of *Ralstonia solanacearum*-synthesized polyhydroxyalkanoates via chemical extraction complemented by liquid-liquid phase separation. *Química Nova*, 40(2), 125–130. https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170012PLOS+1PLOS+1

[37] Koller, M., & Mukherjee, A. (2022). A new wave of industrialization of PHA biopolyesters. *Bioengineering*, 9(2), 74. https://doi.org/10.3390/bioengineering9020074PubMed+3MDPI+3PubMed+3

[38] Koller, M. (2018). Abordagens de engenharia química e bioquímica na fabricação de biopolímeros de poli-hidroxialcanoato (PHA). *Química. Bioquímica. Engenharia Química*, 32, 413–438.

[39] Rodrigues, A.Á., Macagnan, K. L., Santos, B.C., Alves, M.I., Andrea, Moura, B., Peralba, M.D., Oliveira, P.D., Pinto, L.D., Dellagostin, O., Moreira, A.D., & Vendruscolo, C.T. (2015). Seleção e identificação de linhagens bacterianas produtoras do bioplástico poli(3-hidroxibutirato). *Revista Brasileira De Tecnologia Agroindustrial*, *9*,1771–1785. DOI: 10.3895/RBTA.V9N1.3057

[40] Macagnan, K. L., Alves, M. I., Rodrigues, A. A., Furlan, L., Kesserlingh, S. M., & Moura, A. B. (2017). Complete factorial design to adjust pH and sugar concentrations in the inoculum phase of *Ralstonia solanacearum* to optimize P(3HB) production. *PLoS ONE*, 12(7), e0180563. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180563

[41] Alves, M. I., Macagnan, K. L., Rodrigues, A. A., et al. (2017). Poly(3-hydroxybutyrate)-P(3HB): Review of Production Process Technology. *Industrial Biotechnology*, *13*(4), 192–208. https://doi.org/10.1089/ind.2017.0013ResearchGate+1PMC+1

[42] Macagnan, K. L., Alves, M. I., Torres, M. M, Piecha, C. R., Diaz, P. S., Furlan, L., Moreira, A. S. & Vendruscolo, C. T. (2017). Produção de poli(3-hidroxibutirato) por *Ralstonia solanacearum* sob diferentes condições salinas. *Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente (Online)*, *6*, 235–241. https://www.revistacta.ufscar.br/index.php/revistacta/issue/view/12/47

[43] Macagnan, K. L., Alves, M. I., Piecha, C. R., Torres, M. M., Kesserlingh, S.M., Oliveira, P. D., Vendruscolo, C.T. & Moreira, A. S. (2019). Production and Physiochemical Characterization of Poly(3-hydroxybutyrate) bioplastic by Brazilian bacterium under different production media and saline stress conditions. Industrial Biotechnology, 15, 248–255. https://doi.org/10.1089/ind.2018.0026

[44] Alves, M. I., Macagnan, K. L., Piecha, C. R., et al. (2019). Optimization of *Ralstonia solanacearum* cell growth using a central composite rotational design for the P(3HB) production: Effect of agitation and aeration. *PLoS ONE*, *14*(1), e0211211. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211211

[45] Alves, M. I., Macagnan, K. L., Piecha, C. R., Torres, M. M., Rodrigues, R. S., Diaz, P. S., & Moreira, A. S. (2020). Efeito do pH e sacarose no acúmulo de P(3HB) por *Bacillus megaterium* CN3 utilizando DCCR 22. *Brazilian Journal of Development*, *6*(4), 19116–19122. https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-178Academia.edu

[46] Torres, M. M., Piecha, C. R., Macagnan, K. L., Alves, M. I., Moreira, A. S., Dode, L. B., Raubach, C. W., & Diaz, P. S. (2020). Biodegradative capacity of *Bacillus megaterium* and *Ralstonia solanacearum* on biodegradation of P(3HB) films in simulated soil. *Brazilian Journal of Development*, *6*(5), 27034–27050. https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-233

[47] Macagnan, K. L., Alves, M. I., Kesserlingh, S. M., Vendruscolo, C. T., & Moreira, A. S. (2021). Environmentally friendly method for poly(3-hydroxybutyrate) recovery based on physical adsorption on a solid inorganic inert adsorbent. *Separation and Purification Technology*, *256*, 117836. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117836

[48] Moreira, A. S., Foresti, A. P., Rodrigues, A. A., Macagnan, K. L., Alves, M. I., & Vendruscolo, C. T. (2023). Bioconversion of agri-food wastes into biopolymers: a step towards circular bioeconomy. In *Microbial Bioprocessing of Agri-food Wastes* (pp. 81–124). CRC Press.

[49] Borges, C. D., Vendruscolo, C. T., Martins, A. L., & Lomba, R. F. T. (2009). Comportamento reológico da xantana produzida por *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni* para aplicação em fluido de perfuração de poços de petróleo. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, *19*(2), 160–165. https://doi.org/10.1590/S0104-14282009000200015

[50] Oliveira, P. D., Michel, R. C., McBride, A. J. A., Moreira, A. S., Lomba, R. F. T., & Vendruscolo, C. T. (2013). Concentration regimes of biopolymers xanthan, tara, and clairana, comparing dynamic light scattering and distribution of relaxation time. *PLoS ONE*, *8*(4), e62713. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062713

[51] Aversa, C., Barletta, M., Cappiello, G., & Gisario, A. (2022). Compatibilization strategies and analysis of morphological features of poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT)/poly(lactic acid) PLA blends: a state-of-art review. *European Polymer Journal, 173*, 111304. https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2022.111304

[52] Jian, J., Xiangbin, Z., & Xianbo, H. (2020). An overview on synthesis, properties and applications of poly(butylene-adipate-co-terephthalate)–PBAT. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, 3*(1), 19–26. https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2020.01.001

[53] Naser, A. Z., Deiab, I., & Darras, B. M. (2021). Poly (lactic acid) (PLA) and polyhydroxyalkanoates (PHAs), green alternatives to petroleum-based plastics: a review. *RSC Advances, 11*(28), 17151–17196. https://doi.org/10.1039/d1ra02390j

[54] Tripathi, N., Misra, M., & Mohanty, A. K. (2021). Durable Polylactic Acid (PLA)-based sustainable engineered blends and biocomposites: recent developments, challenges, and opportunities. *ACS Engineering Au, 1*(1), 7–38. https://doi.org/10.1021/acsengineeringau.1c00011

[55] Yu, W., Qiu, R., Li, M., & Lei, W. (2023). Effects of Wood Content and Modification on Properties of Wood Flour/Polybutylene Adipate Terephthalate Biocomposites. *Molecules, 28*(24), 8057. https://doi.org/10.3390/molecules28248057