

FUTUROS DO BIOPLÁSTICO TÊM RAÍZES NA AMAZÔNIA

A floresta tropical com a maior biodiversidade do mundo pode transformar a forma como o mundo produz plásticos nas próximas décadas

FICHA TÉCNICA

Projeto da World-Transforming Technologies (WTT), com aplicação do framework de trabalho do Centro de Orquestração de Inovações (COI) e apoio da Konrad Adenauer Stiftung (KAS) e do Instituto Clima e Sociedade (iCS).

CONCEPÇÃO

World-Transforming Technologies (WTT)

LIDERANÇA

Andre Wongtschowski e Gaston Kremer

PESQUISA E INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA

Michele Rigon Spier

EDIÇÃO

Jacqueline Lafloufa

DIAGRAMAÇÃO

Cosmonauta

FINANCIAMENTO

KAS e iCS

SUMÁRIO

Por que precisamos produzir plásticos mais sustentáveis e biodegradáveis? *pág.04*

Descobertas científicas que se desdobram em impactos socioeconômicos transformativos *pág.06*

Bioplásticos de origem amazônica: uma missão capaz de transformar futuros *pág.11*

Motivos para apostar no bioplástico não faltavam *pág.12*

Ciclo dos bioplásticos se conecta com tendência da Economia Circular
Tendência global irreversível
Compostabilidade reduz resíduos plásticos no planeta
Oportunidade de produção e projeção mundial

Uma missão de proporções amazônicas *pág.17*

Três frentes de oportunidades futuras em bioplásticos: conheça o PP Verde, PS e EPS Verde e o PU Verde *pág.23*

PP Verde, substituto para segundo plástico mais produzido no mundo
PS e EPS Verde, em busca de um isopor mais sustentável
PU Verde, substituto para o sexto plástico mais vendido no mundo

Uma missão precisa de foco: a escolha de priorizar o PP Verde *pág.31*

Futuros que nascem na Amazônia *pág.33*

Agradecimentos *pág.36*

Referências *pág.37*



Por que precisamos produzir plásticos mais sustentáveis e biodegradáveis?

Há décadas a ciência alerta para o uso predatório que a humanidade tem feito dos recursos naturais do planeta, que levam a questões tão complexas como a crise climática, a escassez de matérias primas e os desafios na lida com os resíduos.

Com a crescente pressão social acerca do cuidado com o meio ambiente, a preocupação em reduzir o impacto ambiental dos processos do nosso cotidiano rapidamente chegou nos plásticos convencionais, que estão onipresentes no nosso dia a dia.

Das sacolinhas do mercado às embalagens dos produtos de higiene, passando pelos utensílios descartáveis e pelas estruturas de eletrônicos que usamos rotineiramente, o plástico convencional não apenas tem origem fóssil, como também é fonte de um enorme desafio de controle de resíduos. Com taxas de reciclagem baixíssimas - apenas 1% das 11 milhões de toneladas de lixo plástico gerados no Brasil são recicladas, segundo a WWF - o plástico se configurou como um dos principais desafios ambientais que cientistas do mundo todo tentam resolver.

As soluções exploradas são as mais diversas, como fomentar o aumento da reciclagem, cuidar para que os processos de produção do plástico sejam mais sustentáveis e desenvolver novos polímeros biodegradáveis, que possam se decompor com mais facilidade.

“Existem materiais plásticos que podem levar de 100 a 400 anos para se degradar, enquanto outros não têm nem mesmo um

tempo determinado para a sua degradação”, alerta Michele Rigon Spier, doutora em processos biotecnológicos e professora do departamento de engenharia química da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e integrante da equipe que reunimos para investigar como alterar as dinâmicas do mercado de plástico no Brasil.

A pesquisadora acadêmica e investigadora científica para a WTT destaca que muitos dos materiais plásticos do nosso cotidiano têm uma vida útil funcional muito curta, como é o caso de itens como copinhos de café ou embalagens de uso único, que em poucos segundos acabam em uma lixeira comum. “Um pote de iogurte que sai da mão de uma criança e vai para um aterro pode levar 100 anos ou mais para se decompor totalmente. É exatamente neste ponto que podemos apresentar alternativas biodegradáveis ao mercado”, alerta Spier.

A consciência de que é necessário buscar uma produção mais sustentável de plástico e, dentro do possível, aportar em maior biodegradabilidade dos resíduos gerou um crescente interesse em novas soluções tecnológicas que pudessem reduzir o impacto causado pelos plásticos convencionais, o que impulsiona o mercado a se interessar pelo bioplástico, um tipo de plástico produzido a partir de uma fonte biodegradável e/ou renovável.

Até 2014, o mercado de bioplásticos era quase inexistente, quando representava cerca de 0,2% da produção global de polímeros. Contudo, com as novas exigências dos consumidores, as novas políticas





internacionais de ESG¹ que incorporam as metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável² (ODS) da ONU, bem como os avanços das ciências de engenharia de materiais e as inovações da indústria, há uma expectativa de crescimento do mercado de bioplásticos, que até 2024 deve crescer em uma taxa composta de 15,6%, de acordo com estimativas da Global Industry Analysts (GIA), empresa líder em pesquisa de mercado.

Geralmente feito a partir de plantas ou microrganismos, o bioplástico se apresenta não só como uma solução mais ecológica e sustentável para o planeta, mas também como uma importante oportunidade para o Brasil, especialmente na região Amazônica, já que a biodiversidade pode ser a chave para o desenvolvimento de um bioplástico inovador e com melhor impacto sócio-ambiental.

Este argumento não vem apenas dos cientistas e das instituições do terceiro setor interessadas em negócios de impacto. Estimativas da Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST) mostram que o Brasil representava quase 10% da capacidade mundial de produção de bioplástico, tendo produzido por volta de 200 mil toneladas de bioplástico em 2019. E tudo isso considerando que grande parte do bioplástico brasileiro, produzido a partir de fontes renováveis como a cana-de-açúcar e o milho, ainda não é biodegradável, ou seja, segue gerando resíduos como microplásticos e nanoplásticos, que poluem o meio ambiente.

Diante deste contexto e com a certeza de que é possível orquestrar equipes que possam resolver problemas complexos de maneira inovadora e com elevado impacto

social, a WTT, em parceria com a Konrad Adenauer Stiftung (KAS) e o Instituto Clima e Sociedade (iCS), se debruçou sobre tema do bioplástico como uma potencial solução de impacto. O intuito era investigar se seria possível produzir um novo tipo de plástico mais sustentável e ecológico, aproveitando o potencial que o Brasil e sua enorme biodiversidade podem oferecer, e ao mesmo tempo gerar renda para as comunidades inseridas nessa biodiversidade e criar incentivos para sua preservação.

Após mais de 9 meses de investigações e pesquisas, a WTT chegou à conclusão de que alguns dos futuros do bioplástico como solução de alto impacto sócio-ambiental têm raízes na Amazônia brasileira. Afinal, a região concentra uma das maiores biodiversidades do mundo, com frutos, plantas, musgos e microorganismos que podem se transformar, na íntegra ou na forma de subprodutos ou refugos, em matérias primas revolucionárias para a forma como o planeta produz bioplásticos.

Para alcançar essa transformação, que tem potencial de gerar impactos exponenciais, não basta apenas compreender o espírito do tempo (o zeitgeist), as demandas globais de mercado ou fazer uma descoberta científica importante: é necessário pensar na ciência como uma ferramenta de construção de um mundo melhor, orientada a partir de missões orquestradas com objetivos claros, capazes de fazer frente aos desafios do momento e propor soluções que possam gerar crescimento sustentável e equitativo.

E é exatamente isso que a WTT se propõe a fazer ao abraçar o tema de Bioplástico como uma das suas missões para a próxima década.

¹ Sigla para a expressão em inglês Environmental, Social and Corporate Governance (Meio Ambiente, Social e Governança, em tradução livre), que refere-se a um conjunto de boas práticas que visam comprovar a solidez de uma organização e garantir que ela está crescendo de maneira sustentável, preocupada com o meio ambiente e o bem estar social.

² Agrupados em 2015 durante a Cúpula da ONU sobre Desenvolvimento Sustentável, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) reúnem 17 metas que funcionam como um guia para que os países se comprometam com o desenvolvimento global até o ano de 2030. Entre os 17 objetivos estão itens como "indústria, inovação e infraestrutura", "cidades e comunidades sustentáveis" e "ação contra a mudança global do clima".



Descobertas científicas que se desdobram em impactos socioeconômicos transformativos

Ao redor do mundo e ao longo dos séculos, a ciência tem provado seu papel fundamental na construção de um mundo melhor. A história tem registros de diversas inovações baseadas em conhecimentos científicos que foram capazes de promover avanços fundamentais nas mais diversas áreas, da agricultura à medicina, da energia às telecomunicações. Basta parar para refletir no quanto a internet alterou as dinâmicas e a forma de vivermos nos últimos 30 anos para compreender como as descobertas da ciência podem se desdobrar em impactos socioeconômicos transformativos.

O Brasil tem investido substancialmente em ciência e tecnologia, com estimativas de gastos no setor na casa dos R\$ 80 bilhões por ano, o que tem permitido o desenvolvimento de muitos conhecimentos relevantes. Entretanto, o país ainda enfrenta o desafio de conseguir canalizar esse conhecimento em direção a um desenvolvimento de inovações que possam responder às aspirações do desenvolvimento inclusivo e sustentável.

É nesse ponto que a ciência orientada por missões pode ser um diferencial, ao fazer a ponte entre as descobertas feitas pelos cientistas e o impacto delas na sociedade e na economia do Brasil.

Observando essa oportunidade, a WTT inaugurou no final de 2020 o Centro de Orquestração de Inovações (COI), uma das primeiras iniciativas no Brasil a colocar em prática o conceito de inovação orientada por missões, termo cunhado pela pesquisadora italiana Mariana Mazzucato que se refere à ideia de que é preciso colocar a ciência e a inovação a serviço do desenvolvimento sustentável das nações.



Alex Taffetani

Para Mazzucato, as missões capazes de fazer com que a ciência se desdobre em desenvolvimento sustentável devem ser ousadas e endereçar um valor social, com objetivos concretos e específicos. Além disso, as missões devem garantir que exista o envolvimento de pesquisas científicas e inovadoras, que permitam usar a tecnologia para resolver um desafio dentro de um período estipulado para a missão, atuando de maneira transversal entre setores e disciplinas, envolvendo especialistas e atores de diversas áreas e combinando diversas potenciais soluções.



Inspirado por esse conceito, o COI foi criado para “orquestrar” colaborações científicas que possam criar soluções que enfrentem os grandes desafios do Brasil, gerando crescimento sustentável e equitativo, e contribuindo para a superação da crise climática e seus efeitos. A estratégia da WTT com o COI é reunir uma “orquestra” de grandes cientistas brasileiros em equipes multidisciplinares que, juntas, poderão construir inovações de base científica que respondam aos problemas sociais e ambientais do país.

Em outras palavras, o objetivo principal do COI é aplicar a produção de conhecimento científico na construção de um mundo melhor. Se o objetivo parece ousado demais, basta lembrar algumas das conquistas que a ciência trouxe para enfrentar desafios que surgiram nos nossos horizontes: a vacina de poliomielite praticamente erradicou uma doença que causava paralisia em milhões de pessoas; novas variedades de sementes permitiram que grande parte da Ásia chegasse à autossuficiência agrícola; medicamentos antirretrovirais transformaram o HIV/AIDS em uma doença crônica e gerenciável; e, mais recentemente, a técnica de edição genômica CRISPR expandiu as fronteiras da ciência na busca pela cura de doenças genéticas.

Sabemos que o Brasil pode contribuir nesse sentido, já que pesquisadores brasileiros são responsáveis pela produção de ciência de altíssima qualidade, reconhecida internacionalmente e com amplo potencial de transformação socioambiental. A partir das suas áreas de especialidade, capacidade e interesse, nossos pesquisadores podem colaborar com a criação de respostas eficazes para o enfrentamento dos obstáculos atuais da nossa sociedade, usando suas expertises para ultrapassar os limites das suas disciplinas e trabalhar em prol de um objetivo comum e transformador.

As políticas de inovação orientadas por missões, que guiam os formatos de trabalho do COI, são políticas sistêmicas, ambiciosas e abrangentes, que buscam promover o uso da ciência, tecnologia e inovação para atingir as aspirações do desenvolvimento inclusivo e sustentável, como proposto por Mazzucato. Isso permite que as missões tenham como objetivos finais a melhora da qualidade de vida, a redução das desigualdades e o enfrentamento da crise climática.

No Brasil, ainda estamos distantes de ter uma estratégia nacional de ciência e tecnologia orientada por missões. Pelo contrário, uma parte importante da ciência ainda é direcionada por perguntas individuais dos pesquisadores ou de projetos de pesquisa. Já a abordagem orientada por missões proposta pelo COI permite que os pesquisadores utilizem objetivos específicos para estimular a inovação, a partir de missões bem definidas e coordenadas por uma equipe de “maestros”, que conduzem a “orquestra” de pesquisadores e especialistas em torno de propósitos comuns, com foco na resolução de importantes desafios sociais e ambientais.





O intuito do COI é “reger” essas orquestras, utilizando a sua maestria e um framework específico de trabalho para oferecer uma resposta prática de como fazer ciência orientada por missões no Brasil. O papel primordial do COI é atuar como um condutor de projetos que promovem a colaboração entre diversos atores do sistema de ciência, tecnologia e inovação (CT&I) brasileiro, formando, coordenando e apoiando equipes científicas extraordinárias dedicadas ao desenvolvimento de inovações que enfrentem os grandes desafios da sociedade.

Para coordenar e conduzir essa orquestra, o COI desenvolveu o seu próprio framework de trabalho, que opera a partir de alguns eixos temáticos especiais, conhecidos internamente como “programas”, a partir dos quais são definidas as missões operativas ou os problemas concretos a serem endereçados. Cada programa é coordenado

por um gestor que tem ampla liberdade para escolher os melhores cientistas em cada especialidade para compor as equipes de desenvolvimento de soluções. Para projetos mais complexos, o framework também considera a possibilidade de divisão em unidades menores de trabalho, que podem operacionalizar a solução de problemas mais específicos e posteriormente integrá-las.

A seleção dos membros das equipes é feita a partir de um conjunto de indicadores organizados em três pilares principais: excelência científica, conectividade e diversidade. “A diversidade em especial é um ativo importante para chegar a soluções inovadoras, além de ser um valor para o COI, tanto do ponto de vista de complexidade [dos projetos], de capability, de oportunidades, quanto sobre a visão dos problemas”, detalha Gaston Santi Kremer, gerente de campo e impacto da WTT.



PROGRAMAS

Economia Circular

Agricultura Regenerativa

Bioeconomia

Outros

Missões ou Problemas

Identificados na sociedade para os cientistas desenvolverem soluções

P1

P1

P1

P1

P2

P2

P2

P2

PN

PN

PN

PN

Project Managers

Cada vertical tem um PM responsável.

Os PMs possuem ampla experiência com gestão de projetos de P&D.

Arquitetam soluções com suas equipes, propõem projetos e coordenam a execução

Project Manager 01

Project Manager 02

Project Manager 03

Project Manager 04

✓
Projetos são elaborados para atacar os diferentes problemas das verticias

✓
Projetos podem ser executados por diferentes grupos e suas equipes

✓
Durante a execução o PM acompanha os grupos e promove workshops de alinhamento e integração

✓
Os resultados dos grupos são integrados para compor a solução

➤ **Problema 01**
Projeto de P&D

➤ **Problema 02**
Projeto de P&D

➤ **Problema 03**
Projeto de P&D

Zoom nos projetos na página seguinte



Visão de Projeto



Cada PM tem um pool de projetos abordando os problemas da sua vertical

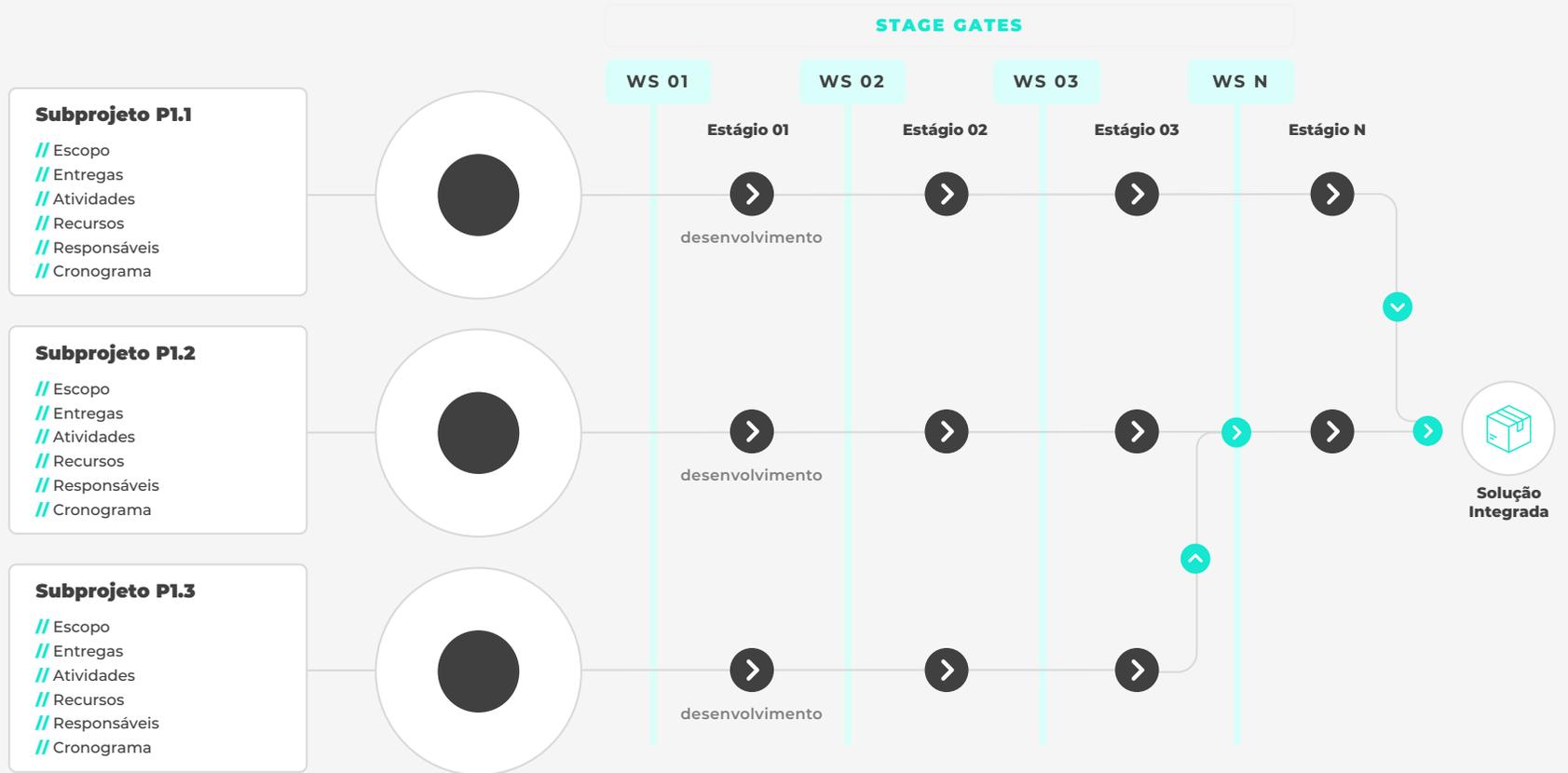
- // Partindo da missão, define pergunta/caracteriza solução a ser desenvolvida
- // Mapeia e estuda o que existe em termos de pesquisa
- // Monta equipes de desenvolvimento (por convite) e distribui responsabilidades
- // Define (com equipe) metas, milestones, indicadores de progresso
- // Acompanha o trabalho, dá suporte técnico, busca pessoas para resolver obstáculos que apareçam
- // Responsável pelo reporting
- // No médio prazo, gestiona portfolio de projetos temáticos



Os grupos de desenvolvimento tem métodos de gestão, conhecimentos, equipe e lideranças específicos, mas são coordenados pelo PM.



Para sincronizar o desenvolvimento distribuído as entregas parciais são planejadas em stage gates. Com periodicidade definida, acontecem workshops ao longo do projeto onde os grupos apresentam seus resultados que, quando possível, já começam a ser integrados.





Bioplásticos de origem amazônica: uma missão capaz de transformar futuros

Escolher uma missão para orquestrar é o ponto de partida do trabalho do COI. Afinal, transformar a nossa realidade e impactar positivamente os nossos futuros exige visão de longo prazo e uma dedicada investigação.

Observando com atenção o pilar da bioeconomia, sempre foi evidente que o plástico convencional se apresentava como um problema complexo de resolver. Afinal, ainda que a sua produção tenha origem fóssil e acarrete impactos ambientais relacionados à difícil degradabilidade e baixa taxa de reciclagem, será que alternativas com base em fontes renováveis ou biodegradáveis podem gerar o impacto necessário para que os bioplásticos se tornassem uma missão capaz de orientar inovações científicas?

O que o COI sabia desde o início era que as vantagens pareciam suficientemente interessantes para justificar uma investigação do tema. Não só a poluição por plásticos de origem fóssil não biodegradáveis vinha sendo tema de todas as Cúpulas do Clima das Nações Unidas desde o início dos anos 2000, vários países têm trabalhado para incluir ações e medidas em seus governos para minimizar ou mitigar este problema.

Dessa forma, os bioplásticos despontam no horizonte como uma oportunidade científica com potencial de solucionar ou ao menos amenizar a questão. Produzidos a partir de matérias primas renováveis e/ou capazes de serem biodegradados junto ao lixo orgânico comum, além de terem uma pegada de carbono muito menor do que os plásticos convencionais, a produção de bioplásticos poderia não só reduzir os impactos climáticos ao emitir menos gases causadores do efeito estufa, como também diminuir os problemas ambientais decorrentes do

descarte impróprio de resíduos plásticos, que ocupa grandes volumes em aterros ao redor do planeta.

À reboque destes benefícios, havia também a hipótese de que a produção de bioplástico em uma das regiões mais biodiversas do Brasil, a Amazônia, também teria potencial de desenvolver uma cadeia produtiva benéfica para as comunidades locais, gerando empregos e renda para a região Norte do país e criando estímulos econômicos para a preservação da floresta.

Para investigar a viabilidade desta missão e verificar as hipóteses imaginadas, a WTT, em uma aliança com o Instituto de Conservação e Desenvolvimento Sustentável do Amazonas (Idesam) e contando com financiamento da Konrad Adenauer Stiftung (KAS) e do Instituto Clima e Sociedade (iCS), estruturou uma missão para o COI com quatro objetivos básicos:

- 1.** tornar mais visíveis as pesquisas de excelência relacionadas a bioplásticos sendo realizadas em território amazônico;
- 2.** contribuir para o desenvolvimento de bioplásticos baseados na biodiversidade da Amazônia;
- 3.** colaborar com o desenvolvimento socioeconômico das comunidades tradicionais da região, estimulando a conservação dos recursos naturais e agregando valor aos produtos da floresta; e
- 4.** criar alternativas biodegradáveis para os plásticos convencionais, reduzindo o volume de plásticos de origem fóssil que são descartados no meio ambiente.



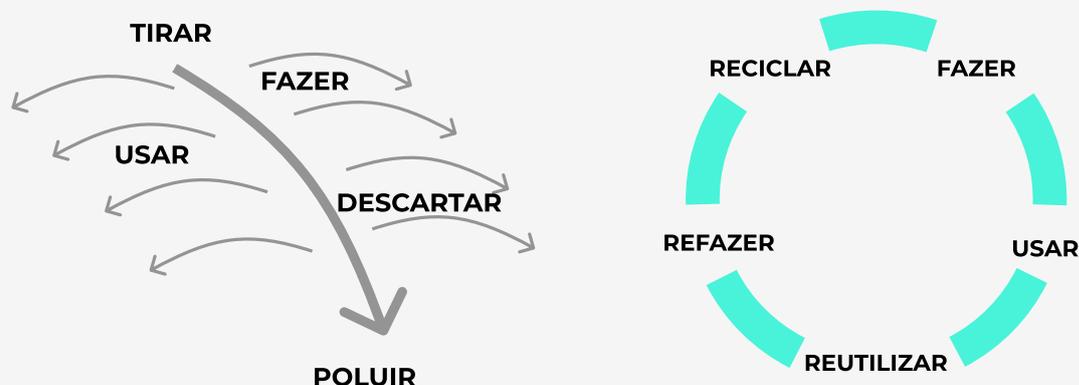


Motivos para apostar no bioplástico não faltavam

Ciclo dos bioplásticos se conecta com tendência da Economia Circular

Enquanto velejava em suas viagens solitárias, Ellen MacArthur percebeu o conceito de economia circular na prática. Com poucos recursos a bordo do seu veleiro, ela precisava sempre estar atenta a fazer um uso consciente e, sempre que possível, reutilizar os itens que tinha à bordo, porque nenhum deles era ilimitado. O aprendizado prático de MacArthur a levou a criar uma fundação

em seu nome que defende o conceito econômico da Economia Circular, que surge como uma alternativa ao conceito de economia linear. Na Economia Circular todos os recursos são utilizados ao máximo, em uma cadeia que preferencialmente fecha um ciclo e permite usar, reutilizar, reciclar e degradar de maneira sustentável.



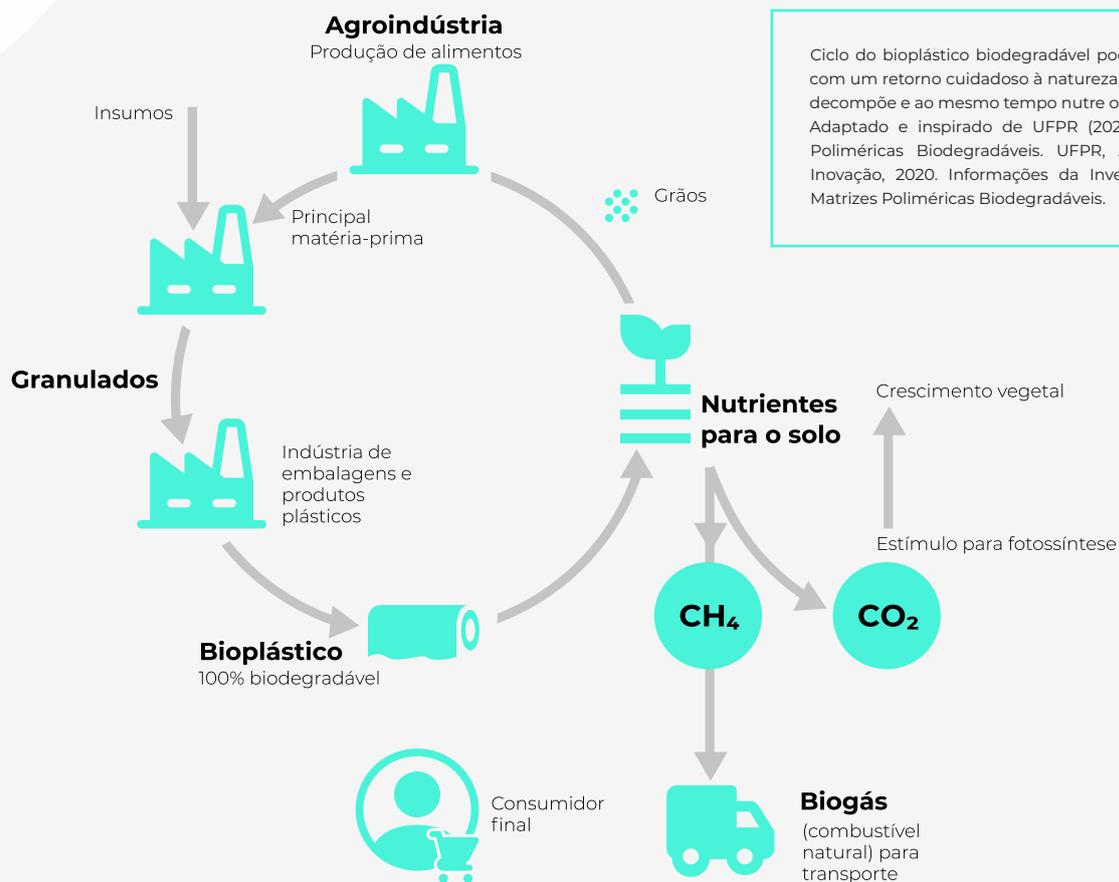
CC 3.0 Catherine Weelman 2016

Modelos circulares partem do princípio de que tudo o que tem origem na natureza, quando chegar ao final da sua vida útil, precisará retornar à natureza, e isto deve ser feito de uma maneira em que os resíduos possam ser decompostos ou reaproveitados ao máximo, minimizando o seu impacto ambiental.

O ciclo do bioplástico biodegradável também segue essa premissa e é capaz de fechar estes ciclos. Ao incorporar na sua produção matérias primas advindas da

biodiversidade, no final da sua vida útil o bioplástico biodegradável pode servir de biomassa valiosa para o crescimento de novas plantas, de modo a propiciar um novo processo de nutrição do solo. Além disso, muitos dos produtos finais com base em bioplástico podem ser recuperados como matérias primas, eliminando a necessidade de matéria prima virgem para novas confecções, permitindo oferecer ao produto com base em bioplástico várias opções de reuso no seu fim de vida.





Ciclo do bioplástico biodegradável pode se fechar com um retorno cuidadoso à natureza, onde ele se decompõe e ao mesmo tempo nutre o solo
Adaptado e inspirado de UFPR (2020). Matrizes Poliméricas Biodegradáveis. UFPR, Agência de Inovação, 2020. Informações da Invenção sobre Matrizes Poliméricas Biodegradáveis.

Tendência global irreversível

A substituição de plásticos convencionais por bioplásticos e a incorporação de insumos da biodiversidade na sua produção é vista globalmente como uma tendência irreversível. Trata-se de uma mudança que já está em curso e que promete ser acelerada tanto pela demanda dos consumidores quanto pelas novas regras das agências reguladoras de diversos países. Por isso, a percepção mercadológica é que as empresas que se posicionarem à frente da curva de adoção do bioplástico terão um enorme diferencial competitivo frente aos seus concorrentes.

O assunto é tão sério que a Comissão Europeia apresentou em 2018 uma estratégia para os plásticos conectada com o conceito de economia circular e, no mesmo ano, o

Parlamento Europeu votou pela proibição de itens de plástico de uso único (como canudos, recipientes para alimentos e cotonetes) em uma tentativa de reduzir o lixo marinho e encorajar alternativas sustentáveis. A adesão à ideia foi praticamente unânime: 560 legisladores do Parlamento Europeu votaram a favor do acordo, enquanto apenas 35 foram contra e 28 se abstiveram. “A Europa está estabelecendo novos e ambiciosos padrões, abrindo caminho para o resto do mundo. Demos um passo importante para reduzir o lixo e a poluição por plástico em nossos oceanos e mares”, celebrou na época Frans Timmermans, o primeiro vice-presidente da Comissão Europeia. Desde então, Japão, EUA e até mesmo o Brasil já adotaram legislações que visam banir o uso de plásticos descartáveis.



No Brasil, as preocupações com o aumento da diversidade e a busca pela ampliação da base de conhecimentos disponíveis para inovar também têm crescido e ocupado espaços de discussão relevantes. Para Marcelo Melchior, CEO da Nestlé, “diversidade é fundamental para a sobrevivência de uma empresa a longo prazo. Se nós não tivermos um espelho da sociedade brasileira, nunca teremos sucesso”. Para Cristina Junqueira, cofundadora do Nubank, “diversidade é um elemento-chave para qualquer tipo de inovação. É essencial a participação de pessoas com vivências diferentes para garantir que tenhamos ideias com potencial para revolucionar maneiras antigas de pensar” e, segundo Paula Bellizia, ex-presidenta da Microsoft Brasil e membra do conselho de diretores da Burger King, “no mundo empresarial, quem não tem diversidade perde em inovação e, consequentemente, em competitividade”.

Embora haja publicamente uma preocupação das empresas em aumentar a diversidade, a presença feminina e de negros no quadro executivo ainda é muito baixa, representando 13,6% e 4,7% respectivamente. Políticas e ações afirmativas empresariais como o estabelecimento de metas para ampliar a participação de mulheres e negros nos programas de trainees é ainda muito baixo (apenas em 7,7% e 2,6% das empresas). No entanto, há iniciativas importantes que visam ampliar a diversidade do quadro de seus funcionários. Por exemplo, o Magazine Luiza lançou recentemente um programa de trainee exclusivamente para negros, na tentativa de trazer mais diversidade racial para cargos de liderança da empresa. De acordo com a presidenta do conselho de administração da empresa, Luiza Helena Trajano, “sem diversidade, não tem inovação, não tem criatividade”.

Diversos países do mundo já se organizaram para banir ou reduzir plásticos descartáveis

2014 - Nos EUA, a Califórnia se torna o primeiro estado americano a banir o uso de sacolas de plástico no comércio, que foram substituídas por sacos de papel.

2018 - União Europeia aprova legislação para banir produtos plásticos descartáveis

2019 - O governo japonês decide banir o uso de canudos e talheres de plástico em cafeterias e parar de distribuir garrafas plásticas em conferências.

2020 - É sancionada lei na cidade de São Paulo que proíbe estabelecimentos comerciais de fornecerem produtos descartáveis feitos de plástico, como copos, pratos, talheres, agitadores para bebidas e varas para balões.





Compostabilidade reduz resíduos plásticos no planeta

Na teoria, os processos de reciclagem e de economia reversa são ideais, mas na prática se mostram extremamente limitados em escopo e eficácia. Embora exista um grande volume de resíduos produzidos, a infraestrutura da reciclagem permanece muito restrita quanto ao tipo de itens que são aceitos para serem reciclados. As tecnologias de reciclagem que conseguiram ir além das fases de teste em geral só funcionam com resíduos que atendem a uma longa lista de critérios, como classificação, limpeza, rotulagem e até coloração.

Nesse ponto, os bioplásticos conseguem novamente se destacar por não precisarem ser separados ou classificados para a reciclagem, já que o seu processo de compostabilidade permite que ele seja destinado aos mesmos locais que fazem o tratamento do lixo orgânico. Dessa forma, os bioplásticos compostáveis conseguem utilizar um “atalho” nos processos de reciclagem, já que reduzem a necessidade de logística, gastos com transporte, coleta e separação de materiais por natureza, cor, posterior lavagem, secagem e destinação para o reprocessamento.

Além disso, é importante frisar que mesmo uma reciclagem eficiente tende a gerar mais gases do efeito estufa do que a destinação dos bioplásticos para tratamento biológico junto com o lixo orgânico. Isso porque na reciclagem há vários processos (coleta, transporte, separação, classificação, limpeza, secagem, moagem e destinação para processamento de novas embalagens com plástico reciclado) que geram quantidades significativas de gases de efeito estufa.

Oportunidade de produção e projeção mundial

Além dos motivos sócio-ambientais, os projetos de produção de bioplástico se apresentam como uma interessante oportunidade econômica de produção e com projeção mundial. Segundo estimativas da Allied Market Research, até 2027 a expectativa é que o mercado de bioplásticos venha a alcançar a casa dos US\$ 4,2 bilhões.

Especialistas europeus também concluíram, durante a conferência da European Bioplastics (EUBP) que o mercado global de bioplásticos deve crescer 36% nos próximos cinco anos, com a capacidade mundial de produção podendo crescer de cerca de 2,1 milhões de toneladas em 2020 para 2,8 milhões de toneladas em 2025.

A expectativa do mercado é que este crescimento seja impulsionado por novos e inovadores biopolímeros, como o polipropileno (PP) de base biológica, além de PHAs, PLA, PBAT, PBS e ATP (amido termoplástico).





Sopa de letrinhas dos plásticos

Entenda o que quer dizer cada uma das siglas

Polipropileno (PP): polímero geralmente é produzido a partir do gás propileno ou propeno, pode ser moldado quando submetido a temperaturas elevadas. É utilizado na produção de embalagens flexíveis, brinquedos, copos plásticos, tampas de refrigerante, seringas de injeção e autopeças.

PHA: poli-hidroxialcanoatos, são poliésteres produzidos por diversos tipos de bactérias como reserva de carbono e energia. É um polímero biodegradável produzido por rota biotecnológica. Seu uso, produção e aplicação encontra-se em expansão na substituição de polímeros petroquímicos, tais como uso para produção de materiais médicos, pois é biocompatível.

PBAT: poli-butileno adipato co-tereftalato, é um copoliéster produzido por dois tipos de compostos, um de fonte renovável e outro de fonte petroquímica. A vantagem é que ele é totalmente biodegradável e amplamente utilizado na produção de filmes e sacolas plásticas. Está sendo amplamente aplicado em substituição aos polímeros petroquímicos tais como o PE (polietileno).

PLA: poli ácido láctico, é um polímero produzido por via microbiana, ou seja, necessário um bioprocessamento para a sua síntese e posterior polimerização do ácido láctico. O PLA é amplamente utilizado na produção de embalagens tais como frascos, tampas e recipientes no lugar de polímeros petroquímicos tais como o PP (polipropileno).

PBS: polibutileno succinato, um poliéster cristalino, é um polímero originado por um processo de policondensação do ácido succínico e do 1,4-butanodiol (BDO), ambos produzidos por rota biológica. É um polímero biodegradável e sua aplicação está crescendo em substituição ao uso de polímeros petroquímicos, tais como o PP (polipropileno).

ATP: amido termoplástico, é uma das classes de polímeros biodegradáveis de baixo custo com mercado mundial em expansão. Trata-se de compostos contendo fonte de amido e outros aditivos tais como plasticizantes. Seu uso apresenta crescente expansão por ser sustentável e biodegradável, com aplicações na substituição de polímeros petroquímicos como o PE (polietileno).



Uma missão de proporções amazônicas

Tom Jobim já dizia que “é impossível ser feliz sozinho”. Transformar o mundo a partir de descobertas científicas orientadas por missões, da mesma forma, não é trabalho para uma pessoa só.

Para alcançar os objetivos da missão Bioplásticos, o COI lançou um edital em busca de uma pessoa especialista no tema, que pudesse apoiar no mapeamento de cientistas, especialistas, fabricantes, produtores, consumidores e atores relevantes do ecossistema do norte do Brasil que pudessem estar associados à produção de bioplástico.

“Quando eu vi aquele edital que buscava selecionar alguém no Brasil com experiência em bioplásticos e que pudesse ter desenvoltura para se comunicar a ponto de fazer um mapeamento na região norte do país sobre quem estava trabalhando, desenvolvendo ou interessado em investir em projetos de pesquisa e desenvolvimento de bioplásticos, eu só pensei: eu quero, eu preciso participar desse processo seletivo”, lembra Michele Rigon Spier, doutora em processos biotecnológicos que rapidamente integrou o time do COI como investigadora científica da missão.

Missão Bioplásticos: a equipe do COI

Como regente de uma orquestra, o COI busca sempre os melhores “músicos” para fazer parte do seu time. Para a missão Bioplásticos, foi lançado um edital para encontrar uma liderança que pudesse trazer para perto os melhores cientistas e atores do ecossistema de produção de bioplásticos na região amazônica.



Liderança da missão

Andre Wongtschowski

Paulistano, economista pela USP, mestre em gestão do desenvolvimento pela Universidade de Londres.

Depois de experiências de carreira corporativa em multinacionais no Brasil e no exterior, deu uma guinada profissional em busca de maior impacto social.

Um dos primeiros integrantes da WTT, fez parte da equipe que desenhou o framework de trabalho do COI e que vislumbrou nos bioplásticos uma missão suficientemente desafiadora para ser o norte dos cientistas brasileiros rumo a uma importante transformação.



Investigadora científica

Michele Rigon Spier

Gaúcha do interior, doutora em processos biotecnológicos e professora associada III do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Apaixonada pelas descobertas de laboratório e movida pelo interesse em inovar e fazer diferente, se aproximou da WTT por meio de um edital da missão de Bioplásticos. Integrou a equipe como a investigadora científica responsável por encontrar os principais cientistas brasileiros na região Norte que pudessem apoiar na busca por soluções que alterassem as dinâmicas do mercado de bioplásticos no país, desenvolvendo um dos mais completos mapeamentos sobre o assunto no Brasil.

O desafio era tão grande quanto a região que Michele precisaria mapear. “Existem muitos pesquisadores dedicados, com estudos lindos, mas que ainda são muito acadêmicos”, ela rememora. Esse fato é resultado da falta de estrutura dos laboratórios e de equipamentos que permitam aos cientistas testar suas descobertas em escala, reproduzindo o que acontece na indústria, onde tais descobertas serão aplicadas de maneira prática. “Tudo começa na bancada de laboratório, mas os níveis de maturidade tecnológica precisam avançar”, sugere Spier.

Por isso, o primeiro passo da investigadora científica foi criar um enorme mapa dos estudos realizados nos Institutos de Ciência e Tecnologia (ICTs) da região norte do Brasil, especialmente na região Amazônica, esmiuçando tudo que era possível encontrar nas bases de dados nacionais, como a Plataforma Lattes do CNPq, e bases internacionais, como Science Direct e ResearchGate, além de resultados de pesquisas na web. O foco era localizar pesquisadores com expertise no desenvolvimento científico e tecnológico relacionado a temas como bioplástico, biopolímeros e biocompósitos, bem como cientistas que estudassem potenciais características, propriedades e usos de ativos da região amazônica que pudessem ter potencial de serem utilizados como insumos para a fabricação de bioplásticos.

O mapeamento encontrou 26 pesquisadores de destaque em Institutos de Ciência e Tecnologia (ICTs) na região Norte, advindos de universidades e instituições como a Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Universidade Estadual do Amazonas (UEA), Universidade Federal do Pará (UFPA), Faculdade Metropolitana de Manaus (FAMETRO), Instituto Federal do Pará (IFPA), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

(INPA), Instituto Federal do Amazonas (IFAM) e Universidade Federal do Acre (UFAC). Cada pesquisador representa, em média, ao menos dois projetos relacionados à bioativos e biopolímeros, o que sugere que existam mais de 57 projetos correntes que têm relação com o desenvolvimento de soluções em bioplásticos apenas na região norte brasileira.



Professor e pesquisador

Pedro Henrique Campelo Felix

Natural de Belo Horizonte (MG), com graduação em Engenharia de Alimentos (UnBH), mestrado em Engenharia Química (UFMG), doutorado em Ciência dos Alimentos (UFLA) e pós-doutorado na UNICAMP com trabalhos sobre fibras prebióticas.

Vivendo no Amazonas desde 2017, Pedro atua como professor e pesquisador da UFAM no segmento de amidos termoplásticos, como o amido de tubérculos amazônicos (cará roxo, cará de espinho, ariá e outros), que fornecem elevado teor de amilose, é bem resistente, com uma dureza e boa resistência mecânica.

As pesquisas e expertises de Pedro podem apontar potenciais insumos amazônicos para formulações de constituição de PP Verde e EPS Verde (Isopor verde).

Entre as principais pesquisas de Pedro, destacam-se as que envolvem o uso do amido de Ariá, um tubérculo amazônico, fibras e amido de bambu, além do uso de tecnologias verdes para extração de compostos bioativos de frutas amazônicas, tais como o açaí, camu-camu, cupuaçu e buriti, que podem ter atividades antioxidantes para aplicação no processamento de bioplásticos.



“Não adianta o sudeste formar mão de obra qualificada se ela fica presa ao sudeste. Precisamos exportar estes talentos para outras regiões, difundir o conhecimento, novas técnicas e melhorar a ciência daqueles locais. Vim para a Amazônia para fazer a diferença, para me envolver com as coisas que são inerentes ao contexto da Amazônia, de sustentabilidade, de valorização da cultura local. Uma das melhores escolhas que fiz na vida foi ter vindo pra cá”



Professor e pesquisador

Roger Bello Roel

Sulista de Jaguará do Sul (SC), formado em Engenharia Química, com mestrado e doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais, Roger atravessou o Brasil literalmente de Norte a Sul para se instalar como pesquisador e professor adjunto na Universidade Estadual do Amazonas (UEA).

Instalado na região Amazônica há mais de 1,5 ano, Roger tem experiência no desenvolvimento de projetos de pesquisas nas áreas de polímeros, nanocompósitos, materiais nanoestruturados, funcionalização química (silanização), química orgânica e físico-química.

Entre suas pesquisas de destaque estão o estudo do segmento de biopolímeros, como polímeros termofixos recicláveis quimicamente, nanocompósitos



Ao criar um bioplástico, [mesmo que] parcialmente biodegradável, os ribeirinhos podem plantar milho, beterraba, cana, outros insumos que vão fabricar a matéria prima biodegradável ou fibras vegetais que serão utilizadas como reforço [nos bioplásticos], o que vai fomentar a bioeconomia, a microeconomia local, e seria um efeito cascada, que começa nos povos ribeirinhos e chegaria até a indústria”



Diretor técnico do Idesam

Carlos Gabriel Khoury, o Riva

Paulistano, formado em engenharia florestal (USP), é mais conhecido pelo apelido “Riva”, que ganhou nos tempos de graduação na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”(ESALQ), no campus de Piracicaba.

Reside há mais de 17 anos em Manaus e na última década tem estado entre as principais lideranças do Instituto de Conservação e Desenvolvimento Sustentável da Amazônia (Idesam).

Já foi organizador, gestor, coordenador e agora atua como diretor técnico das ações do instituto na região, o que o torna um importante ator no ecossistema local, com amplo conhecimento das potencialidades e dificuldades enfrentadas na região.



Quando se quer fazer uma solução na Amazônia, é preciso fazer do começo ao fim, olhando o olhar para estrutura logística, comunicação, organização social, formação da cadeia produtiva... Falta uma cadeia de ativos, de negócios, soluções, prestação de serviços, oferecendo resposta para as carências produtivas e para os desafios da Amazônia. Os gargalos continuam os mesmos de 200 anos atrás. Só que a gente não faz mais nada igual se fazia há 20 anos.”



Diretora de operações da Tutiplast

Mariana Barrella

Manauara, filha de mãe acreana e pai paulista, Mariana se formou em hotelaria e viajou o mundo todo antes de retornar para o “distrito”, como carinhosamente chama a região de Manaus, para gerir a empresa da família junto ao pai, o engenheiro químico que fundou a Tutiplast, especializada em soluções de injeção plástica.

Apesar de literalmente viver de plástico, a executiva confessa se incomodar um pouco com o modelo tradicional do capitalismo que leva a um consumo desenfreado de plásticos e tem se dedicado nos últimos anos a pensar em sustentabilidade, diversificação da produção e o futuro do plástico, esse material que permite que a empresa da família chegue a faturamentos na casa dos 9 dígitos. O que para alguns pode parecer “hipocrisia de executivos” também pode soar com um timbre diferente para outros ouvidos, que encontram na Tutiplast uma oportunidade de encontrar maneiras e saídas de melhorar a cadeia estruturada e a escala de produção de bioplásticos no Brasil.



O plástico é tão utilizado porque ele tem escala. Se eu quiser, a cada dois segundos eu posso fazer 120 tampas [de garrafa]. Ou seja, ele consegue dar a vazão necessária para esse consumo exacerbado da nossa sociedade.

Nosso trabalho com a WTT e o COI é tentar entender se essa resina “pára em pé”, se tem aplicabilidade de fato, para então estruturar a cadeia, garantir a viabilidade em termos de volume, demanda e, por fim, viabilidade financeira”



Três frentes de oportunidades futuras em bioplásticos: conheça o PP Verde, PS e EPS Verde e o PU Verde

Ao alinhar o interesse demonstrado pelas empresas da região Norte do Brasil com as pesquisas mais promissoras identificadas no cenário brasileiro, a missão de Bioplásticos da WTT identificou três tipos de bioplásticos com potencial de serem trabalhados como projetos de desenvolvimento de soluções: o polipropileno verde (PP Verde), o poliestireno verde (PS Verde) e o poliuretano verde (PU Verde).

PP Verde, substituto para segundo plástico mais produzido no mundo

Atrás apenas do polietileno (PE), o polipropileno (PP) é o segundo plástico mais produzido no mundo, com um mercado global estimado em aproximadamente 60 milhões de toneladas em 2015. Utilizado especialmente em embalagens descartáveis ou para uso único, o PP representa um mercado enorme e, por consequência, uma importante (e grande!) oportunidade de substituição por bioplásticos.

Atualmente, o PP verde - considerado a versão "bio" deste plástico - pode ser produzido de duas maneiras estratégicas, ambas capazes de incorporar o uso de fibras amazônicas, como cascas, resíduos madeireiros, resíduos de sementes e caroços, entre outros. São elas:

1. Reuso do PP com incorporação de uma fração de bioinsumos

Neste caso, há a reutilização de plásticos PP após o consumo original, e são incorporados em sua produção uma parcela de bioinsumos, que podem ser fibras amazônicas processadas para aumento da compatibilização e processabilidade para extrusão (quando o plástico é expelido em um determinado formato de máquinas específicas) e injeção termoplástica. Nesta

estratégia, o produto final é parcialmente biodegradável, comenta Spier.

2. Produção de PP totalmente biodegradável

Um pouco mais desafiadora, essa estratégia considera o desenvolvimento de um PP que seja completamente biodegradável, ou seja, capaz de ser totalmente compostável junto ao lixo orgânico. Este processo também considera a utilização de bioinsumos amazônicos incorporados em matrizes de bases biodegradáveis.

Em ambos os casos, as fibras amazônicas incorporadas na produção do PP verde podem ter diferentes origens, mas devem ser sempre parte de uma cadeia de suprimentos já bem estabelecida, de modo que seja possível garantir um fornecimento contínuo para as unidades de processamento e produção de bioplástico.

Outro ponto muito importante a ser considerado na cadeia de produção do PP Verde é compreender o teor de umidade dos resíduos fibrosos utilizados, já que aqueles que forem mais úmidos precisarão ser secados próximo das comunidades extrativistas para que seja possível reduzir o frete e minimizar sua degradação até as usinas de beneficiamento, ressalta Spier

Além das fibras amazônicas, também podem ser incorporados na formulação do PP Verde outros bioinsumos, como antioxidantes (que podem ter efeito importante durante o termoprocessamento), antimicrobianos (evitam o crescimento de microrganismos durante a logística, armazenagem e uso das embalagens produzidas com os biopolímeros) e plasticizantes naturais (conferem efeito maleável e flexível aos novos materiais bioplásticos).





O uso de bases poliméricas biodegradáveis, tais como o PLA ou PBS (vide infográfico) são peças chave para a produção de PP Verdes 100% biodegradáveis, orienta a cientista Michele Rigon Spier.

O PBS é um biopolímero produzido por via biológica e sustentável. Por uma reação química, o polímero biodegradável é produzido pela união de dois componentes (os compostos químicos ácido succínico e o butanodiol) que resulta na base de bioplástico PBS, explica a cientista Michele Rigon Spier.

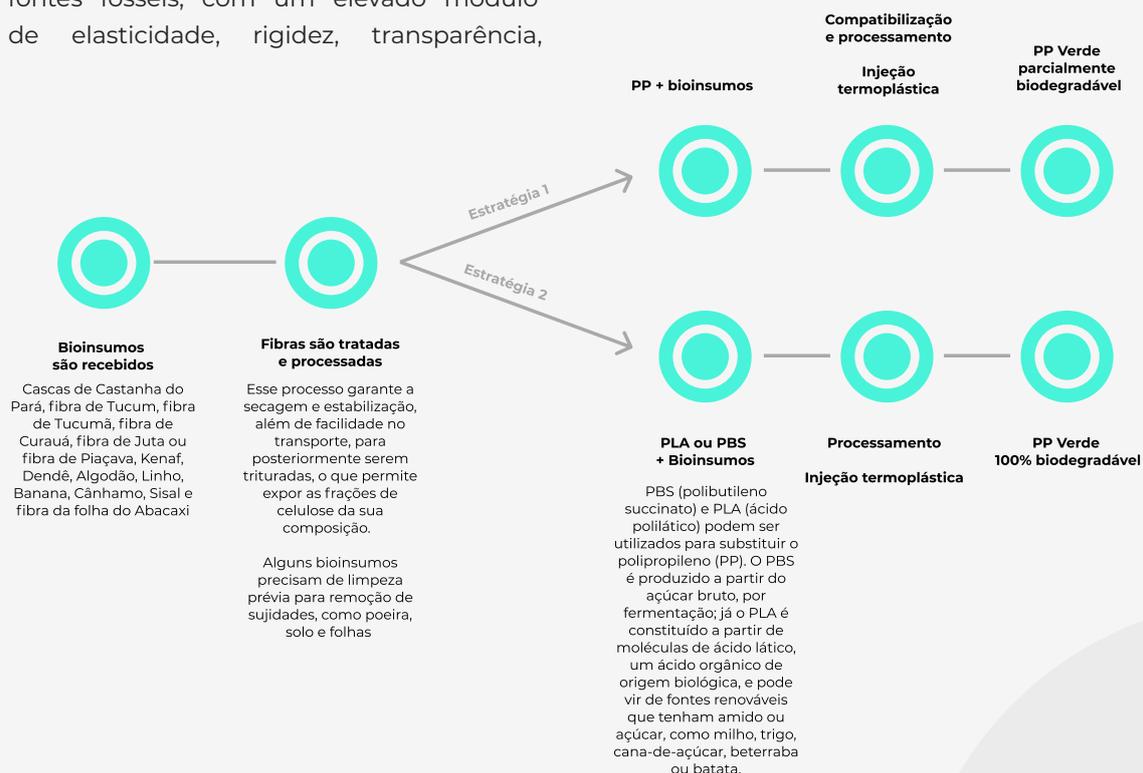
O PLA também é um biopolímero muito utilizado para substituir o PP de origem petroquímica. Ele é constituído por moléculas de ácido láctico, um ácido orgânico de origem biológica, que é obtido a partir de fontes naturais renováveis que contenham amido ou açúcar, como milho, trigo, cana-de-açúcar, beterraba ou batata. A partir de um processo fermentativo, as fontes naturais são convertidas por bactérias em ácido láctico, que é então recuperado e polimerizado para a obtenção do biopolímero ácido poliláctico.

O PLA apresenta propriedades mecânicas similares às dos polímeros com origem em fontes fósseis, com um elevado módulo de elasticidade, rigidez, transparência,

comportamento termoplástico, biocompatibilidade e boa capacidade de moldagem, propriedades essas que podem ser bem aplicadas a embalagens, por exemplo. Esse biopolímero é atualmente utilizado na fabricação de produtos de higiene, utensílios médicos, fibras têxteis, talheres, filamentos de impressão 3D, sacolas, diversos tipos de embalagens, entre outras tantas aplicações.

Existe também o PBAT, outro copolímero que pode substituir os polímeros de origem fóssil, sendo utilizado em misturas com outros biopolímeros, bem como fibras modificadas. No entanto, estes biopolímeros (PBS, PLA e PBAT) apresentam custo elevado por serem componentes importados, o que até hoje tem inviabilizado a produção nacional desses bioplásticos.

O aproveitamento dos bioinsumos amazônicos como bases poliméricas biodegradáveis têm o potencial de reduzir os custos e viabilizar o processo de produção de bioplásticos biodegradáveis, estimulando a cadeia de processamento de bioplásticos e contribuindo com o desenvolvimento social da região.



Conhecido como “blendagem”, o processo de mesclagem de polímeros que leva à criação de misturas de resinas plásticas (ou “blendas”) passa por uma sequência que parte dos testes em bancadas de laboratórios até chegar às máquinas extrusoras nas fábricas. Entenda abaixo como funciona cada passo desse processo.



MISTURA

A partir das frações dos bioinsumos fibrosos que sejam interessantes para os processos de produção de bioplástico, inicia-se a sequência de etapas de produção das blendas (misturas de resinas bioplásticas).

As fibras tratadas são incorporadas em misturas com outros componentes, como co-polímeros e aditivos ou outros bioinsumos, como óleos e extratos vegetais com capacidade antioxidante e antimicrobiana, sempre visando melhorar o bioplástico produzido.



ENSAIOS PRELIMINARES

É necessário fazer alguns testes preliminares para entender e avaliar a performance da mistura. Os ensaios em geral medem a capacidade de fusão, viscosidade e índice de fluidez das blendas bioplásticas contendo fibras modificadas e outros bioinsumos (como antioxidantes, plasticizantes e reforçadores).

Nessa etapa são obtidos os corpos de prova e realizados os ensaios mecânicos preliminares.



EXTRUSÃO E GRANULAÇÃO

O material obtido no processo é colocado em uma máquina que impele a massa plástica para dentro de um molde vazado, dando a forma desejada, conhecida como extrusora.

Para bioplásticos, podem ser utilizadas extrusoras convencionais com algumas adaptações (principalmente no desenho das roscas)

As melhores formulações de blendas são extrudadas para obtenção dos filamentos (espaguetes) e então seguem para a granulação.

Os granulados são submetidos a análises e as melhores formulações são submetidas aos processos de produção dos produtos (injeção, termoformagem, sopro).

Parâmetros de funcionamento das extrusoras requerem poucas adaptações para os bioplásticos, que são materiais mais sensíveis ao calor e ao processamento mecânico.

Por isso, a programação de aquecimento desses equipamentos é reduzida, o que contribui com economia energética do processo.

Os filamentos da primeira etapa de extrusão são resfriados à temperatura ambiente, sem necessidade de uso de tanque de resfriamento (para os produtos 100% biodegradáveis), o que reduz o gasto com água de resfriamento. Em um período de estresse hídrico a produção de bioplásticos apresenta vantagens em relação a produção dos plásticos de origem fóssil.

Por fim, os filamentos são transformados em pellets em granuladores (mesmos dos plásticos convencionais).



INJEÇÃO TERMOPLÁSTICA

O processo de injeção termoplástica consiste em fundir e moldar os biopolímeros com uso de uma injetora de plásticos.

Cada peça a ser criada tem um molde específico.

Nessa operação, as amostras de resinas bioplásticas são aquecidas e injetadas em um molde, que em seguida é resfriado e poderá ser aberto para extração da peça.

Na indústria do plástico a injetora é um dos itens mais procurados, considerando especialmente os resultados que oferece como alta produtividade, rapidez e qualidade dos produtos finais.

As configurações da injetora, setup e pré-testes serão necessários para acompanhar e validar as condições de operação.

O produto final varia conforme aplicação, cor e outras características finais, o que pode exigir ajustes de processo de produção.





PS e EPS Verde, em busca de um isopor mais sustentável

Existe um esforço crescente mundial para o desenvolvimento de fontes renováveis e substitutos biodegradáveis para as embalagens de espuma de poliestireno expandido (EPS) não-biodegradável, o famoso isopor.

O poliestireno (PS) é utilizado em uma ampla gama de aplicações, que vai desde as embalagens do nosso cotidiano, passando por eletrodomésticos, produtos eletrônicos de consumo, usos variados na construção civil (isolamento, painéis, unidades de banho, acessórios de iluminação e canalização), bem como em itens médicos e de laboratórios (como bandejas de cultura de tecidos, tipos de ensaio, placas de Petri, componentes de diagnóstico e invólucros para kits de teste).

O poliestireno (PS) é um hidrocarboneto aromático, líquido oleoso, amorfo, transparente, que é polimerizado facilmente a partir do monômero estireno (vinilbenzeno), na presença de oxigênio à temperatura ambiente. O monômero estireno, o quarto mais produzido no mundo (quase 27 milhões de toneladas produzidas em 2010), é um hidrocarboneto aromático produzido a partir do petróleo. Essa polimerização acontece com aquecimento de uma suspensão em água e utilizando-se peróxidos para iniciar a reação.

Versátil, o PS pode ser utilizado de três diferentes maneiras:

1. Poliestireno comum (PS Comum)

Costuma ser utilizado na versão cristal (transparente), que é visualmente semelhante ao vidro. Neste estado, ele é mais fácil de quebrar e menos flexível, apresentando maior índice de refração. É bastante utilizado em capas de CD, pipetas descartáveis, copos descartáveis, tesouras, pentes, escovas e potes de iogurte.

2. Poliestireno (PS) de alto impacto

É um termoplástico de alta resistência mecânica, tanto ao impacto quanto ao calor, obtido por um processo de polimerização do estireno. A alta resistência se deve a adição de um elastômero (borracha) à sua versão cristal granulada. É bastante utilizado na fabricação de artigos industriais tais como peças de eletroeletrônicos, brinquedos, saltos de sapatos, pratos, indústria de móveis, utensílios domésticos, grades de ar-condicionado.

3. Poliestireno expandido (EPS)

Geralmente utilizado como isopor, o EPS é fabricado a partir de pequenos grânulos à base de petróleo. Durante a produção, o EPS passa por um processo de expansão (por isso o nome), e por isso o produto que conhecemos é, na verdade, é composto de 98% ar e apenas 2% de matéria prima. Formatos, densidades e características podem variar conforme a aplicação - na construção civil, por exemplo, o EPS tende a ter uma densidade mais alta do que o material que é usado na confecção de caixas térmicas.

A busca por um EPS mais sustentável é uma crescente no mundo todo e também existem pesquisas sobre o tema na região Amazônica. Estudos realizados na região norte do Brasil sugerem que o uso de fibras amazônicas pode ser uma alternativa potencial como matéria prima para um EPS alternativo. Também existem pesquisadores que investigam como os óleos vegetais amazônicos podem ser utilizados como base para o processo de produção de EPS.

Fora da Amazônia, outros pesquisadores têm investigado a possibilidade de desenvolver espumas à base de amido moldadas por cozimento (aquecimento). No entanto, a sensibilidade destas espumas à





água é um fator que tem gerado uma série de novos estudos, que visam evitar que as espumas possam ser dissolvidas rápido demais, em geral envolvendo a inclusão de polímeros sintéticos ou biodegradáveis (como polilactídeo, policaprolactona e policarbonato de propileno), que tendem a reduzir a densidade destas espumas de amido e aumentar sua resistência à absorção de água.

As espumas de amido também estão sendo combinadas com outros aditivos e insumos para tentar melhorar a sua performance - algumas combinações incluem o uso de bioinsumos como fibras de madeira e outras fibras, além de cargas minerais, óleo de soja, e aditivos tais como estearato de polietilenoglicol, óleo de silicone, goma elemi, goma-laca e ácido esteárico, que em alguns casos conseguem melhorar parcialmente a resistência à umidade das espumas.

Outra abordagem que tem sido usada para melhorar as propriedades da espuma de amido é a reticulação do amido com

dialdeídos, como glutaraldeído ou glioxal. O glioxal é uma substância química que apresenta várias vantagens na produção de espumas. Utilizada em papéis produzidos para embalagens de alimentos, foi aprovada na Alemanha pelo Federal Institute for Risk Assessment em 2012 e nos Estados Unidos pela Food and Drug Administration (FDA) em 2011. Estudos relataram que a reticulação do amido de milho com glioxal reduz o tempo de cozimento necessário, além de diminuir a densidade, a absorção de água das bandejas e melhorar sua flexibilidade. No entanto, as espumas feitas de amido reticulado permanecem sensíveis à água, o que mantém a necessidade de melhorar ainda mais sua resistência à água para aplicações comerciais, como bandejas. Nesse contexto, a casca de milho, o caulim e a cera de abelha são aditivos baratos que podem potencialmente melhorar as espumas de amido reticulado. Estudos feitos na região norte do Brasil sugerem o uso de fibras amazônicas como alternativa potencial para substituir as cascas de milho.

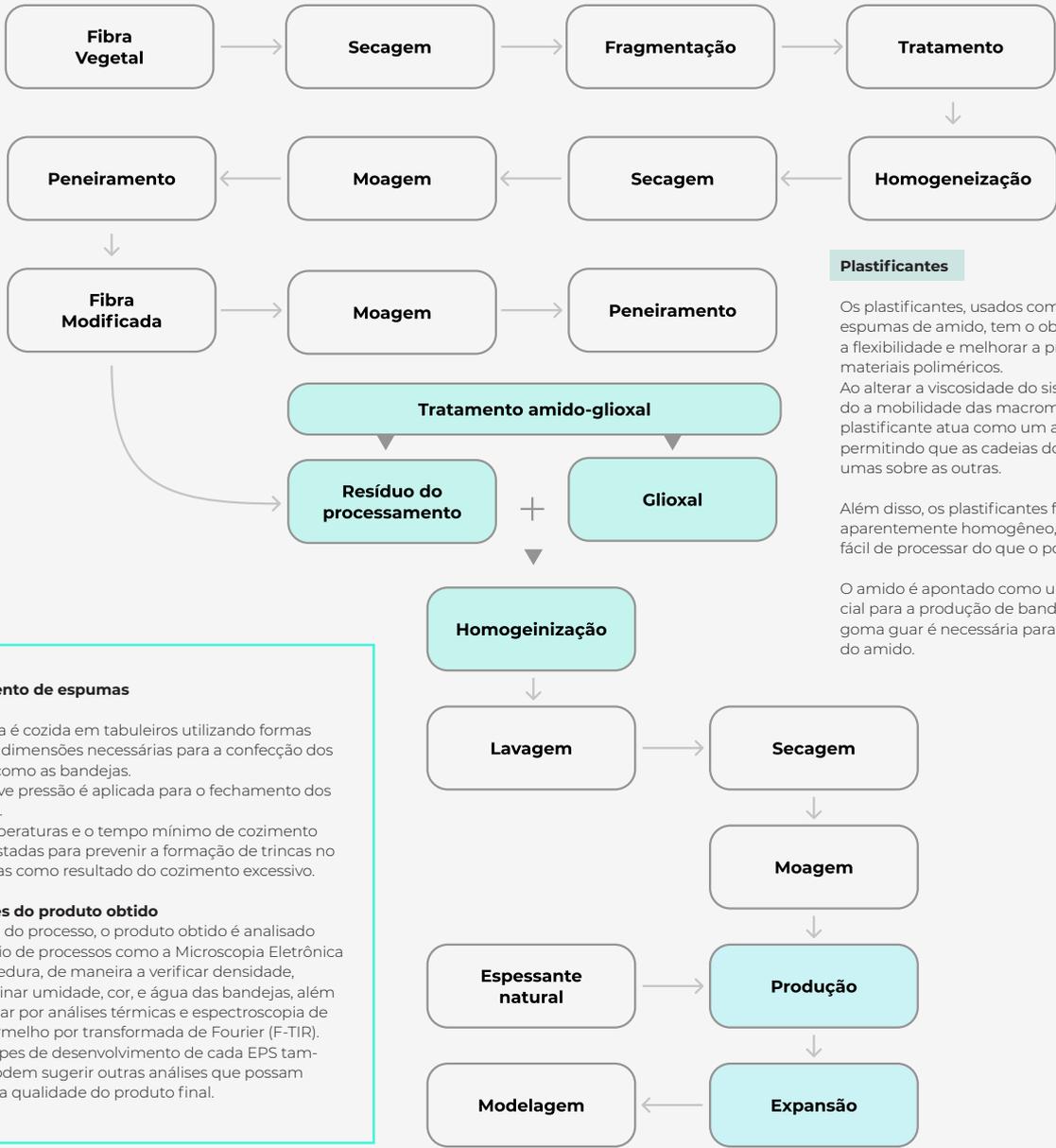




Para preparar a fibra da casca de milho, ou de fibras amazônicas, as fibras passam por processo de secagem branda (até 80-90°C) overnight.

Após a secagem, as fibras são fragmentadas e o aquecimento posterior se dá até a fervura, para permitir que substâncias pigmentadas possam ser parcialmente removidas.

Posteriormente as fibras serão suspensas em água em ebulição, homogeneizadas utilizando um agitador, secadas e moídas em um moinho de grãos.



Plastificantes

Os plastificantes, usados como aditivos em espumas de amido, tem o objetivo de aumentar a flexibilidade e melhorar a processabilidade de materiais poliméricos. Ao alterar a viscosidade do sistema, aumentando a mobilidade das macromoléculas, ou seja, o plastificante atua como um agente de lubrificação, permitindo que as cadeias do polímero deslizem umas sobre as outras.

Além disso, os plastificantes formam um material aparentemente homogêneo, mais macio, flexível e fácil de processar do que o polímero puro.

O amido é apontado como um componente essencial para a produção de bandejas de espuma e a goma guar é necessária para evitar a sedimentação do amido.

Cozimento de espumas

A massa é cozida em tabuleiros utilizando formas com as dimensões necessárias para a confecção dos itens - como as bandejas. Uma leve pressão é aplicada para o fechamento dos moldes.

As temperaturas e o tempo mínimo de cozimento são ajustadas para prevenir a formação de trincas no bandejas como resultado do cozimento excessivo.

Análises do produto obtido

Ao final do processo, o produto obtido é analisado por meio de processos como a Microscopia Eletrônica de Varredura, de maneira a verificar densidade, determinar umidade, cor, e água das bandejas, além de passar por análises térmicas e espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (F-TIR). As equipes de desenvolvimento de cada EPS também podem sugerir outras análises que possam atestar a qualidade do produto final.

Produção das Espumas

O processo de expansão térmica tem sido usado no desenvolvimento de embalagens expandidas biodegradáveis a base de amido, que preparamos embalagens biodegradáveis a partir de uma massa contendo amido de mandioca, goma guar, estearato de magnésio e glicerol, na para a preparação de bandejas de espumas compostas por amido de mandioca e argila montmorilonita ou até mesmo para a preparação de espumas à base de amido de mandioca com proteínas vegetais, fibras e óleo de palma.

No entanto, a produção de embalagens nestes formatos não é viável, devido à sua elevada higroscopia e baixa flexibilidade, o que torna estes materiais sensíveis à umidade e quebradiços.

Por isso, os aditivos são necessários para melhorar a propriedade das embalagens de EPS a base de amido.

Fonte: Adaptado de POLAT et al (2013) por Spier (2021)



PU Verde, substituto para o sexto plástico mais vendido no mundo

O poliuretano (PU) convencional não apenas é um plástico incapaz de ser biodegradado, como também é poluente, inflamável e gera substâncias tóxicas ao meio ambiente durante a sua produção.

Presente em diversos produtos do cotidiano (como colchões, sofás, solas de sapato, esponjas, painéis de isolamento, revestimentos de dutos de ar condicionado, adesivos, espumas, revestimentos superficiais e borrachas de poliuretano), o PU representou em 2018 uma produção de 620 mil toneladas no Brasil, que ocupa a 8ª posição no faturamento do mercado mundial de PU e produtos com PU. Isso equivale a 5% do mercado de plásticos mais

vendidos do mundo.

A oportunidade de produzir um PU Verde significa conseguir reduzir a toxicidade da produção ao trabalhar com um bioplástico que utiliza fontes sustentáveis, como os ativos da Amazônia, o que pode inclusive ajudar a reduzir os custos de produção deste polímero. Hoje, fabricantes estimam que o potencial da produção de PU Verde no Brasil seja de cerca de 620 mil toneladas ao ano.

Na região Norte do Brasil, pesquisadores têm estudado compósitos produzidos com resíduo de Cumaru, do ouriço da Castanha-do-Brasil e do caroço do Açaí e com compósitos poliméricos de fibras de piaçava. Entenda como um PU mais sustentável e menos tóxico pode ser produzido com bioinsumos brasileiros:



Pré-tratamento das fibras

As fibras vegetais precisam ser limpas para a retirada de impurezas e matéria orgânica.

As fibras são lavadas e secas em estufa a 40-50°C por 24h e posteriormente armazenadas.

As fibras fragmentadas e secas são então submetidas a um pré-tratamento de remoção de impurezas visando melhorar as propriedades desses bioinsumos na produção dos bioplásticos. antimicrobiana, sempre visando melhorar o bioplástico produzido.



Preparação e moldagem dos compósitos

A produção dos moldes e painéis adota proporções conforme o produto a ser produzido.

Por exemplo, para a produção de painéis ou placas, é utilizada uma proporção de 85% de fibras vegetais (como a fibra de Piaçava) e 15% de resina biocomponente derivada da mamona.



PRÉ-PRENSAGEM

A etapa de pré-prensagem tem como objetivo distribuir e compactar as fibras para reduzir a altura e minimizar vazios.

Essa operação é realizada com uso de uma prensa hidráulica e elevadas temperaturas (cerca de 95°C), em um processo que leva cerca de 10 minutos.



CARACTERIZAÇÃO PRÉ-POLÍMERO E POLIOL

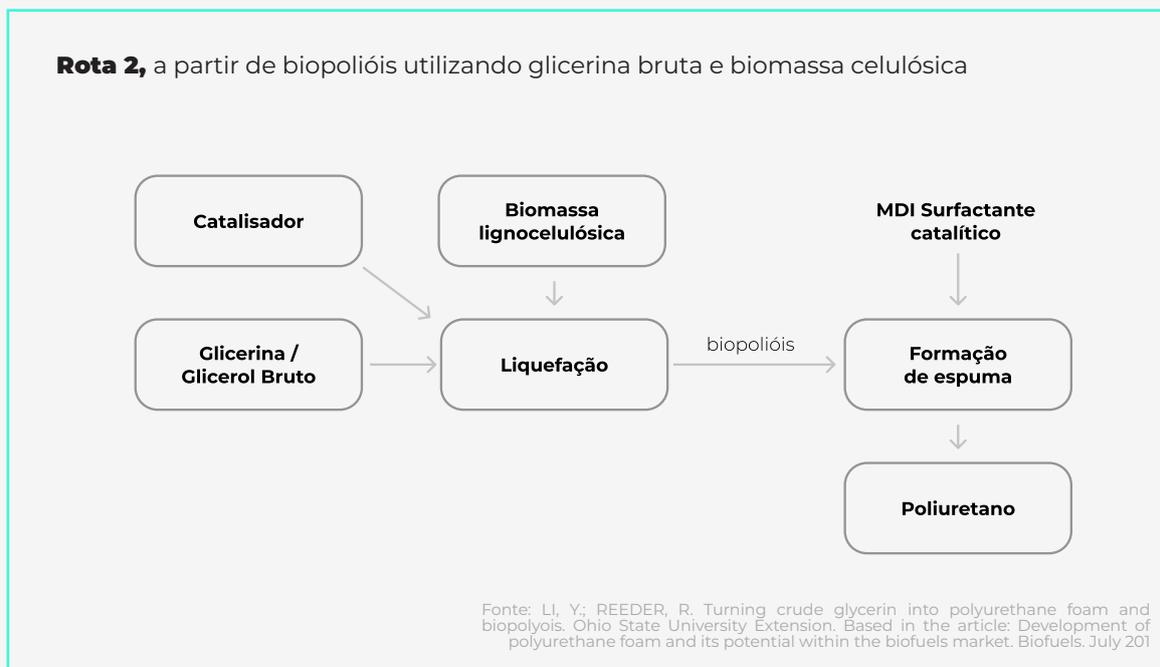
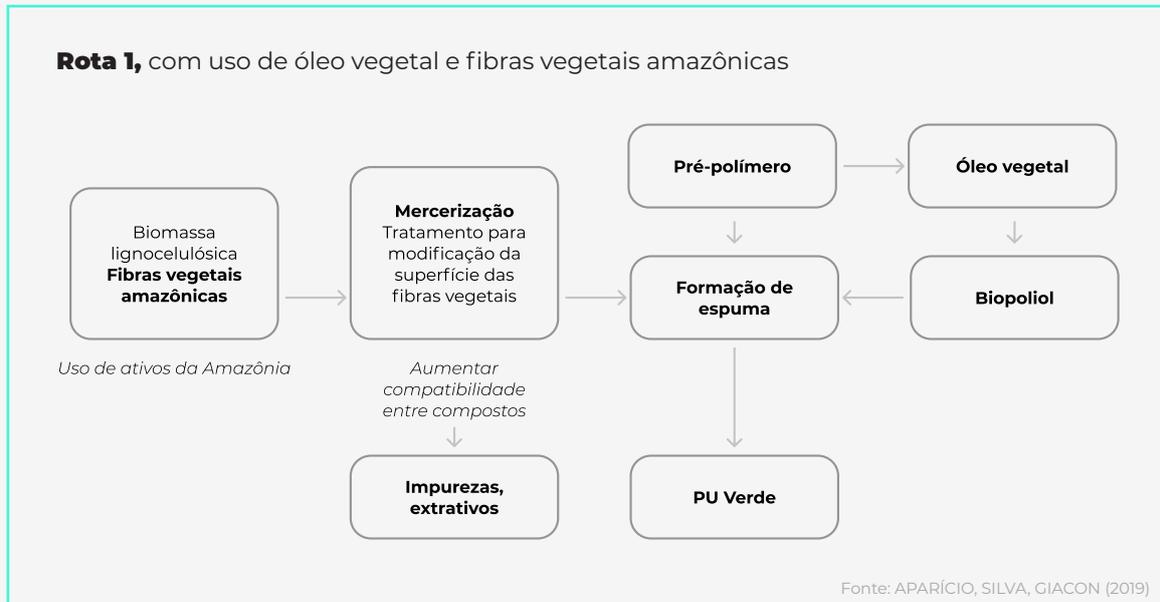
Para determinação das massas equivalentes serão realizados os ensaios de percentuais de isocianatos livres no pré-polímero (ASTM 2572) e índice de hidroxilas do polioliol derivado do óleo de mamona (ASTM D 4274) ou de outro óleo potencial para produção do biopoliol.





Existe a possibilidade de fazer o PU Verde ser ainda mais sustentável e ecológico com o uso de biopoliol, que pode ser sintetizado a partir do óleo da mamona. O pré-polímero pode ser sintetizado a partir do difenilmetano diisocianato (MDI) e pré-polimerizado com biopoliol derivado do óleo da mamona, ou de outro óleo que tenha potencial de uso e que seja de origem nos ativos da Amazônia (óleos de sementes ou de frutos, por exemplo).

Duas rotas possíveis para a produção de PU Verde com biopolióis:





Uma missão precisa de foco: a escolha de priorizar o PP Verde

Desde o início, estava claro para o COI que seria preciso olhar com critério para o cenário potencial de bioplásticos e encontrar um ponto que pudesse efetivamente se transformar em uma missão capaz de gerar impacto.

“Desenvolvimentos tecnológicos são complexos, caros e levam tempo. Por isso, já prevíamos que seria mais estratégico escolher um projeto em especial para fazê-lo de forma muito dedicada e cuidadosa, para no futuro conseguir expandir”, explica Andre Wongtschowski, líder da missão Bioplásticos e coordenador geral do COI.

Após as investigações de Michele Rigon Spier, foi possível compreender que os três bioplásticos analisados pelo COI (PP, PS + EPS e PU Verde) têm potenciais e mercados gigantescos. “Escolhemos analisar essas três frentes porque são grupos de plásticos que têm demanda, que o Brasil está consumindo muito. E se no Brasil a demanda é grande, no muito inteiro ela é ainda maior”, contextualiza Spier.

No entanto, o final do processo de investigação científica deixou evidente que um foco na produção de um PP mais verde seria bem mais impactante no mercado como um todo, porque os plásticos de uso único, que são consumidos com frequência e rapidamente são descartados, não precisam de tantas melhorias científico-tecnológicas para resistirem à água e umidade, o que faz deles uma opção de maior impacto no curto e médio prazo. “Estamos falando de copinhos descartáveis, espátulas de café, talheres, pratinho, sacolinha de mercado, plástico de embalagem, enfim, centenas

de produtos que estão na mesa dos consumidores, estão na mesa de todos nós. Em média, temos contato com umas quatro ou cinco embalagens deste grupo por dia”, ressalta Spier.

Além desse uso frequente e de curta duração, foram identificadas pela WTT mais aplicações industriais e demanda das empresas pelo PP Verde. “As empresas consideram o PP Verde uma oportunidade rápida, porque conseguimos produzir uma variedade de frascos, copos, bandejas, o que atinge mais nichos de mercado industrial, alcançando indústrias diversas, como a indústria química, farmacêutica, de cosméticos, alimentícia...”, complementa a investigadora científica do projeto.

O foco do COI no PP Verde como um pilar do projeto de Bioplásticos não significa, contudo, que os outros bioplásticos investigados, como PS, EPS e PU Verde, sejam menos importantes ou relevantes, mas indica que eles estão em estágios menos maduros em termos científicos para aplicações impactantes no curto ou médio prazo.

“Os biocompósitos [que temos hoje] são muito utilizados em nichos em que você não utilizaria o produto por muito tempo naquela função - como o canudo ou o copinho plástico, que você vai utilizar por alguns minutos e jogar fora. Então estamos trabalhando com as empresas para [usar o bioplástico PP Verde] nestes pequenos produtos que poderiam ser descartados logo em seguida, o que é uma boa oportunidade”, concorda o pesquisador Roger Bello Roel.





A percepção geral ao final do estudo da WTT sobre bioplásticos mostrou que ainda existem entraves tecnológicos significativos para o uso de matérias primas renováveis para desenvolver bioplásticos, mas aos poucos eles têm sido superados, seja por pesquisas de base, que investigam as propriedades das fibras e biocompósitos Amazônicos, seja por novos processos tecnológicos de produção de bioplásticos. “Ainda não temos tecnologia suficiente para desenvolver um produto 100% biodegradável com um preço acessível e uma disponibilidade de insumos para produzir grandes quantidades. Então, esse é o momento de se trabalhar com isso, de tentar desenvolver esses produtos [como o PP Verde] e tentar melhorar a cadeia produtiva no Amazonas de forma geral”, anseia o pesquisador Pedro Henrique Campelo Felix.

Com esse entendimento, a visão da WTT não é de que estamos desconsiderando duas vertentes importantes para a produção de bioplástico, mas que estamos priorizando um grupo de plásticos, o PP Verde, que tem potencial de causar impactos exponenciais e em cascata em todo o ecossistema de produção, consumo e descarte de plásticos no Brasil e no mundo, em um prazo relativamente curto de tempo



Futuros que nascem na Amazônia

O nosso interesse de criar, dentro da WTT, uma missão para canalizar a ciência brasileira em direção a soluções em bioeconomia não é recente: estamos há anos de olho nesta oportunidade, desde que demos início, em 2018, a uma ampla pesquisa e consulta pública para conhecer diferentes estratégias de inovação orientada a missões.

O impacto do plástico no meio ambiente e as oportunidades do bioplástico para a economia da Amazônia sempre fizeram deste um tema muito atrativo para nós. Tanto é que já no seu lançamento, em 2020, o COI teve um pilar dedicado a atuar na chamada bioeconomia, com um programa dedicado a investigar a questão do bioplástico.

Afinal, trata-se de um tema versátil e capaz de impactar em diversas frentes: ajuda a reduzir o volume de plásticos de origem fóssil que descartamos no meio ambiente, pode absorver diversos insumos que temos na Amazônia, incorporando-os em produtos de maior valor agregado, além de poder gerar renda e criar estímulos econômicos para que a floresta seja mantida de pé.

Conseguir gerar uma inovação para o pólo industrial de Manaus, que sabemos que precisa incorporar mais da bioeconomia da região em suas atividades, também era algo que nos parecia fundamental: conseguir conectar aquele mundo da floresta e das comunidades locais com o potencial imenso do pólo industrial regional.

Tudo isso certamente envolve aceitar alguns riscos, abraçar algumas visões que parecem possíveis quase que apenas em

sonho. No entanto, gerar inovação naquele pólo amazônico, que tem uma tendência tradicionalmente mais conservadora, se mostrou como uma missão importante e desafiadora o suficiente para o que o COI se dedicasse à ela, orientando cientistas em busca de soluções que ainda não existem, para transformar o nosso mundo da forma que sonhamos ser possível.

Não foram poucas as vezes que escutamos comentários como “você não vão encontrar nada de inovador sendo desenvolvido nas universidades da Amazônia” ou que não encontraríamos “nada fora do óbvio”, já que a infraestrutura estaria sucateada e haveria uma fuga de cérebros da região. Fato é que parte das críticas se provaram reais: há mesmo uma fuga de cérebros, a infraestrutura nem sempre é adequada, mas felizmente apostamos em encontrar cientistas inteligentes fazendo coisas inovadoras na Amazônia, porque conseguimos encontrá-los, como esse projeto consegue demonstrar.

Apostamos forte, arriscamos muito, mas chegamos nesse ponto da investigação felizes do risco que corremos, porque encontramos um caminho promissor.

Além de encontrarmos um grande número de pesquisadores fazendo ciência de excelência e interessados em trabalhar com ciência aplicada e em parceria com as indústrias, identificamos um grande potencial para a produção de biopolímeros.

No entanto, ainda há pouca colaboração concreta entre os Institutos de Ciência

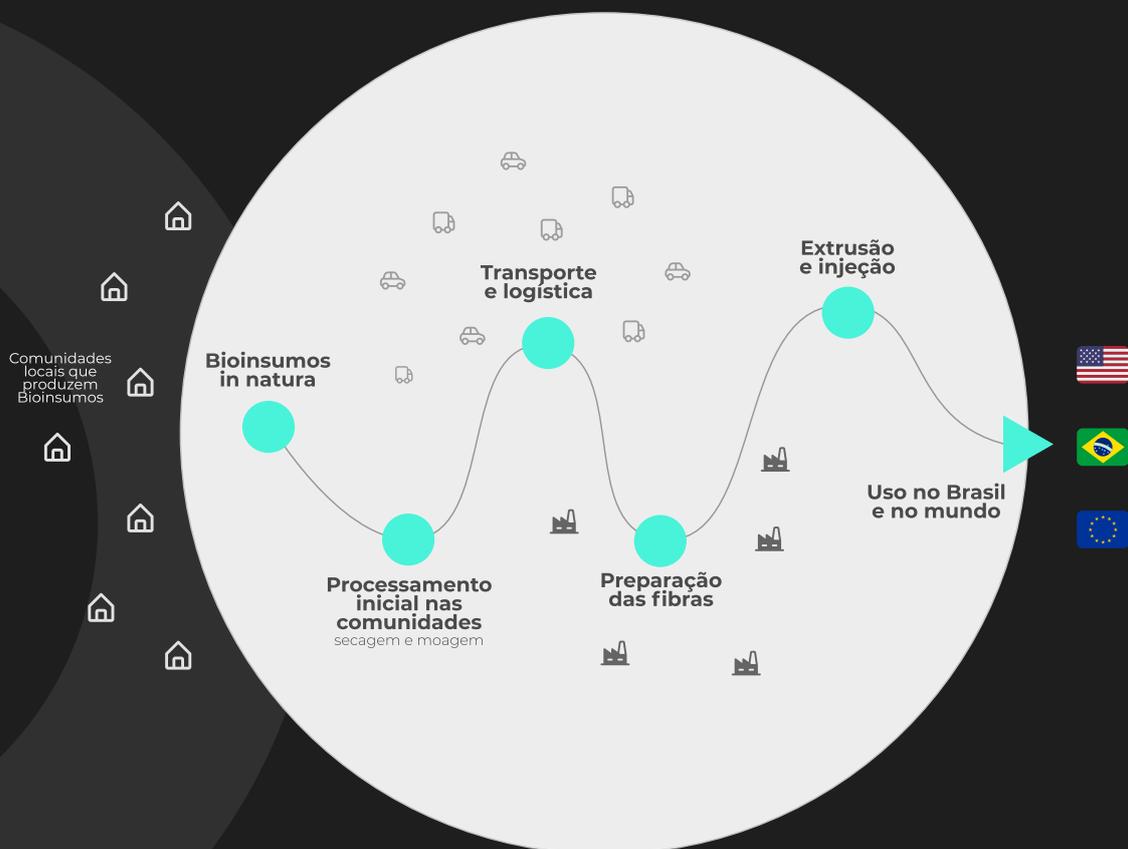
e Tecnologia (ICTs) locais e a indústria, bem como um baixo grau de maturidade tecnológica das pesquisas.

Diante disso, estamos trazendo o framework do COI para a missão Bioplásticos, que tem como objetivo principal direcionar a pesquisa científica local relacionadas a biocompósitos, biopolímeros e outros desenvolvimentos científicos relacionados à produção de bioplásticos para que seja possível elevar o nível de maturidade tecnológica das pesquisas da região, assim como criar oportunidades de conexão entre todos os atores da cadeia de produção de bioplásticos, que vão desde os cientistas e pesquisadores, a indústria produtora e consumidora de plástico e as comunidades locais, que podem fornecer as matérias primas que vão ser utilizadas como bioinsumos na cadeia de produção do bioplástico.

Ainda que o foco do COI seja sempre atuar no desenvolvimento científico e

tecnológico associado aos programas que queremos impactar, no caso específico da missão Bioplásticos, entendemos que nosso envolvimento vai além de fornecer direcionamento e liderança para o desenvolvimento de uma ciência aplicável para incentivar a produção de bioplástico com bioinsumos Amazônicos, envolvendo também questões relacionadas à influência e gestão de relacionamentos entre os atores envolvidos em toda a cadeia de fornecimento, processamento e tratamento das fibras, na produção de resinas, injeção e comercialização dos itens produzidos.

Conseguimos enxergar daqui, em 2021, que alguns dos futuros do bioplástico podem sim ter suas raízes fincadas na nossa Amazônia, e a missão Bioplásticos carrega consigo esse objetivo de fomentar essa visão, e trazer para perto quem acredita nesse objetivo com a gente - como é o caso do Idesam, na figura do Riva, e da Tutiplast, na figura da Mariana.



E para chegar a soluções, costurar colaborações e encontrar saídas que possam atuar em um cenário que se coloca repleto de co-dependências, a proposta do COI é a que nos parece mais capaz de conseguir chegar até este nosso sonho.

Desenhamos o framework de trabalho do COI pensando não somente em montar times de excelência científica, mas conseguir mobilizar os interesses e as capacidades destes cientistas de maneira que eles possam juntos endereçar problemas

concretos da nossa sociedade. A missão Bioplásticos é uma dentre as tantas outras que equipes científicas orquestradas com um propósito claro, com profissionais de alto gabarito atuando no Brasil, podem realizar.

Os cientistas e apoiadores que estão conosco nessa jornada foram muito corajosos de acreditar também no nosso sonho. A nossa expectativa é que eles continuem cheios de coragem ao nosso lado, porque a missão Bioplásticos está apenas começando.

Andre Wongtschowski

Coordenador Geral do Centro de
Orquestração de Inovações

Agradecimentos

Uma missão de proporções amazônicas como esta não teria acontecido sem o apoio e o financiamento de instituições que acreditam nos objetivos de transformar o mundo que guiam a WTT.

Agradecemos, de maneira especial, a Konrad Adenauer Stiftung (KAS), que nos possibilitou dar os primeiros passos na missão bioplásticos e provar que a Amazônia, pode sim, ser um pólo de excelência de desenvolvimento científico.

Somos muito gratos também ao Instituto Clima e Sociedade (ICS), que acreditou no COI quando ele não era muito mais que uma ideia em nossas cabeças.

Este projeto também não teria decolado sem o apoio de colaboradores importantes como Michele Rigon Spier, Pedro Henrique Campelo Felix, Roger Hoel Bello, Carlos Gabriel Koury (o Riva) e Mariana Reis Barrella.

E finalmente, um enorme agradecimento à incrível equipe da WTT: Pablo Vagliente, Cristiane Oda e Tatiane Negrão.

Referências

- ABIPLAST – Associação Brasileira da Indústria do Plástico. **Perfil 2019**. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil2019/>>. Acesso em: 26 de maio de 2021.
- Agarwal, B.D., Broutman, L.J., Chandrashekhara, K. (2006). **Analysis and Performance of Fiber Composites Third Edition**. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ.
- American Society for Testing and Materials. ASTM D2572 - 97(2010) Standard Test Method for Isocyanate Groups in Urethane Materials or Prepolymers. (2010).
- American Society for Testing and Materials. ASTM D4274 - 16 Standard Test Methods for Testing Polyurethane Raw Materials: Determination of Hydroxyl Numbers of polyols. (2010)
- APARICIO (2019). **Influência das Razões de Pré-polímero na Matriz Poliuretânica de Óleo de Mamona em Compósito com Alto Teor Fibras de Piaçava da Amazônia**. UFAM: Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais. Aluno: Rosinaldo Rabelo Aparicio, 2019. Orientadores: Cristina Gomes da Silva e Virginia Mansanares Giacon.
- Bledzki, A.K.; Gassan, J. **Composites reinforced with cellulose based fibres**. Prog. Polym. Sci. 24, 221–274 (1999).
- Cangemi, J.M. **Biodegradação de Poliuretano Derivado do Óleo de Mamona**. (Tese (doutorado em Química Analítica) – Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006).
- Cerchiari, A.M.F. (2013). **Aprimoramento do poliuretano a base de óleo de mamona na manufatura de Madeira Laminada Colada (MLC) de Cupressus lusitanica, Corymbia maculata e Hevea brasiliensis Piracicaba, Corymbia maculata e Hevea brasiliensis** (Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Chierice, G.O.C.N. (2007). O agronegócio da mamona no Brasil.
- CHONG, T. Y.; LAW, M. C.; CHAN, Y. S. The Potentials of Corn Waste Lignocellulosic Fibre as an Improved Reinforced Bioplastic Composites. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 29, n. 2, p. 363–381, 2021.
- Coelho, B. (2011). Estudo da influência da razão molar [NCO]/[OH] nas propriedades de poliuretanas originadas do óleo de maracujá (*Passiflora edulis Sims f. flavicarpa Degener*). (Dissertação Mestrado em Química) - Universidade Federal de Brasília, Brasília.
- COMUNICAÇÃO DA COMISSÃO AO PARLAMENTO EUROPEU, AO CONSELHO, AO COMITÉ ECONÓMICO E SOCIAL EUROPEU E AO COMITÉ DAS REGIÕES. Uma Estratégia Europeia para os Plásticos na Economia Circular. COM/2018/028.
- CORDEIRO, E.M.S. **Biocompósitos poliméricos obtidos a partir da fração lignocelulósica e amilácea do caroço de manga (Mangifera indica), Tommy Atkins**. Dissertação de mestrado. UFRGN, Natal-RN, 2013.
- Delfino, C., Monteavaro, L.L., Freitas, L.D.L., Petzhold, C.L. (2005). Poliuretanas de Óleo de Soja obtis com Diferentes Razões [OH]/[NCO]. in 8o Congresso Brasileiro de Polímeros 930–931.
- Dodge, J. (2003). In Synthetic Methods in Step-Growth Polymers. 258.
- DONG et al. Poly(lactic acid (PLA) biocomposites reinforced with coir fibres: Evaluation of mechanical performance and multifunctional properties. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 63, p. 76-84, 2014.
- DRAMOLA et al. Mechanical performance and water uptake behaviour of treated bamboo fibre-reinforced high-density polyethylene composites. **Heliyon**, v. 5, p. e02028, 2019.
- Europe bioplastics. **Bioplastics market data**. 2020. Disponível em: <<https://www.european-bioplastics.org/market/>> . Acesso em: 26 de maio de 2021.
- Europe bioplastics. **What are bioplastics?**. 2018. Disponível em: <https://docs.european-bioplastics.org/publications/fs/EuBP_FS_What_are_bioplastics.pdf>. Acesso em: 26 de maio 2021.
- Europe bioplastics. **What are the advantages of bioplastic products?**. 2016. Disponível em: <<https://www.european-bioplastics.org/faq-items/what-are-the-advantages-of-bioplastic-products/>> . Acesso em: 26 de maio 2021.
- Flexível PU - Tecnologias em Poliuretano, 2018. Disponível em <<https://www.flexivelpu.com.br/>>. Acesso em 17 de setembro de 2021.
- GIRONI, F.; PIEMONTE, V. Bioplastics and Petroleum-based Plastics: Strengths and Weaknesses. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, v. 33, p. 1949-195, 2011.
- GUTIERRÉZ et al. Biocomposites based on cellulose acetate and short curauá fibers: Effect of plasticizers and chemical treatments of the fibers. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 43, p. 1338-1346, 2012.

- Ionescu, M. (2005). Chemistry and Technology of Polyols for Polyurethanes.
- LUCHESI, et al. Bionanocompósitos produzidos a partir de amido de mandioca e nanowhiskers de celulose do mesocarpo do dendê. **IX Workshop de Nanotecnologia Aplicada ao Agronegócio**. 2017.
- Marconcini, J.P.; Saraiva Morais, J.P. **Procedimentos para Análise Lignocelulósica**. (2010)
- Marinucci, G. (2011). **Materiais Compósitos poliméricos**. Fundamentos e Tecnologia.
- Merlini, C. (2011). **Análise Experimental de Compósitos de Poliuretano Derivado de Óleo de Mamona e Fibras de Bananeira**. (Dissertação Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Merlini, C. (2011). Análise Experimental de Compósitos de Poliuretano Derivado de Óleo de Mamona e Fibras de Bananeira. Dissertação Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- MUHAMMAD, A. RASHIDI, A.R.; BUDDIN, M.M.H.S. **Effect of Coconut Fiber Reinforcement on Mechanical Properties of Corn Starch Bioplastics**. International Journal of Engineering and Technology, 7(4.18) (2018), 267-270.
- MUHAMMAD, A.; RASHIDI, A.R.; ROSLAN, A. IDRIS, S.A. **Development of biobased plastic materials for packaging from Soybeans Waste**. AIP Conference Proceedings 2017, 1885 (1), 020230.
- NANDAKUMAR, A.; CHUAH, J.; SUDESH, K. **Bioplastics: A boon or bane? Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 147, p. 111237, 2021.
- NARAYANA, V. L.; RAO, L. B. A brief review on the effect of alkali treatment on mechanical properties of various natural fiber reinforced polymer composites. **Materials Today: Proceeding**, v. 44, Part 1, p. 1988-1994, 2021.
- NEHER et al. Study of the Physical, Mechanical and Thermal Properties of Banana Fiber Reinforced HDPE Composites. **Materials Sciences and Applications**, v. 11, 2020.
- Pardini, F.L.N.C. (2006). **Compósitos Estruturais** - Ciência e Tecnologia.
- Pereira, P.H.L. (2010). **Estudo das propriedades físico-químicas da poliuretana derivada do óleo de mamona com potencial aplicação na área médica**. (Dissertação (Mestrado em Química 83 Analítica) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Razera, I.A.T. **Fibras lignocelulósicas como agente de reforço de compósitos de matriz fenólica e lignofenólica**. (Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006).
- Rebello, V.S.M. (2016). **Efeitos da Mercerização em Fibras de Piaçava Amazônica (Leopoldinia piassaba) para Produção de Painéis de Partículas de Média Densidade**. (Dissertação Mestrado em Engenharia Civil - Universidade Federal do Amazonas, Manaus.
- Revista Piauí. Gorziza, A.; Ceará, L.; Buono, R. Apenas 1,3% do lixo plástico gerado no Brasil é reciclado. Disponível em: <https://piaui.folha.uol.com.br/apenas-13-do-lixo-plastico-gerado-no-brasil-e-reciclado>
- Revista Plástico Industrial. ARANDA EDITORA TÉCNICA E CULTURAL <https://www.arandanet.com.br/revista/pi/noticia/1380-Crescimento-do-mercado-global-de-bioplásticos.html.04/12/2020>.
- Rodrigues, J.D.O. (2016). **Síntese e caracterização de polímeros obtidos a partir do óleo de mamona (Ricinus communis L)**. Dissertação Mestrado em Química - Universidade Federal de Brasília, Brasília.
- Rodrigues, J.M.E. (2005). Preparação de poliuretana à base de óleo de mamona. (Tese Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- ROSSA et al. Effect of curauá fiber content on the properties of poly(hydroxybutyrate-co-valerate) composite. **Polymer Composites**, v. 34, p. 450 – 456, 2013.
- Sardon et al (2015), **Synthesis of Polyurethanes Using Organocatalysis: A Perspective** Haritz Sardon, A.P., Mecerreyes D., Taton D., Cramail H., Hedrick J.L. *Macromolecules*, 48, 10, 3153–3165.
- SELVAMURUGAN, M.; SIVAKUMAR, P. Bioplastics – An Eco-Friendly Alternative to Petrochemical Plastics. **Current World Environment**, v. 14, p. 49-59, 2019
- SILVA, C.R.R. **Obtenção, caracterização e viabilidade de utilização de um compósito com matriz de resina poliéster e resíduos originados da extração do óleo de dendê**. Dissertação de mestrado. UFRGN, Natal-RN, 2015.
- SILVA, J. P. S. Desenvolvimento de compósitos de poli (butileno adipato-co-tereftalato) PBAT e Fibra de pupunha. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), apresentado ao Curso de Graduação em Tecnologia em Polímeros da UEZO. 2014.
- SOARES, R. S. **Avaliação da resistência à tração de materiais compósitos reforçados com fibras contínuas de curauá**. Monografia. Engenharia Mecânica - Universidade do Estado do Amazonas (UEA). 2019.

SOUZA, Marcos Rogério de. **Blenda de poli (tereftalato de etileno) com polietileno de baixa densidade**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SPIER et al (2020). **Desenvolvimento de tecnologia de matrizes poliméricas biodegradáveis**. Desenvolvimento tecnológico. Know-how de pedido de patente protocolado no INPI de n. BR 10 2020 005015 0.

SUDSARI, H.; KASIA, G.; ALEXANDRU, D.A.; SANDEI, S.; PARNAS, R. **Wheat gluten composites reinforced with coconut fiber**. Composites Part A, 43, 1160-1168.

Szycher, M. (2013). Szycher'S handbook of Polyurethanes.

UOL (2013). Cada sete latas de guaraná levam uma semente da planta. Disponível em: economia.uol.com.br/agronegocio/noticias/redacao/2013/12/17/cada-sete-latas-de-guarana-levam-uma-semente-da-planta-conheca-a-producao.htm

VENKATARAJAN, S.; ATHIJAYAMANI, A. An overview on natural cellulose fiber reinforced polymer composites. **Materials Today: Proceedings**, v. 37, Part 2, p. 3620-3624, 2021.

VILAR, W. **Química e Tecnologia dos Poliuretanos**. Capítulo 4. Poliuretanos Moldados. 3ª ed. Vilar Consultoria, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <https://poliuretanos.com.br>

WWF. World Wide Foundation. **Living Planet Report 2020 - Bending the curve of biodiversity loss**. Almond, R.E.A., Grooten M. and Petersen, T. (Eds). WWF, Gland, Switzerland. 2020.

YANG, J.; CHING, Y.C.; CHUAH, C.H. Applications of lignocellulosic fibers and lignin in bioplastics: A review. **Polymers**, v. 11, n. 5, p. 1-26, 2019.

YUSOF et al. Properties of treated bamboo fiber reinforced tapioca starch biodegradable composite. **Materials Today: Proceedings**, v. 16, p. 2367-2373, 2019.

