

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CURITIBA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA QUÍMICA

**ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS UTILIZANDO CÂNHAMO PARA
SUBSTITUIÇÃO DE PLÁSTICOS DERIVADOS DO PETRÓLEO**

CURITIBA

2019

ALAN BELLO
KESLYN CHIQUITO
NICHOLLAS PAVLOSKI
MARIA EDUARDA MAYER
SEBASTIÃO AUGUSTO SILVÉRIO FILHO

**ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS UTILIZANDO CÂNHAMO PARA
SUBSTITUIÇÃO DE PLÁSTICOS DERIVADOS DO PETRÓLEO**

Projeto apresentado à disciplina de Projeto Integrador dos cursos de Engenharia da Computação, Engenharia Elétrica e Engenharia Química da FATEC/PR como exigência para obtenção de nota parcial do 1º bimestre.

Prof. Esp. Fernando Ressetti Pinheiro
Marques Vianna.

CURITIBA

2019

RESUMO

Neste trabalho pode-se encontrar um pouco da história do plástico, e como seu uso desenfreado junto ao consumismo iniciado no século passado, afeta negativamente a vida marinha. Podendo-se observar uma junção de dados ambientais relacionados ao descarte incorreto do plástico, desse modo procurou-se mostrar alguns métodos de tratamento a este resíduo não renovável. Visando apresentar alternativas sustentáveis ao plástico convencional, foram sugeridos alguns candidatos como cânhamo, glúten de trigo e outros polímeros naturais. Mostrando as vantagens e desvantagens do bioplástico, comparando o tempo de vida, custos e impacto ambiental em relação ao plástico de origem fóssil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Plástico descartado, reciclado e incinerado de 1950 a 2015.	10
Figura 2. Propriedades de flexão do processamento do pó (processo I) e extrusão seguida de moldagem por injeção (processo II)	20
Figura 3. Comparação das propriedades de flexão de compósitos CAP, CAP (30% cânhamo), PP e PP (30% cânhamo)	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Biodegradação dos bioplásticos em diferentes ambientes.....	14
Tabela 2: Módulo de Young médio e deformação à fratura de plásticos de glúten reforçados com fibras <i>hemp</i> contendo diferentes quantidades e qualidades de fibras	22

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

CA – acetato de celulose

CABP – acetato butirato de celulose

CBD – canabidiol

CO₂ – dióxido de carbono

HCl – ácido clorídrico

PA – poliamida

PBAT – tereftalato de adipato de polibutileno

PBS – succinato de polibutileno

PE – polietileno

PET – politereftalato de etileno

PHA – polihidroxiálcanoato

PHB – polihidroxi butirato

PLA – ácido polilático

PP – polipropileno

PTT – politereftalato de trimetileno

THC – tetraidrocanabinol

WG – glúten de trigo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 OBJETIVO GERAL	9
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
2 JUSTIFICATIVA	9
3 DESENVOLVIMENTO.....	10
3.1 INFLUÊNCIA ANTRÓPICA.....	10
3.2 BIOPLÁSTICO.....	11
3.2.1 Métodos para tratamento de resíduos plásticos e biodegradação	12
3.2.1 Desvantagens do uso de bioplástico	16
3.3 UTILIZAÇÃO DE FIBRAS <i>HEMP</i> EM DIFERENTES MATRIZES BIOPOLIMÉRICAS	17
3.3.1 Cânhamo.....	17
3.3.2 Aplicações	19
4 CONCLUSÕES	23
4.1 TRABALHOS FUTUROS	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

1 INTRODUÇÃO

A produção de plástico em massa, iniciada na década de 1950, somando com as atividades antrópicas sem nenhuma conscientização ambiental tem poluído os oceanos de forma exponencial, ainda considerando que os plásticos fabricados apenas a partir de fontes fósseis podem demorar até 500 anos para se decompor. Pesquisas indicam que, da forma como plástico é produzido e descartado atualmente, até 2050 haverá 12 bilhões de toneladas de resíduos plásticos no meio ambiente (WEYLER, 2017). Portanto, foi observado que a vida marinha está cada vez mais crítica, levando em conta que 8 a cada 11 espécies de aves marinhas foram encontradas com partículas de plásticos no estômago, incluindo também 86% das espécies de tartarugas dos oceanos (DERRAIK, 2002, p. 844).

Ou seja, a biota marinha está sendo ameaçada de extinção e estima-se que mais de um milhão de aves marinhas e aproximadamente cem mil mamíferos aquáticos venham morrer por ano devido a ingestão de plástico (WEYLER, 2017). A ameaça a vida marinha, tornou-se uma preocupação legítima e instigando muitos cientistas a procurarem novas alternativas sustentáveis, visando diminuir o ciclo de vida desse material na natureza. Dentre as alternativas de soluções existentes, o bioplástico tem mostrado sua importância devido seu baixo tempo de biodegradação. Porém seu uso acaba não sendo abrangente, visto que existem pobres propriedades mecânicas neste tipo de material, além de seu alto preço de produção, tornando-se inviável (EMADIAN; ONAY; DEMIREL, 2016, p. 527).

Como possível solução parcial de uma dessas limitações, a utilização das fibras de cânhamo (*Cannabis sativa* L.) pode ser utilizadas para resolver a questão de flexibilização do produto plástico feito a partir de biopolímeros (WRETFORS, 2009, p. 259). Após inúmeros estudos, pesquisadores europeus foram incentivados a procurar novas utilidades para as fibras do cânhamo e foi descoberto o uso destas no reforço físico e térmico do composto bioplástico (MANTOVANI, 2017, p. 20). A partir disso, visto que os maiores detritos no meio ambiente são causados por embalagens plásticas, torna-se interessante a discussão sobre o processo de substituição de plásticos derivados do petróleo pelos plásticos derivados de biocompósitos (DERRAIK, 2002, p. 843).

Dado aos esforços de pesquisadores ainda é possível salvar a vida marinha, diminuindo os impactos ambientais com o uso de bioplástico. Apesar do tempo de vida curto desses materiais, a conscientização do descarte do lixo continua sendo deveras importante para diminuir ainda mais o impacto ambiental devido à influência antrópica na natureza. Além da vantagem no tempo de decomposição do material, soma-se a nula emissão de

dióxido de carbono (CO_2), já que o carbono retorna à matéria orgânica, enquanto no procedimento de fabricação e decomposição de plásticos com compostos fósseis há grande emissão de poluentes na atmosfera (COUTINHO, 2004, p. 80).

1.1 OBJETIVO GERAL

Apresentar alternativas sustentáveis que viabilizem a diminuição no tempo de decomposição de materiais plásticos na natureza através do processamento de bioplástico.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar características e métodos da fabricação do bioplástico.
- Apresentar alternativas de bioplásticos utilizando recursos sustentáveis nos biocompósitos.
- Explicitar os prós e contras da utilização de biocompósitos e suas aplicações.

2 JUSTIFICATIVA

O tempo de uso de plástico no meio comercial e industrial é menor que um século e já causou consequências devastadoras, principalmente no ambiente marinho. Devido o consumo não-consciente e métodos não-sustentáveis de fabricação de plástico, o descarte incorreto deste acaba nos oceanos prejudicando a fauna, e viabilizando a redução destes prejuízos, a fabricação de bioplásticos é uma ótima alternativa em virtude de sua rápida decomposição e processo sustentável. Aliás, ainda no processo petroquímico da fabricação de polímeros sintéticos, há liberação de poluentes na atmosfera e é exclusivamente aceito pelo custo reduzido e rendimento superior ao de alternativas sustentáveis.

No meio acadêmico, apresentar possibilidades viáveis e inviáveis do estudo da aplicação de métodos de fabricação do bioplástico é de suma importância ao expor alternativas para resolução deste problema que aflige o mundo inteiro atualmente. Além do compartilhamento de informações, o projeto visa uma forma de conscientização ambiental.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 INFLUÊNCIA ANTRÓPICA

Na busca de materiais que possuíssem propriedades de longa durabilidade e fácil manipulação, os plásticos vieram como uma ótima alternativa ao mercado. Apesar da vantagem procedural e econômica, além da vasta aplicabilidade, os plásticos constituídos de fontes não renováveis apresentam um malefício na questão de sua decomposição (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006, p. 811). Como consequência do uso desenfreado destes materiais, houve a crescente superprodução de plástico, atingindo marcas globais de 367 milhões de toneladas no ano de 2017. Mesmo com todas as campanhas de conscientização existentes, apenas aproximadamente 19,50% desta produção acabou sendo reciclada e 25,50% incinerada, liberando substâncias nocivas na atmosfera, como ácido clorídrico (HCl) e CO₂ (RITCHIE; ROSER, 2018; FRANCHETTI; MARCONATO, 2006, p. 811).

Da década de 1980 até atualmente, a faixa de reciclagem/incineração de plástico foi expandindo, como pode ser visto na Figura 1. Porém, como o tempo de decomposição destes plásticos pode chegar aos 200 anos, mesmo se a fabricação de plástico fosse cessada hoje, o meio ambiente ainda seria afetado por décadas, talvez séculos (DERRAIK, 2002, p. 847).

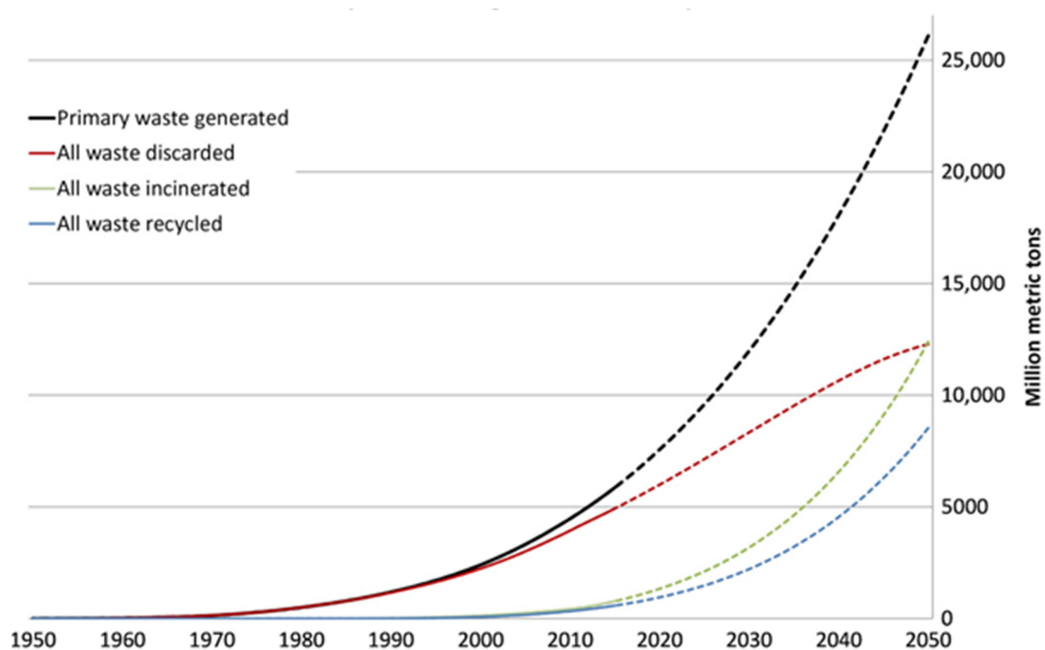


Figura 1 – Plástico descartado, reciclado e incinerado de 1950 a 2015.

Fonte: Geyer *et al.* (2017).

Com tal influência antropogênica devastadora na natureza, desde o início da fabricação de plásticos são realizadas pesquisas sobre o impacto na vida marinha. Toda essa atividade imprudente já prejudicou ao menos 267 espécies marinhas, dentre elas 86% das espécies de tartarugas, 44% das aves e 43% dos mamíferos marinhos. Outrossim, os plásticos acumulados no chão do oceano impossibilitam as trocas gasosas entre águas mais superficiais e águas com mais sedimentos, desequilibrando o ecossistema ali presente, consequentemente alterando a vida no chão dos oceanos (DERRAIK, 2002, p. 844).

A maior percentagem de plástico nos oceanos se encontra em forma de embalagens, entretanto, em áreas menos urbanizadas, o tipo predominante de plástico encontrado nas águas provém da atividade pesqueira (DERRAIK, 2002, p. 843). Outra forma de poluição são os *pellets*, pequenas partículas com aproximadamente cinco milímetros de diâmetro que são comercializadas como matéria-prima plástica. Estes grânulos chegam aos oceanos através do descuido no manuseamento e transporte devido ao seu pequeno tamanho (PEREIRA; OLIVEIRA; TURRA, 2011, p. 1). A maior ameaça aos animais marinhos é ocasionada pelo emaranhamento e ingestão de plástico, esta última ocorre pela confusão das presas por partículas e pedaços de plástico, que resulta na morte da maioria das espécies vítimas do descaso (DERRAIK, 2002, p. 842).

O que justifica toda essa tragédia ambiental é a falta de controle e regularização governamental e empresarial. Contudo, a deficiência na educação ambiental prejudica tão gravemente quanto esses outros aspectos. O serviço público de coleta de lixo apresenta limitações quanto ao descarte devido à falta de separação dos materiais recicláveis e orgânicos, ocasionadas pela população. Dessa forma, os plásticos e outros compositores do lixo reciclável acabam não tendo seu devido tratamento, prejudicando o meio ambiente. Muitas vezes, também, povos ribeirinhos não possuem a correta instrução de descarte do lixo, e este acaba nos rios, ferindo a fauna pluvial e, posteriormente, a fauna marinha. Toda a situação é agravada por conta da precária conscientização e imposição do governo relacionada ao descarte incorreto de lixo (SILVA; MARMONTEL, 2009, p. 106).

3.2 BIOPLÁSTICO

Por conta das propriedades de hidrofobicidade e alta massa molar média dos polímeros sintéticos, seu período de degradação total pode chegar a 200 anos, causado pelo dificultoso trabalho das enzimas e microrganismos na superfície do material (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006, p. 811). A partir disso, o estudo sobre uso de biopolímeros para

substituição dos plásticos convencionais tem crescido nos últimos anos e a produção de bioplásticos em 2017 e 2018 foi de 2,06 e 2,11 milhões de toneladas, respectivamente (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2018). Apesar da quantidade, aproximadamente 43% dos bioplásticos produzidos são biodegradáveis, compostos pelos biopolímeros tereftalato de adipato de polibutileno (PBAT), succinato de polibutileno (PBS), ácido polilático (PLA) e polihidroxialcanoato (PHA), enquanto o restante são bioplásticos não biodegradáveis, constituídos por polietileno (PE), politereftalato de etileno (PET), poliamida (PA) e politereftalato de trimetileno (PTT) (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2018).

3.2.1 Métodos para tratamento de resíduos plásticos e biodegradação

De forma a diminuir o acúmulo de plástico resultante do consumo rotineiro, são realizados três tipos de técnicas: incineração, aterros sanitários e reciclagem. As desvantagens apresentadas no primeiro método envolvem as altas despesas nos fornos de queima do produto e liberação de gases tóxicos poluentes, como HCl e CO₂. Nos aterros sanitários são acumuladas grandes quantidades de matéria que, devido ao processo de decomposição do plástico, também ocorre a liberação de CO₂, contribuindo ao efeito estufa. Agora, a reciclagem consiste na reutilização do material plástico para outros fins comerciais, exigindo processos de seleção e limpeza dos resíduos. Desta forma, colaborando na diminuição dos detritos no meio ambiente, assim como resultados positivos financeiramente, visto que plásticos fabricados a partir da reciclagem custam aproximadamente 50% do valor daqueles obtidos de polímeros puros (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006, p. 811).

Ainda há o processo natural de degradação do plástico, que ocorre através da ação de microrganismos na superfície do polímero e existem diversos fatores envolvidos para que isto ocorra, como umidade, temperatura, pH, oxigênio, luz e nutrientes orgânicos (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006, p. 812). Durante o processo ocorrem três etapas essenciais para que o material polimérico retorne à matéria orgânica. São estas: biodeterioração, que consiste na modificação química e/ou física do produto, ocasionada pela presença de microrganismos dentro ou na superfície do polímero; biofragmentação, a qual é a transformação de polímeros em monômeros e oligômeros (polímeros com baixa massa molecular) por conta dos efeitos dos microrganismos; e a assimilação, etapa final que garante a conversão do carbono provindo dos plásticos em CO₂, água e biomassa, processo realizada pela absorção de energia, carbono e fontes de nutrientes pelos microrganismos (EMADIAN; ONAY; DEMIREL, 2016, p. 527).

Pesquisadores da década passada realizaram estudos comparando o tempo de biodegradabilidade de tipos de materiais bioplásticos, tanto os feitos a partir fontes sustentáveis quanto os derivados de fontes fósseis, em ambientes distintos, ou seja, terrestres e aquáticos. Com os resultados obtidos, analisando outros fatores de aplicação no mercado, é possível prever, dessa forma, qual pode ser o melhor tipo de biocomposto ao ser utilizado na indústria, dependendo de qual for ela. A pesquisa explicita a importância do processo de compostagem dos polímeros, que, de acordo com a *American Society for Testing and Materials* (ASTM D6400-04, 2004)

O plástico compostável é aquele que passa por degradação através de processos biológicos durante a compostagem para produzir dióxido de carbono, água, compostos inorgânicos e biomassa a uma taxa consistente com outros materiais compostáveis conhecidos, não deixando resíduos visualmente distinguíveis ou tóxicos.

Ou seja, este tipo de ambiente de compostagem para a biodegradação dos polímeros é altamente eficaz e sem resíduos significativos. A tabela 1 mostra o tempo requerido para decomposição de cada tipo bioplástico.

A partir destas informações, é possível notar como a biodegradação no ambiente de solo terroso tem tendência à facilitação do processo devido à sua vasta quantidade de microrganismos presentes no substrato. Uma característica importante para o processo de degradação na terra é a escala de pH, contudo, em ambientes aquáticos foi observado uma influência maior nos níveis de temperatura e formato dos objetos à serem decompostos (EMADIAN; ONAY; DEMIREL, 2016, p. 530-531).

Tabela 1. Biodegradação dos bioplásticos em diferentes ambientes.

Fontes	Nome do bioplástico		Tipo de ambiente	Condições	Método de biodegradabilidade	Biodegradabilidade (%)	Tempo (dias)
Fonte renovável	PLA	PLA	Composto	58°C	Produção de CO ₂	13	60
		PLA	Composto	58°C, pH-8.5, umidade 63%	Produção de CO ₂	84	58
		PLA	Composto	Umidade 70%, 55°C	Produção de CO ₂	~70	28
		PLA	Composto	Aeróbico, 58°C, umidade 60%	Perda de peso	60	30
		PLA	Material sintético contendo composto	Aeróbico, 58°C	Perda de peso	63.6	90
		PLA	Material sintético contendo composto	58°C	Perda de peso	100	28
		PLA	Solo terroso	Umidade 30%	Perda de peso	10	98
		PLA	Inóculo de uma estação municipal de tratamento de água residual	30°C, aeróbico	Perda de peso	39	28
		PLA (em pó)	Solo terroso	25°C, umidade 60%	Perda de peso	13.8	28
		PLA/PFF/amido (80/5/15%)*	Composto	58°C	Produção de CO ₂	53	60
		PLA/NPK (63.5/37.5%)	Solo terroso	30°C, umidade 80%	Perda de peso	37.4	56
		PLA/NPK/EFB (25/37.5/37.5%)	Solo terroso	30°C, umidade 80%	Perda de peso	43	56
		PLA/madeira macia (70/30%)	Composto	Aeróbico, 58°C, umidade 60%	Perda de peso	40	30
		PLA/milho (90/10%)	Material sintético contendo composto	Aeróbico, 58°C	Perda de peso	79.7	90
		PLA/fibra se sisal (60/40%)	Solo terroso	Umidade 30%	Perda de peso	> 60	98
		PLA/PHB (75/25%)	Material sintético contendo composto	58°C	Perda de peso	100	35
	PHA	PHB	Solo terroso	–	Perda de peso	64.3	180
		PHB	Cultura microbiana do solo terroso	–	Perda de peso	~18	18
		PHB	Solo terroso	Condições reais (~20°C)	Perda de peso	98	300
		PHA	Solo terroso	35°C	Perda de peso	35	60
		PHA	Solo/composto (90/10%)	25°C, umidade 65%	Produção de CO ₂	40-50	15
		PHA	Solo terroso	Umidade 60%, 20°C	Produção de CO ₂	48.5	280
		PHB	Composto	58°C	Produção de CO ₂	79.9	110
		PHB	Composto	Umidade 70%, 55°C	Produção de CO ₂	~80	28
		PHB	Água do mar	25°C	Biodegradabilidade BOD	80	14
		PHB	Água do mar	Incubação estática, 21°C	Perda de peso	99	49
		PHB	Água do mar	Incubação dinâmica, 12-22°C, pH 7.9-8.1	Perda de peso	30	90
		PHBV	Água do mar	Incubação estática, 21°C	Perda de peso	99	49
		PHBV	Água do mar	Incubação dinâmica, 12-22°C, pH 7.9-8.1	Perda de peso	30	90
		PHB	Água do rio	Condições reais (~20°C)	Perda de peso	43.5	42
		PHB	Sedimento da água salobra	32°C, pH = 7.06	Perda de peso	100	56
		PHB	Água marinha	28.75°C (temperatura média), pH 7-7.5	Perda de peso	58	160
		PHB/CAB (50/50%)	Solo terroso	–	Perda de peso	31.5	180
		Poli(3-hidroxibutirato)-co-(3-hidroxivalerato)	Cultura microbiana do solo terroso	–	Perda de peso	~41	18
		PHA/Casca de arroz (60/40%)	Solo terroso	35°C	Perda de peso	> 90	60
		Amido	Bioplástico (feito com amido da batata)	Composto	Aeróbico, 58°C	Perda de peso	~85
	Bioplástico de amido		Solo terroso	Umidade 60%, 20°C	Produção de CO ₂	14.2	110

Fonte renovável	Celulose	Bioplástico mater-bi	Água marinha com sedimentos	Condições reais (~20°C)	Biodegradabilidade BOD	68.9	236
		Bioplástico mater-bi (60% amido/40% resina)	Composto	Umidade 55%, aeróbico, 23°C	Perda de peso	26.9	72
		Acetato de celulose (produzida de fibras)	Mistura de resíduos sólidos municipais	–	Perda de peso	44	14
		Acetato de celulose (produzida de <i>linters</i> de algodão)	Mistura de resíduos sólidos municipais	–	Perda de peso	35	14
	PA	Pano de esponja (a partir de celulose)	Material sintético contendo composto	Aeróbico, 55°C	Perda de peso	> 80	154
		Nylon 4 (Poliamidas, renovável)	Água do mar	25°C	Biodegradabilidade BOD/perda de peso	80/30	25/21
		Nylon 4 (Poliamidas, renovável)	Solo compostado	25°C, umidade 80%, pH 7.5-7.6	Perda de peso	100	120
Fonte fóssil	PBS	PBS	Composto	Aeróbico, pH 7-8, 58-65°C, umidade 50-55%	Produção de CO ₂	90	160
		PBS (filme)	Solo terroso	25°C, umidade 60%	Perda de peso	1	28
		PBS (em pó)	Solo terroso	25°C, umidade 60%	Perda de peso	16.8	28
		PBS/soja (75/25%)	Composto	Aeróbico, pH 7-8, 58-65°C, umidade 50-55%	Produção de CO ₂	90	100
		PBS/canola (75/25%)	Composto	Aeróbico, pH 7-8, 58-65°C, umidade 50-55%	Produção de CO ₂	90	100
		PBS/glúten de milho (75/25%)	Composto	Aeróbico, pH 7-8, 58-65°C, umidade 50-55%	Produção de CO ₂	90	100
		PBS/ <i>switchgrass</i> (75/25%)	Composto	Aeróbico, pH 7-8, 58-65°C, umidade 50-55%	Produção de CO ₂	90	170
		PBS/amido (filme)	Solo terroso	25°C, umidade 60%	Perda de peso	7	28
		PBS/amido (em pó)	Solo terroso	25°C, umidade 60%	Perda de peso	24.4	28
	PCL	PCL	Inóculo de uma estação municipal de tratamento de água residual	30°C, aeróbico	Perda de peso	7.6	28
		Amido/PCL	Inóculo de uma estação municipal de tratamento de água residual	30°C, aeróbico	Perda de peso	53	28
		PCL	Composto	55°C	Produção de CO ₂	38	6

Fonte: Emadian, Onay, Demirel (2016).

3.2.2 Desvantagens do uso de bioplástico

Como foi apresentada, a vantagem da utilização de bioplástico é principalmente aquela relacionada ao viés ambiental. Porém, como afirma Nonato, Mantelatto e Rossell (2001, pg. 2), sem condições dispostas, a biodegradabilidade torna-se descartável aos processos já existentes por diversos fatores. Por conta disso, as pesquisas envoltas na utilização de bioplásticos se fazem limitadas, por exemplo, com os escassos testes realizados na aplicação dos biopolímeros às condições industriais (pinturas de proteção do material, transporte, etc.) remete ao desconhecimento da reação dos produtos nestes ambientes os quais estarão expostos.

Apesar disso, existem algumas pesquisas acadêmicas já conseguem incluir uma aplicação prática dos bioplásticos, mais especificadamente o polihidroxibutirato (PHB), e mostram-se eficazes na indústria de embalagens de produtos de limpeza, higiene, cosméticos e outros produtos farmacêuticos (COUTINHO, 2004, p. 77). Outras pesquisas também demonstram aplicações nas embalagens de alimentos utilizando de forma conjunta os biocompósitos PLA e PHB, incluindo técnicas do uso de nanotecnologia que, por conta de suas propriedades de barreira altamente eficazes, protegem mais satisfatoriamente os alimentos nas questões de armazenamento e transporte, além do prolongamento de conservação (ARRIETA *et al.* 2017, p. 19).

Mesmo contando com estes benefícios, esses materiais são de alto custo de produção e oferecem pobres propriedades mecânicas, como na flexibilidade necessária nos produtos finais. Em comparação de produção, torna-se viável o uso do material composto de fontes fósseis, além de que o rendimento do produto final é notoriamente vantajoso. Exemplificando, dessa forma, utilizando a cana-de-açúcar, já que seu cultivo no Brasil é extremamente viável e econômico, é possível fabricar PHB a partir de açúcar, visto que a partir desta matéria-prima o custo é extremamente inferior às outras e o processo da sintetização do açúcar em biopoliéster ocorre de forma biológica. Além disso, o processo utiliza resíduos resultantes do cultivo da cana, caracterizando um benefício verticalizado dado a quantidade de produtos que são possíveis extrair da monocultura, como o próprio açúcar e combustível (NONATO; MANTELATTO; ROSSELL, 2001, p. 2-3).

O processo com custeamento mais vantajoso foi o realizado utilizando a cana como fonte renovável, sendo a sacarose utilizada como substrato, com preço de US\$2,65 por quilo de PHB, com planta de 100.000 toneladas por ano de rendimento (NONATO; MANTELATTO; ROSSELL, 2001, p. 4). Utilizando outros tipos de substratos o preço do

PHB pode chegar a US\$16/kg, aproximadamente 18 vezes mais caro que alguns plásticos de fontes não renováveis, como o polipropileno (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006, p. 812).

A outra desvantagem apresentada é sua limitação mecânica para algumas aplicações industriais, e uma solução adequada a este empecilho é o reforço das matrizes poliméricas utilizando fibras, neste caso, fibras naturais. As fibras sintéticas foram descartadas do projeto devido seu propósito ambiental, além da vantagem econômica na utilização de materiais ecológicos (NEVES *et al*, 2016, p. 643). Como alternativa de solução, o uso de fibras proporciona propriedades de flexibilidade, resistência e térmica aperfeiçoadas, e com isto é possível abranger as áreas de aplicações dos bioplásticos (WRETFORS *et al*, 2009, p. 259).

3.3 UTILIZAÇÃO DE FIBRAS *HEMP* EM DIFERENTES MATRIZES BIOPOLIMÉRICAS

3.3.1 Cânhamo

Segundo as pesquisas de Christian no livro *Industrial applications of natural fibres: structure, properties and technical applications* (2010) o cânhamo é matéria-prima valiosa à um vasto nicho de aplicações industriais, podendo ser cultivada em condições ambientais extremamente distintas, além de sua ótima adaptação climática, mostrando-se bastante eficaz na região europeia onde pode ser encontrada a maior parte do cultivo do cânhamo industrial. O cânhamo também é conhecido por suas fibras capazes de oferecer alta resistência mecânica, geralmente é usada na fabricação de cordas e tecidos.

Durante milhares de anos, agricultores de cânhamo selecionavam as terras com base na duração do período vegetativo, podendo-se notar o rendimento de cada espécie em relação ao clima. Mas com o passar do tempo algumas limitações genéticas e jurídico-legais também foram encontradas. Por conter substâncias psicoativas como o tetraidrocanabinol (THC), o cultivo do cânhamo foi restrito por questões legais, apesar que a quantidade contida não é suficiente para uso medicinal ou recreativo.

Para atender as regulamentações europeias, tem sido dedicado muito esforço a redução do THC no cânhamo, mas com a perda de genótipos tradicionais e a escassez de pesquisas para identificar genótipos novos e superiores, a possibilidade de expansão do cultivo do cânhamo ainda é limitada. Sendo necessária a seleção de genótipos adequados ao ambiente onde será cultivada, tendo em vista a qualidade otimizada das fibras como matéria-prima.

Pode-se dizer que a escassez de pesquisas relacionadas ao cânhamo é dada ao longo período de desinteresse em usá-lo como matéria-prima, passando quase um século esquecido

para fins industriais. Sendo readotado apenas ao final dos anos 80 pela indústria têxtil, como alternativa ao linho. Outro fator que determinou o interesse no uso do cânhamo foi a adequação aos sistemas agrícolas modernos. Tornando-se interessante até fora da indústria têxtil. Apesar de estudos para o uso não têxtil serem promissores, esse processo ainda está em fase de prototipagem, porém grande parte do processo é muito semelhante, sendo basicamente separado em três partes:

- **Plantio:** como já foi dito, é selecionado sementes com genótipo compatível com cada região e seu clima. Outro fator considerado importante é a densidade de plantas por metro quadrado, refletindo no rendimento das fibras. Portanto pode-se considerar a densidade ideal para o cultivo do cânhamo a taxa de 10 plantas por metros quadrado. A taxa mais baixa para destino não têxteis é de 90 plantas por metro quadrado, podendo ser usada na produção do papel. Pensando em maximizar o rendimento das fibras, o tempo para plantio deve ser definido em plena floração. Pois tradicionalmente a colheita do cânhamo era feita em um tempo curto de cultivo, onde atualmente podemos classificá-la como uma planta jovem. Portanto o adiamento da colheita após o final da floração resulta em uma proporção maior de fibras lignificada, provém uma boa melhora no caule, o que é considerado um fator positivo.
- **Colheita:** nas últimas décadas foi necessário um desenvolvimento substancial na mecanização da colheita para reduzir o trabalho manual e minimizar o custo de processamento do caule. Levando a dois tipos de colheita; a com máquinas tradicionais e a com máquinas criadas especificamente para o cânhamo. O sistema tradicional de máquinas com barra corte simples são usadas há décadas para colher *hemp* industrial, e apesar de funcional, não são consideradas o ideal, pois é necessário uma máquina auxiliar para recolher o cânhamo recém-cortado. Pensando na eficiência e total aproveitamento do caule a imprensa alemã Wittrock Landtechnik desenvolveu uma linha de máquinas vendidas como Hemp Cut 4500, capaz de colher o caule cortando entre 600 e 700 milímetros acomodando o cânhamo diretamente em um tambor.
- **Processamento:** após a colheita é recomendado a retificação e secagem das hastes, e deve ser feito em um ambiente com umidade menor que 20%. Terminado este processo de retificação, são usadas enfardadeiras agrícolas com pequenas modificações para impedir o acondicionamento de fibras. Esses cuidados são importantes para manter as propriedades mecânicas da fibra. Os fardos de cânhamo

são levados a instalações industriais onde é feita a purificação, nessa etapa de limpeza as camadas do caule são afrouxadas resultando apenas as fibras, em seguida é feita uma segunda limpeza retirando impurezas remanescentes e outros vestígios de tecido não fibroso. Por fim é direcionado ao pós-processamento com diferentes destinos.

3.3.2 Aplicações

Tendo em mente as pobres propriedades mecânicas de alguns bioplásticos, estudos envoltos no uso de fibras naturais em matrizes biopoliméricas tornaram-se foco de pesquisas acadêmicas e industriais, e as fibras com um dos melhores potenciais de aplicação nas condições previstas são as fibras *hemp*. Aplicações na área da construção, automotiva e até mesmo de embalagens já vêm sendo desenvolvidas, principalmente na última década (SHAKOOR *et al*, 2013, p. 2). Devido sua vasta utilização no mercado, vantajosos rendimentos das colheitas e uso de praticamente todos os recursos proporcionados pela *Cannabis sativa* L., vem a ser interessante o uso do cânhamo industrial nesse mercado, apesar dos vieses ocasionados pela proibição e preconceitos enraizados no Brasil.

Como mostram as pesquisas de Shakoor *et al* (2013), a aplicação de 0 a 30% (*wt%*) de fibras naturais em matrizes de PLA implicam no aperfeiçoamento das propriedades mecânicas e viscoelásticas. As fibras de cânhamo são picadas e fundidas em PLA seco através de um processo de centrifuga a 60 rpm; para os testes de análise mecânica de tração e dinâmica foram realizadas compressas a 180°C, de 10 a 12 toneladas por três minutos, logo depois o resfriamento pelo mesmo tempo e pressão. As dimensões das amostras de teste são 64 mm comprimento x 12 mm de largura x 3 mm de espessura. Técnicas de tração e termomecânica padronizadas foram utilizadas para alcançar os resultados, que mostraram melhorias na questão de modulação de tração e no armazenamento da energia mecânica, na forma de energia potencial elástica, ambas com respostas às quais aproximadamente duplicaram os módulos correspondentes (de 4.10 a 9.30GPa para módulo de tração e 2.28 a 4.60GPa para módulo de armazenamento). Apesar dos resultados positivos nestes aspectos, a resistência a tração diminuiu de 43 para 38MPa quando, em 30% do peso, as fibras *hemp* foram inseridas.

Outros biocompósitos, focados agora para aplicação na indústria automotiva, são o plástico acetato de celulose (CA ou CAP) e o plástico acetato butirato de celulose (CABP). De acordo com Wibowo *et al* (2004, p. 4883), a utilização de plásticos ecológicos são de extrema importância para os produtos automotivos devido a redução no peso dos veículos, motivo pelo qual 75% da energia consumida pelos automóveis são relacionadas diretamente

ao peso destes. Outra razão pela qual é significativa a utilização dos biocompósitos nesta área é a substituição das fibras de vidro, que apresentam custos aproximadamente três vezes mais caro e o dobro do peso das fibras *hemp*.

Os autores apresentam dois processos de fabricação dos bioplásticos feitos a partir de celulose com fibras de cânhamo, são estes: processo de impregnação de pó seguido de moldagem por compressão e extrusão seguida de moldagem por injeção. As amostras de testes possuíam 180 mm comprimento x 140 mm de largura x 15 mm de espessura (WIBOWO *et al*, 2004, p. 4884). Os resultados obtidos em relação às propriedades de capacidade de flexão dos bioplásticos são indicados na figura 2; é possível observar que a adição de fibras de cânhamo prometeu uma resistência à flexibilidade, novamente, duplicada em relação aos compósitos puros.

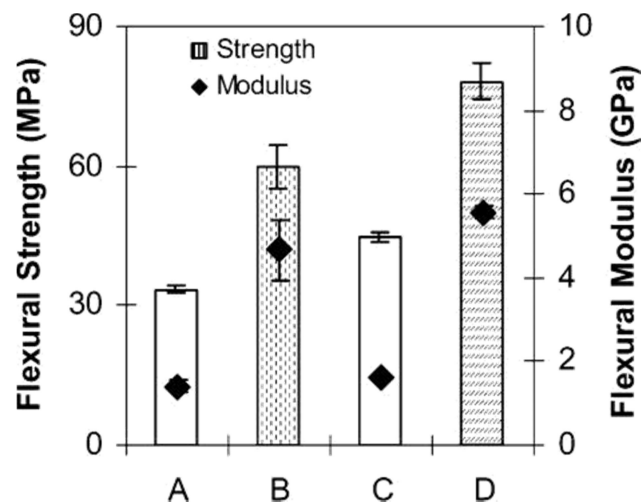


Figura 2. Propriedades de flexão do processamento do pó (processo I) e extrusão seguida de moldagem por injeção (processo II): (A) plásticos CA do processo I; (B) biocompósitos plásticos de CA (30% *hemp*) do processo I; (C) CA plástico do processo II; e (D) biocompósitos plásticos de CA (30% *hemp*) do processo II.

Fonte: Wibowo *et al*, 2004.

Para finalizar a pesquisa dos bioplásticos com matriz celulósica, Wibowo *et al* (2004, p. 4887) compara algumas propriedades com polímeros à base de petróleo, no caso o polipropileno (PP) reforçado com fibras *hemp*, como é ilustrado na figura 3. Ambos compósitos foram fabricados pelo processo de extrusão seguida de moldagem por injeção. Pode-se observar vantagens nas relações de flexibilidade dos materiais à base de fontes renováveis, também se pode contar com características de amortecimento aperfeiçoadas, necessárias na aplicação em automóveis.

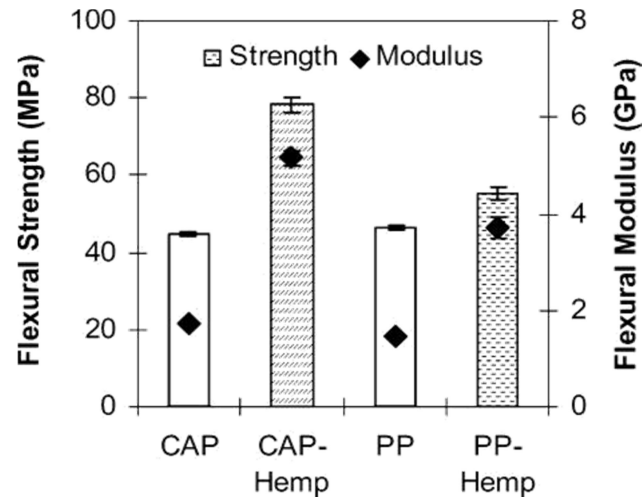


Figura 3. Comparação das propriedades de flexão de compósitos CAP, CAP (30% *hemp*), PP e PP (30% *hemp*).

Fonte: Wibowo *et al*, 2004.

Wretfors *et al* (2009) investigaram o uso de fibras naturais em plástico derivado de glúten de trigo (*wheat gluten* – WG) e obtiveram ótimos resultados nas relações de módulo de Young e tensão de fratura. A utilização de WG plastificado faz-se interessante devido suas características de barreira de oxigênio, ocasionada por sua propriedade de formação de filme na superfície plástica, muito importante para a indústria de embalagens de alimentos, e até mesmo algumas propriedades mecânicas melhoradas em relação a outros bioplásticos. Existem vários processos de fabricação deste material, porém o que se torna mais viável são os métodos de modelagem por compressão e extrusão devido ao seu curto tempo de processamento.

Para a fabricação das amostras de biocompósito foram utilizadas técnicas de moldagem por compressão (130°C, 1600 bar, 5 minutos), e foram selecionadas três tipos de qualidades de fibras *hemp*: baixa, média e alta. As características de qualidade referentes a cada tipo de fibra são diretamente ligadas aos danos que as fibras passam nos processos de colheita, extração e armazenamento. As matrizes foram comprimidas em quadrados de 100 mm por 0.5 mm de espessura para análise de testes. Os resultados obtidos são mostrados na tabela 2.

Tabela 2. Módulo de Young médio e deformação à fratura de plásticos de glúten reforçados com fibras *hemp* contendo diferentes quantidades e qualidades de fibras.

O desvio padrão é mostrado em parênteses.

Tratamento	Módulo de Young (MPa)	Tensão de fratura (%)
Glúten de trigo	23.7 (7.1)	149.2 (15.6)
5% fibra, qualidade baixa	40.6 (13.2)	42.0 (15.7)
10% fibra, qualidade baixa	84.2 (53.1)	21.6 (9.7)
15% fibra, qualidade baixa	108.9 (59.0)	12.6 (4.2)
20% fibra, qualidade baixa	141.9 (52.8)	10.2 (2.3)
5% fibra, qualidade média	45.6 (18.5)	37.3 (14.9)
10% fibra, qualidade média	88.1 (56.4)	18.3 (8.4)
15% fibra, qualidade média	113.2 (65.0)	12.8 (3.9)
20% fibra, qualidade média	228.9 (116.1)	9.2 (4.1)
5% fibra, qualidade alta	41.4 (14.3)	45.9 (17.4)
10% fibra, qualidade alta	82.0 (41.3)	21.7 (12.9)
15% fibra, qualidade alta	143.1 (145.5)	15.8 (9.1)
20% fibra, qualidade alta	227.1 (93.5)	8.6 (2.2)

Fonte: Wretfors *et al*, 2009.

É possível observar o aumento positivo do módulo de Young, que consiste nas propriedades mecânicas de rigidez de um material sólido; através deste, é capaz determinar a relação entre tensão de deformação do material. A tensão de fratura foi um aspecto negativo na adição de fibras naturais no plástico de WG; isso pode se relacionar ao fato da pobre distribuição das fibras na superfície das amostras. A quantidade e qualidade das fibras é diretamente proporcional às estas propriedades do material plástico, porém são necessárias mais pesquisas para uma adesão mais uniforme das fibras na matriz plástica, o que causou este discrepante desvio padrão encontrado. Outra observação foi que o uso de fibras mais curtas proporcionaram uma uniformidade e união no biocompósito mais confiável, apesar disso, a aplicação de fibras em micro ou nano escalas podem obter melhores resultados (WRETFORS *et al*, 2009, p. 265).

4 CONCLUSÕES

O presente trabalho seguiu uma série de revisões bibliográficas que têm como objetivo apresentar soluções práticas para a utilização de bioplásticos reforçados com fibras de cânhamo. A pesquisa de cunho descritivo aqui demonstrada foca nas alternativas para os problemas ocasionados pelo uso de plástico não biodegradável na natureza, e com apresentação de dados numéricos relacionados aos impactos ambientais pretende aplicar outros processos e metodologias para substituir o que são atualmente utilizados, de forma eficaz e sem custeios hiperbólicos.

A ação do homem nos ambientes aquáticos é devastadora, e inúmeras espécies, tanto dos rios quanto mares, foram prejudicadas pela poluição de descarte irregular de plástico. As soluções apresentadas nesta revisão bibliográfica mostraram-se eficazes para a substituição do plástico convencional pelos derivados de materiais ecológicos na área automotiva, de construção e de embalagens diversas, como aplicadas na rede cosmética e alimentícia.

Os resultados obtidos das propriedades mecânicas aperfeiçoadas pelo uso de fibras naturais mostram-se muito satisfatórios, pois comprovam, através de testes padronizados de ensaios mecânicos, que as matrizes poliméricas reforçadas com fibras de cânhamo são ótimas soluções para um futuro próximo. Apesar disso, são necessárias pesquisas utilizando metodologias diferenciadas para a produção dos biocompósitos visto que ainda apresentaram divergências em seus resultados dependendo da matriz polimérica ou quantidade e qualidade de fibras utilizadas no processo.

Outro aspecto interessante a ser discutido é o tempo de biodegradação dos biocompósitos. A inclusão de fibras de cânhamo em algumas matrizes ocasionou a degradação brevemente precoce por conta das suas propriedades biológicas. Em alguns casos, a mistura de matrizes de diferentes fontes resulta no prolongamento de sua biodegradabilidade, e dessa forma é possível aplicar em um maior leque de fins industriais. Devido ao desinteresse da indústria plástica, estudos sobre a utilização de bioplásticos e sobre estes fundidos com cânhamo são escassos, e torna-se dificultoso como seria seu resultado prático aplicado nas condições previstas pelo mercado. Entretanto, em todas as pesquisas, os biocompósitos apresentaram melhoras significativas em suas propriedades mecânicas, apenas exigindo mais ensaios para um resultado mais preciso.

4.1 TRABALHOS FUTUROS

Na pesquisa foi apresentada a produção de PHB a partir da cana de açúcar, matéria-prima em abundância no Brasil. O material resultante é puramente frágil, o que exige um desenvolvimento em suas propriedades mecânicas, que podem ser aprimoradas através da utilização de fibras *hemp*. O custo do PHB produzido a partir do açúcar foi denotado como o mais benéfico para produção, e o cultivo de cânhamo também reproduz essa característica positiva para complementar o processo em geral. Apesar disso, no Brasil o cultivo de cânhamo industrial é proibido devido a uma série de fatores que provêm desde a guerra às drogas, iniciada na década de 70 nos Estados Unidos da América. Por serem geneticamente similares com as plantas matéria-prima das flores para consumo medicinal e recreativo da família *Cannabis sativa*, as plantas de cânhamo entraram no âmbito ilegal, assim como as plantas que propriamente produzem THC e canabidiol (CBD) em porcentagens mais notável. Com estes componentes seria possível investir em um bioplástico com custo mais viável e rendimento de produção mais abundante, produzido integralmente no Brasil.

Outra pesquisa interessante para dar continuidade é a extração de celulose direto das plantas de cânhamo para produção de plásticos nanocelulósicos reforçados com as fibras *hemp*. Neste método, é possível utilizar apenas uma matéria-prima para produzir os bioplásticos, consequentemente com custo mais vantajoso e processo mais rápido, já que não conta com diferentes tipos de cultura. Já existem pesquisas sobre a existência de polímeros associados às paredes celulares presentes nas fibras de cânhamo (BLAKE *et al.* 2008). Com estas informações, seria possível a criação de bioplásticos compostos 100% de *Cannabis sativa* L., caracterizando um processo totalmente inovador e eficaz financeiramente, visto que o custo e rendimento dos plantios de cânhamo são deveras acessíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRIETA, Marina Patricia *et al.* On the use of PLA-PHB blends for sustainable food packaging applications. **Materials**, v. 10, n. 9, p. 1008, 2017.

BLAKE, Anthony W. *et al.* In situ analysis of cell wall polymers associated with phloem fibre cells in stems of hemp, *Cannabis sativa* L. **Planta**, v. 228, n. 1, p. 1-13, 2008.

COUTINHO, B. C. *et al.* A importância e as vantagens do polihidroxibutirato (plástico biodegradável). **Holos**, v. 3, p. 76-81, 2004.

DERRAIK, Jose GB. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. **Marine pollution bulletin**, v. 44, n. 9, p. 842-852, 2002.

EMADIAN, S. Mehdi; ONAY, Turgut T.; DEMIREL, Burak. Biodegradation of bioplastics in natural environments. **Waste management**, v. 59, p. 526-536, 2017.

FRANCHETTI, Sandra Mara Martins; MARCONATO, José Carlos. Polímeros biodegradáveis-uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Química Nova**, p. 811-816, 2006.

NEVES, Anna Carolina Cerqueira *et al.* ANÁLISE DO IMPACTO CHARPY EM COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORÇADA COM FIBRAS DE CÂNHAMO. **71º Congresso Anual da ABM - Internacional e ao 16º ENEMET**, Rio de Janeiro, 2016.

NONATO, R.; MANTELATTO, P.; ROSSELL, C. Integrated production of biodegradable plastic, sugar and ethanol. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 57, n. 1-2, p. 1-5, 2001.

PEREIRA, F. C.; OLIVEIRA, A. L.; TURRA, A. Gestão de resíduos sólidos no ambiente marinho: pellets plásticos. **V Simpósio de Oceanografia Brasileira. Oceanografia e Políticas Públicas. Santos, SP**, p. 10-17, 2011.

RITCHIE, Hannah; ROSER, Max. Plastic Pollution. **Our World in Data**, 2018. Disponível em: <www.ourworldindata.org/plastic-pollution>. Acesso em: 16 out. 2019.

SHAKOOR, A. *et al.* Mechanical and thermal characterisation of poly (l-lactide) composites reinforced with hemp fibres. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2013. p. 012010.

SILVA, A. B.; MARMONTEL, M. Ingestão de lixo plástico como provável causa mortis de peixe-boi amazônico (*Trichechus inunguis* Natterer, 1883). **Scientific Magazine UAKARI**, v. 5, n. 1, p. 105-112, 2009.

STEVENS, Christian. **Industrial applications of natural fibres: structure, properties and technical applications**. John Wiley & Sons, 2010.

WIBOWO, Arief C. *et al.* Chopped industrial hemp fiber reinforced cellulosic plastic biocomposites: thermomechanical and morphological properties. **Industrial & engineering chemistry research**, v. 43, n. 16, p. 4883-4888, 2004.

WEYLER, Rex. The Ocean Plastic Crisis. **Greenpeace**, 2017. Disponível em: <www.greenpeace.org/international/story/11871/the-ocean-plastic-crisis/>. Acesso em: 28 set. 2019.

WRETFORS, Christer *et al.* Use of industrial hemp fibers to reinforce wheat gluten plastics. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 17, n. 4, p. 259, 2009.