

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

FERNANDA PEREIRA DE CASTRO NEGREIROS

Avaliação de propriedades de compósitos fabricados com resíduo industrial,
projeto e prospecção de custo de produção de mobiliário urbano com conceito
de economia circular

São Carlos

2020

FERNANDA PEREIRA DE CASTRO NEGREIROS

Avaliação de propriedades de compósitos fabricados com resíduo industrial,
projeto e prospecção de custo de produção de mobiliário urbano com conceito
de economia circular

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Materiais e Manufatura, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro de Materiais e Manufatura.

Orientadora: Profa. Marcia Cristina Branciforti

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos

2020

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

NN385A
a
Negreiros, Fernanda Pereira de Castro
Avaliação de propriedades de compósitos
fabricados com resíduo industrial, projeto e prospecção
de custo de produção de mobiliário urbano com conceito
de economia circular / Fernanda Pereira de Castro
Negreiros; orientador Marcia Cristina Branciforti . São
Carlos, 2020.

Monografia (Graduação em Engenharia de Materiais
e Manufatura) -- Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, 2020.

1. Resíduo industrial. 2. Economia circular. 3.
Mobiliário urbano. 4. Degradação ambiental. 5.
Desenvolvimento sustentável. I. Título.

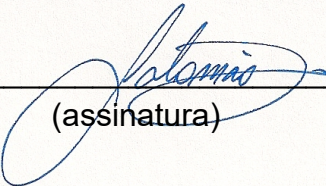
Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Fernanda Pereira de Castro Negreiros
Título do TCC: Estudo da aplicação de compósito fabricado com resíduo industrial em mobiliário urbano considerando economia circular
Data de defesa: 22/05/2020

Comissão Julgadora	Resultado
Professor Associado Marcia Cristina Branciforti (orientador)	APROVADO
Instituição: EESC - SMM	
Professor Doutor Marcelo Aparecido Chinelatto	APROVADO
Instituição: EESC - SMM	
Pesquisador Paula Bertolino Sanvezzo	APROVADO
Instituição: EESC - SMM	

Presidente da Banca: **Professor Associado Rafael Salomão**


(assinatura)

DEDICATÓRIA

À minha família e meus amigos, pelos ensinamentos, carinho e apoio para que eu chegasse até aqui hoje.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Margareth e Reinaldo, por sempre me guiarem em meu caminho, estando do meu lado em todas as circunstâncias.

Aos meus irmãos, Alexandre e Maria Eduarda, por todo carinho e suporte durante esses anos.

Aos meus amigos da USP, em especial, Isabela, Suellen, Maraísa, Camila, Matheus F., Kayque, Pedro, Victor e Yan, por estarem ao meu lado durante essa trajetória, e fazerem desses anos de graduação inesquecíveis.

Aos meus amigos de longa data, Bárbara, Giulia, Allan, Leonardo, Mateus W. e Luísa, por sempre me acompanhar independente do caminho que nossas vidas tomem.

Aos meus amigos de intercambio, em especial, Clara, João, Matheus V., Kaue e Bruno que foram a minha família em Portugal.

À minha orientadora Profa. Dra. Márcia Cristina Branciforti, por toda ajuda e orientação no desenvolvimento do projeto.

Ao técnico Ricardo Gomes Pereira, por me auxiliar e ensinar durante a realização dos ensaios conduzidos nos materiais.

À Paula Sanvezzo, por me permitir continuar uma parte de sua pesquisa e por ter se colocado à disposição para me ajudar sempre que precisei.

Aos meus professores, por todo aprendizado e, à Universidade de São Paulo, pelas oportunidades e estrutura tornando possível a realização da minha graduação.

RESUMO

NEGREIROS, F. P. C. **Avaliação de propriedades de compósitos fabricados com resíduo industrial, projeto e prospecção de custo de produção de mobiliário urbano com conceito de economia circular.** 2020. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Departamento de Engenharia de Materiais, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

O meio ambiente é muito prejudicado em um modelo de produção e consumo no qual a matéria prima advém da extração dos recursos naturais, e o destino final do produto é o descarte. A economia circular apresenta conceitos de ruptura com esse modelo, inserindo o equilíbrio entre aspectos ambientais, sociais e econômicos. A reinserção de resíduos no processo produtivo é incentivada. O trabalho foi conduzido de forma a estudar o compósito de polipropileno e fibra de juta, fabricado com 50% em massa de resíduo industrial, para aplicação em mobiliário urbano. Para a análise do material em condições de intempéries foi conduzido ensaio de envelhecimento no intemperismo natural, no qual as amostras ficaram seis meses expostas ao meio ambiente, com o propósito de avaliar as propriedades do material antes e depois exposição, foram realizados ensaios visual; espectroscopia no infravermelho; flexão; tração e ângulo de contato. Além disso, foi desenvolvido um projeto de um modelo de banco de praça, utilizando critérios de design sustentável que visam facilitar a reutilização do material ao fim da vida do produto. Os resultados referentes às propriedades mecânicas e de molhabilidade indicam que o polipropileno foi mais afetado pela degradação do que o resíduo. O ensaio de espectroscopia no infravermelho expõe a degradação do material após a exposição ao meio ambiente pela presença de grupos carbonílicos. Referente a produção e comercialização do modelo de banco de praça, foi realizada uma pesquisa de mercado. Informações sobre os modelos comerciais foram comparados com o modelo proposto, demonstrando que critérios utilizados no início do desenvolvimento do produto trazem benefícios ambientais e financeiros. Devido aos inúmeros parâmetros industriais que influenciam no custo de produção, não foi possível concluir de maneira quantitativa o estudo desses valores.

Palavras-chave: Resíduo industrial. Economia circular. Mobiliário urbano.
Degradação ambiental. Desenvolvimento sustentável.

ABSTRACT

NEGREIROS, F. P. C. **Evaluation of properties of composites manufactured with industrial waste, design and costing of production of urban furniture with the concept of circular economy.** 2020. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

The environment is badly affected in a production and consumption model in which the raw material comes from the extraction of natural resources, and the final destination of the product is disposal. The circular economy introduces concepts of rupture with this model, inserting balance between environmental, social and economic aspects. The reinsertion of waste in the production process is encouraged. This work presents the study of a composite made with polypropylene and jute fiber, manufactured with 50% w/w of industrial waste, for the application in urban furniture. For the analysis of the material in weather conditions, a natural aging in weathering test was conducted, in which the samples were exposed for six months to the environment, to evaluate the properties of the material before and after exposure, tests were performed, such as visual; infra-red spectroscopy; flexion; tensile and contact angle. In addition, a project for a bench model was developed, using sustainable design criteria in order to facilitate the reuse of the material at the end of the product's life. The results regarding the mechanical and wettability properties indicate that the polypropylene was more affected by the degradation than the residue. The infra-red spectroscopy test exposes the degradation of the material after exposure to the environment by the presence of carbonyl groups. Regarding the production and commercialization of the bench model, a market research was conducted. Informations about the commercial models were compared with the proposed model, demonstrating that criteria used at the beginning of the product development bring environmental and financial benefits. Due to the numerous industrial parameters that influence the cost of production, it was not possible to conclude the study of these values in a quantitative way.

Keywords: Industrial waste. Circular economy. Urban furniture. Environmental degradation. Sustainable development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Disposição dos corpos de prova para ensaio de envelhecimento no intemperismo natural.....	38
Figura 2 - Esboço indicando o ângulo de contato (θ) entre uma gota líquida em uma superfície sólida	40
Figura 3 - Modelo de banco em Solid Edge	44
Figura 4 - Detalhe dos encaixes do modelo do banco	44
Figura 5 - Corpos de prova em disposição para exposição ao meio ambiente a) antes da exposição b) depois da exposição	47
Figura 6 - Imagens corpo de prova com resíduo PPRMC depois da exposição.....	47
Figura 7 - Imagens corpo de prova sem resíduo PPM depois da exposição	48
Figura 8 - Gráfico com os dados de tensão de ruptura em flexão para as amostras antes e depois da exposição ao meio ambiente	50
Figura 9 - Gráfico com os dados de módulo de elasticidade em flexão para as amostras antes e depois da exposição ao meio ambiente	50
Figura 10 - Imagens da ruptura do corpo de prova sem resíduo PPM no ensaio de tração realizado após a exposição ao meio ambiente	52
Figura 11 - Imagens da ruptura corpo de prova com resíduo PPRMC no ensaio de tração realizado após a exposição ao meio ambiente	53
Figura 12 - Gráfico com os dados de tensão de escoamento para as amostras antes e depois da exposição ao meio ambiente	54
Figura 13 - Gráfico com os dados de deformação na ruptura para as amostras antes e depois da exposição ao meio ambiente	55
Figura 14 - Gráfico com os dados de módulo de elasticidade para as amostras antes e depois da exposição ao meio ambiente	56
Figura 15 - Gráfico de comparação entre ângulo de contato antes e depois da exposição ao meio ambiente	57
Figura 16 - Espectro de FTIR da amostra de PP antes e depois da exposição ao meio ambiente.....	58
Figura 17 - Espectro de FTIR da amostra de PPRMC antes e depois da exposição ao meio ambiente.....	59
Figura 18 - Modelos de bancos comerciais de madeira plástica	60
Figura 19 – Modelo de banco comercial de concreto armado	61
Figura 20 - Modelo de banco comercial de madeira maciça e ferro	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composições em porcentagem em massa das amostras	36
Tabela 2 - Critérios do projeto do banco de praça	43
Tabela 3 - Propriedades mecânicas em flexão antes da exposição ao meio ambiente	49
Tabela 4 - Propriedades mecânicas em flexão depois da exposição ao meio ambiente	49
Tabela 5 - Propriedades mecânicas em tração depois da exposição ao meio ambiente	51
Tabela 6 - Ângulo de contato medido entre água e as amostras depois da exposição ao meio ambiente.....	56
Tabela 7 - Custo de matéria prima	63

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

ACV	–	Análise de Ciclo de Vida
θ	–	Ângulo de contato
APL	–	Arranjos Produtivos Locais
ASTM	–	American Society for Testing and Materials
CE100	–	Circular Economy 100
CONAMA	–	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ε	–	Deformação
FTIR	–	Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier
MOE	–	Módulo de elasticidade
NBR	–	Norma Brasileira
TRM	–	<i>Technology Roadmap</i>
σ	–	Tensão
UV	–	Ultra-Violeta

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	21
2. OBJETIVOS.....	23
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
3.1. Resíduo.....	24
3.2. Reciclagem.....	25
3.3. Economia circular.....	27
3.4. Mobiliário Urbano	33
3.5. Degradação Ambiental	34
4. MATERIAIS.....	36
5. MÉTODOS	38
5.1 Envelhecimento no intemperismo natural	38
5.2. Ensaio de Flexão	39
5.3. Ensaio de Tração	39
5.4. Ângulo de contato	40
5.5. Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)	41
5.6. Modelo de produto.....	41
5.6.1. Desenho do banco	43
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
6.1. Envelhecimento no intemperismo natural	46
6.1.1. Inspeção visual	46
6.1.2. Ensaio de Flexão.....	48
6.1.3. Ensaio de Tração	51
6.1.4. Ângulo de contato.....	56
6.1.5. Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR).....	58
6.2. Mercado do produto	59
6.3. Custos de produção	62
7. CONCLUSÃO	65
REFERÊNCIAS.....	67

1. INTRODUÇÃO

O modelo de economia linear de produção e consumo é um dos maiores inimigos ambientais, pois ele é baseado no conceito de que os recursos naturais e energia são ilimitados e também que o meio ambiente é receptor de resíduos. Esse modelo segue um fluxo em que a matéria prima é extraída, transformada em produto, utilizada e então o produto é descartado. Desse modo, os resíduos são considerados inerentes ao processo produtivo e com a evidência dos problemas ambientais causados pelos mesmos, políticas de gestão de resíduos são exercidas como ação remediativa após a geração dos mesmos (TEIXEIRA, 2005).

Tais medidas encontram desafios conforme esse modelo de produção e de consumo cresce e assim aumenta a quantidade de materiais descartados. Existem vários destinos para resíduos sólidos como incineração, aterro sanitário, lixões e reciclagem. Ainda assim, todas essas soluções podem causar impactos no meio ambiente, como com a produção de chorume que pode gerar contaminação de solos e corpos d'água em locais não tratados como lixões, emissão de gases poluentes com a incineração e também produção de outros resíduos durante processo de reciclagem (FOSTER; ROBERTO; IGARI, 2016).

Os problemas ambientais causados pelo acúmulo de resíduos urbanos e industriais são mais acentuados quando se trata de materiais com longo tempo de degradação no meio ambiente. Os polímeros são uma classe de materiais que está em constante crescimento no mercado atual, principalmente por possuírem boas características para diversas aplicações e baixo custo, porém vêm se mostrando como um problema ambiental por serem resistentes à degradação e encontrados com um alto volume em aterros sanitários. Colocando em evidência a questão ambiental que envolve o fim da vida dos produtos poliméricos, o interesse e estudo em maneiras alternativas de utilização dessa matéria prima com o propósito de diminuir o impacto ambiental se apresenta como uma solução promissora (ZOCH, 2013).

No cenário atual de consumo e considerando que os métodos de destinação dos resíduos não solucionam adequadamente os problemas ambientais, já que podem até mesmo causar outros, se faz necessária a inserção de um novo modelo produtivo que englobe o problema como um todo, não só a parte ambiental, mas

também social e econômica. Nesse sentido, uma prática favorável seria a economia circular.

O modelo de economia circular tem como proposta um fluxo cíclico de produção e consumo. Nesse fluxo, os resíduos são reinseridos no processo produtivo, com isso diminui a extração de material virgem, resultando em benefícios ambientais (FOSTER; ROBERTO; IGARI, 2016). O modelo visa reestruturar as práticas econômicas produtivas, desenvolvendo a sustentabilidade e gerando crescimento econômico. A inserção do mesmo traz consigo conceitos de design, inovação e reeducação da relação da sociedade com o meio ambiente e o consumo. A sua proposta é o rompimento de paradigmas com todos os elementos que abrangem o processo produtivo (LEITÃO, 2015).

O propósito desse trabalho é incitar o pensamento crítico, já no início do desenvolvimento do projeto de um produto, a respeito do destino final dos mesmos, incentivando a economia circular. Ao incorporar esse modelo, todas as etapas do processo produtivo precisam ser redesenhadas levando em consideração a saúde do meio ambiente, aspectos sociais e a viabilidade econômica.

O presente trabalho estuda a possibilidade da utilização de um material compósito, produzido a partir de resíduos de uma indústria de tapetes, para aplicação em mobiliários urbanos. Essa classe de mercado foi estudada como promissora para essa tecnologia (SANVEZZO, 2019), mas, também foi escolhida por ser um campo que está diretamente ligado a ocupação dos espaços públicos e ao bem-estar da sociedade (BARATA et al., 2016). Com isso, o intuito é não apenas trazer para perto da sociedade o modelo de economia circular revelando seus benefícios como modelo econômico, mas também relevar a qualidade dos produtos que pode ser obtida. Para isso, foram utilizados procedimentos que visam o design sustentável, juntamente com estudos sobre resistência mecânica e durabilidade desse material no meio externo.

2. OBJETIVOS

O principal objetivo desse trabalho foi avaliar o uso de materiais compósitos fabricados a partir de resíduo industrial para aplicação em mobiliário urbano. Os objetivos específicos foram: caracterizar as propriedades mecânicas e de molhabilidade dos compósitos expostos à degradação ao intemperismo natural; e projetar o modelo de um banco de praça considerando eco-design e prospectar o custo de produção, utilizando conceitos de economia circular no que diz respeito ao desenvolvimento de produtos sustentáveis.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Resíduo

Desde o princípio, os recursos naturais são utilizados ou transformados em produtos resultando na geração de resíduos, e estes sempre foram descartados sem preocupação. Com o surgimento da indústria e depois com a revolução industrial, que tinha como principal objetivo crescimento econômico, novos processos produtivos foram criados com exploração extensiva de matéria-prima e energia. Essa nova dinâmica atingiu o crescimento econômico, mas também desencadeou problemas ambientais e sociais, os resíduos (CASAGRANDE et al., 2008).

A crescente preocupação com os danos causados por esses resíduos e com o meio ambiente é evidenciada com o aumento do interesse do público em marcas com marketing voltado para questões ambientais, com o aumento das empresas e organizações dedicadas ao tema e com as políticas e leis vigentes. Dentro da legislação brasileira e normas podemos citar a Constituição Brasileira Artigo 225 trazendo a proteção ao meio ambiente, a Lei 6.398/81 com a Política Nacional do Meio Ambiente e resoluções do CONAMA 257/263 e 258 – Conselho Nacional do Meio Ambiente (KRAEMER,2005). Portanto, o desenvolvimento de pesquisas e trabalhos a fim de reinserir esses resíduos ou dar um destino ecologicamente correto é de extrema importância e necessidade.

Os resíduos são o resultado de diversas atividades que ocorrem em uma região, podem ser apresentados nos estados sólido, líquido ou gasoso. Podem ser classificados de acordo com suas características físicas, molhado ou seco, quanto as composições químicas, orgânico ou inorgânico, e por fim de acordo com suas origens, urbano, hospitalar, agrícola, industrial, entre outros (KRAEMER,2005).

Os resíduos industriais sólidos são gerados nos mais diversos ramos industriais e podem ser advindos de qualquer etapa produtiva. Esses resíduos são classificados de acordo com a Norma Brasileira – NBR 10.004 em função da periculosidade e dos seus riscos potenciais à saúde pública e ao meio ambiente. Resíduos classe I são os resíduos perigosos que apresentam características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogeneidade, sendo necessário o tratamento e disposição adequada; Resíduos classe II são os não inertes, potencialmente biodegradáveis, combustíveis ou solúveis em água;

Resíduos classe III são inertes e não combustíveis, não apresentam risco ao meio ambiente e saúde pública (PEREIRA, 2002).

Independente da classificação dos resíduos seus geradores são responsáveis pelo gerenciamento, transporte, tratamento e destinação final dos mesmos. Essas etapas precisam ser bem planejadas para que o resíduo seja removido rapidamente e com destino adequado, ou seja, se eles serão encapsulados, incinerados ou dispostos em aterros industriais. Existe também as possibilidades de reciclagem ou reutilização, mas nem todos os resíduos podem ser encaminhados a esses destinos (PEREIRA, 2002).

Muitas organizações enfrentam adaptações para instaurar medidas de acordo com a proteção do meio ambiente e leis brasileiras, mas a disposição final inadequada de resíduos industriais nos meios urbanos ainda ocorre. Existe a conscientização e almejo de realização de práticas para tratamento de resíduos pelos seus geradores, mas todos esses processos geram custos, o que significa que para tais práticas serem introduzidas é preciso considerar a viabilidade das mesmas analisando as etapas de produção e considerando a competitividade do mercado. Atualmente no Brasil, muitas empresas que competem em termos globais inseriram tais práticas pois para esse mercado muitas vezes são exigidos uma política clara de proteção ao meio ambiente (KRAEMER, 2005).

Medidas de melhoria na qualidade ambiental prevenindo a poluição se referem a qualquer prática que seja destinada a eliminar ou diminuir os danos causados ao meio ambiente e a saúde. Essa diminuição pode ser em termos de volume, concentração ou toxicidade. Tais medidas podem incluir modificações em qualquer esfera do processo produtivo desde os equipamentos, materiais, procedimentos, reformulação ou replanejamento de produtos (FIGUEIREDO et al., 2000).

3.2. Reciclagem

A reciclagem é uma dessas medidas que podem ser tomadas, podendo transformar um resíduo em subproduto ou matéria prima para linha de produção. Essa medida traz benefícios ambientais, como poupar e preservar os recursos naturais e a diminuição de resíduos encaminhados para outros destinos. No âmbito econômico causa redução nos custos de gerenciamento dos resíduos, com menos

manutenção de aterros e incineradoras e diminuição de compra de matéria prima virgem (WAGNER, 2005).

Existem muitas formas de reciclar um material. As empresas podem instalar esse tipo de prática internamente ou na venda dos resíduos para serem incorporados em outro processo produtivo. A reciclagem, principalmente a de polímeros, pode ser englobada em algumas categorias.

Reciclagem Primária, ou reciclagem pré-consumo, utiliza resíduos do processo produtivo, são limpos, não contaminados e facilmente identificados. Reciclagem Secundária, ou reciclagem pós-consumo, é a conversão de resíduos sólidos urbanos, de produtos que já foram comercializados, em produtos que não exigem as mesmas características dos produtos de origem. As reciclagens primária e secundária podem ser englobadas em reciclagem mecânica. Essa é realizada por meio de algumas etapas, sendo elas separação, moagem, lavagem, secagem, reprocessamento e transformação em produto acabado.

Reciclagem Terciária ou química é a produção de insumos químicos ou combustível a partir de resíduos, por meio de processos como solvólise ou métodos térmicos. Reciclagem Quaternária ou energética é o processo de produção de energia a partir de resíduos por meio da incineração controlada (SPINACÉ; DE PAOLI, 2005).

Independente da classificação, qualquer tipo de reciclagem é realizado por meio de diversos processos. As fases de tratamento desse resíduo para obtenção do material reciclado, anteriores à produção do produto final, são muito importantes e dispendiosas. Todas essas etapas necessitam de planejamento e gerenciamento adequado para tornar a reciclagem um processo seguro e desejável. Durante algumas dessas etapas é possível a geração de outros resíduos e produtos tóxicos, por exemplo.

Especificamente sobre a reciclagem de plásticos, as etapas de coleta e separação dos resíduos apresentam dificuldades pois apresentam um alto índice de contaminação, sendo uma das mais críticas e relevantes à qualidade do produto final. Procura-se separar os diversos materiais que podem estar contidos nos resíduos, como pequenas partículas dispersas e diferentes tipos de materiais. As vezes é possível também fazer o tratamento de dois materiais juntos, gerando um novo material, como um compósito (SPINACÉ; DE PAOLI, 2005).

Além do gerenciamento de cada uma das etapas dentro da reciclagem, o sucesso da mesma depende de alguns fatores como o contínuo fornecimento do resíduo em questão, tecnologia de conversão adequada, mercado para o produto reciclado e viabilidade econômica (SPINACÉ; DE PAOLI, 2005). Todos esses fatores são necessários à inserção da reciclagem no meio industrial. Mesmo que a reindustrialização dos resíduos sólidos seja uma prática ambientalmente benéfica, e muitas vezes as empresas se beneficiam de tal discurso sendo uma atividade bem aceita pelos consumidores em algumas áreas, esse não é o objetivo principal. O objetivo principal de qualquer empresa comercial é o lucro, ou seja, ter uma reprodução ampliada do capital empregado (LEAL et al., 2015)

Com o propósito de que a reciclagem seja viável, é preciso planejar todo o processo produtivo industrial, considerando os resultados ambientais e lucrativos do mesmo. A economia circular vem com essa proposta para esse processo de reciclagem e reinserção industrial dos materiais. Mudando o significado do processo produtivo para que a reciclagem não seja vista como uma prática isolada, mas sim inserida no modelo de negócio.

3.3. Economia circular

A economia industrial segue um modelo de extrair, transformar, usar e descartar, conhecido como economia linear, tendo uma abordagem do berço ao túmulo (*Cradle to Grave*). Esse modelo se apresenta com complicações pois depende de recursos naturais finitos, como também é uma das principais causas da poluição e degradação ambiental. Nesse sentido as indústrias procuram agir com ações e tecnologias para controle de poluição, conhecidas como “Tecnologias Fim-de-Tubo” mas estas não evitam o problema, atuam após a sua geração. Ações desse gênero são pouco eficientes e geram grandes gastos financeiros (TEIXEIRA, 2005).

A economia circular pressupõe a ruptura com a estrutura de economia linear ainda utilizada. Essa propõe equilíbrio entre impactos ambientais e benefício financeiro. Um sistema de circuito fechado em que não existe resíduo, tudo é transformado novamente dentro da própria produção, mantendo qualidade do produto e vantagem econômica (SILVA, 2016).

Mesmo que nem todo material possa ser reciclado ou reutilizado, no sistema berço ao berço (*Cradle to Cradle*) impactos ambientais não são admitidos. Nesse

modelo os materiais são divididos em dois grupos, os biológicos e os tecnológicos. Os nutrientes biológicos são desenhados para reinserção na natureza para construção de novo capital natural, e nutrientes tecnológicos devem circular em ciclos sucessivos sendo desmontados e recuperados, para que não haja o retorno ao meio ambiente (NERY; FREIRE, 2017).

Não há registros de um único criador para o conceito de economia circular, várias publicações e ideias sobre a insustentabilidade do modelo industrial linear foram surgindo. Segundo Meadows et al. (1972), na década de 70 um grupo de pesquisadores com o *“The Limits to Growth”* já introduziam esse conceito. O arquiteto suíço Walter R. Stahel também contribuiu em 1982 com seu artigo *“The Product-Life Factor”* dando forma a economia circular conhecida hoje, definindo um sistema de economia baseado em um circuito fechado (STAHEL, 1982). Depois de alguns anos, o químico alemão Michael Braungart e o arquiteto americano William McDonough publicaram o livro *“Cradle-to-Cradle: Remaking the way we make things”* trazendo inspiração para uma revolução industrial necessária para a aplicação desse conceito (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002).

Na Alemanha na década de 90, a política ambiental incorporou o conceito de economia circular com intenção da utilização de matérias primas e recursos naturais visando um crescimento econômico sustentável. Na China, no final da mesma década, foi promovido um parque eco-industrial e nos anos seguintes o conceito de economia circular foi implementado com atenção voltada à reciclagem pós consumo e à ciclos fechados de resíduos dentro de empresas. A América do Norte e a Europa trazem a visão de economia circular voltada para práticas de redução, reutilização, reciclagem e com estudos voltados para o ciclo de vida de produtos (WINANS; KENDALL; DENG, 2017).

O conceito de economia circular vem historicamente atrelado à vários outros conceitos que têm propostas de melhoria do meio ambiente por intermédio da indústria. A ecologia industrial, por exemplo, discute a relação entre o meio ambiente e a indústria, surgindo com a proposta de se basear em sistemas naturais para implementar atividades industriais. As indústrias dispõem de capitais tecnológicos e humanos que possibilitam o desenvolvimento das mesmas, possuindo um grande potencial para atuar na melhoria ambiental (FOSTER; ROBERTO; IGARI, 2016).

A simbiose industrial propõe um modelo para otimizar ao mesmo tempo o consumo de matéria e energia e proporcionam a diminuição de geração de resíduos.

Utiliza de associação entre indústrias para redução de custo e vantagem competitiva em conjunto com práticas ecologicamente corretas (FOSTER; ROBERTO; IGARI, 2016). Eco-eficiência traz uma maneira de produzir mais, com maior qualidade e menor consumo, fazendo com que seja economicamente vantajoso e diminuindo os impactos ambientais (TEIXEIRA, 2005).

A técnica de análise de ciclo de vida (ACV) também está diretamente ligada à economia circular. Pode ser descrita como uma técnica para avaliar atividades, produtos e materiais do início ao fim da cadeia de produção e posterior uso, no período de sua duração. A ACV se envolve no planejamento da eco-eficiência, analisando os impactos ambientais de cada etapa do processo que envolve o produto, permitindo assim aos projetistas adotarem decisões mais assertivas e ambientalmente corretas durante o desenvolvimento do mesmo. Para que tal análise seja possível, é preciso o uso de metodologias para detalhar exatamente o número de áreas que serão analisadas e quais tipos de análises serão realizadas (TEIXEIRA, 2005).

Repensar no projeto de um produto está muito vinculado ao design do mesmo, para a economia circular é muito importante o conceito de eco-design. Esse é um modelo de desenvolvimento de produtos empregando técnicas que possibilitem o menor impacto ambiental pelo produto e seu processo de produção, de modo a empregar os materiais de forma cíclica mantendo seu valor (FOSTER; ROBERTO; IGARI, 2016). Esses produtos têm a proposta não de ser somente ecologicamente corretos, mas ser de fácil aquisição, atendendo os consumidores em um nível social e cultural, rever padrões de consumo e manter suas características durante todo o processo cíclico (TEIXEIRA, 2005).

No projeto de um produto em relação ao seu design levando em consideração também o ciclo de vida, podem ser feitas análises globais que envolvam não só os processos de produção, mas etapas como transporte, armazenamento, uso, reuso e coleta. O estudo dessas etapas em conjunto com a infraestrutura associada ao produto é conhecido como *Life Cycle Design* (TEIXEIRA, 2005).

[...] o objetivo do Life Cycle Design é o de reduzir a carga ambiental associada a todo o ciclo de vida de um produto. Em outras palavras, a intenção é criar uma ideia sistêmica de produto, em que inputs de materiais e de energia bem como o impacto de todas as emissões e refugos sejam reduzidos ao mínimo possível, seja em termos

quantitativos ou qualitativos, ponderando assim a nocividades de seus efeitos (MANZINI; VEZZOLI, 2002, p. 99).

Todos esses conceitos e técnicas ligados à economia circular evidenciam a importância da reestruturação dos processos produtivos em benefício dos recursos naturais. A economia circular ultrapassa de ações remediativas de gestão de resíduos e reciclagem, em sua proposta traz uma visão mais ampla sendo necessária a implementação de um novo modelo de negócio com um redesenho de processos, produtos e materiais. Visa o desenvolvimento de uma nova maneira de produção sendo economicamente viável e atendendo requisitos de cuidados ambientais, por meio de ciclos fechados otimiza a utilização de recursos, maximiza a reutilização e reduz a quase zero a geração de resíduos (COSTA et al., 2018).

O funcionamento do modelo da economia circular está vinculado com os processos, serviços e produtos. Estes devem ser planejados de forma que propicie a remanufatura e reciclagem pela mesma empresa ou por outras. A principal diferença em relação à economia linear é justamente esse planejamento prévio em todos os quesitos da produção permitindo processos cíclicos e ciclo de vida mais longos (FOSTER; ROBERTO; IGARI, 2016). Esse novo olhar para cadeia produtiva traz benefícios operacionais e estratégicos, muitas oportunidades de inovação, criação de empregos, estimula o processo de crescimento de maneira consciente trazendo qualidade ambiental e social. Esse novo modelo rebate a ideia de que o crescimento industrial é prejudicial ao ambiente (LEITÃO, 2015).

A transição para esse modelo da economia circular é algo desafiador, exige uma mudança sistêmica que envolve não só a organização, mas também níveis de pesquisa e a sociedade. Novos conhecimentos e habilidades permeiam áreas além da ciência e engenharia, como em publicidade, design e área digital, sendo importante levar a gestão em uma nova direção (LEITÃO, 2015). Considerando esses aspectos, a economia circular requer transformações na educação, valores e comportamento dos produtos e consumidores (FOSTER; ROBERTO; IGARI, 2016).

A função de regulamentar as ações para conduzir a uma transição à economia circular é do Poder Público juntamente com as empresas, mas além disso cabe a ele a discussão em nível socioeconômico e científico. Direcionar melhor a aplicação dos recursos públicos em áreas de desenvolvimento promove uma mudança fundamental para o início desse processo. O avanço tecnológico necessário à implementação desse modelo demanda o investimento em pesquisa, o

que prescinde o investimento em educação, em nível técnico e formal, mas também no social e de responsabilidade (AZEVEDO, 2015).

O consumidor tem papel fundamental na utilização e no descarte dos produtos, sendo que essa é uma etapa importante dentro do modelo de economia circular. Uma relação de parceria com o consumidor é possível ao controlar todos os aspectos do produto e criar estratégias de descarte que despertem senso de responsabilidade e fidelização. A empresa Philips é um exemplo nesse caso, além do recolhimento de produtos descartados, adicionaram um serviço de instalação, manutenção e reciclagem, agregando o setor de serviço ao negócio que possibilitou o controle do ciclo de vida do produto (AZEVEDO, 2015).

A relação com o consumidor tem que ir além do estímulo de maneiras de descarte para reuso e reciclagem. O consumidor tem que ser considerado como um dos atores para o cumprimento das metas estabelecidas no acordo setorial, cabe ao Estado, em todos os âmbitos, estabelecer penalidades para o descarte incorreto e realizar fiscalização. Incluindo o consumidor, é necessário que todos os envolvidos sejam responsáveis por esse novo modelo e entendam seu papel dentro do mesmo, para que em conjunto consigam atingir os objetivos com a economia circular (AZEVEDO, 2015).

Existem vários fatores que envolvem esse modelo econômico, muito precisa ser alterado para essa transição. Alguns exemplos de casos de sucesso já podem ser encontrados e avaliados: Na França, foi assinado em 2013 uma convenção para o desenvolvimento de práticas entre empresas parceiras que mudassem as atividades de um fluxo linear para circular, essa iniciativa chama-se *Textiles Recycling Valley* e foi promovida pelo Conselho Regional do Norte da França. O objetivo é aumentar a quantidade de roupa recolhida para reuso na indústria, além disso, incentivar a diminuição da produção de resíduos levando em consideração o fim da vida do produto, repensando desde a etapa de design. Na Escócia, um modelo de economia circular foi inserido na área de reparação e remodelação de eletrônicos e tecnologia da informação na empresa *Re-Tek*, com a finalidade de aumentar a vida útil dos produtos e maximizar o valor econômico. A empresa adotou um modelo para criar uma parceria com seus consumidores por meio de um incentivo financeiro para devolução dos equipamentos usados (LEITÃO, 2015).

Por meio de um estudo feito por Foster, Roberto e Igari (2016) baseado no método de revisão sistemática foi possível avaliar estudos relacionados à temática

de economia circular. Foram selecionadas 28 publicações e analisados: aspectos econômicos, como custo do fechamento do ciclo e benefícios trazidos; aspectos ambientais, como reinserção de material no ciclo produtivo, utilização de energia e água e emissões. A grande maioria dos casos com fechamento de ciclo apresentou ganhos com eficiência ambiental ou econômica, mas é preciso ser considerado que poucos estudos apresentaram tais pontos com grande abrangência.

Cada país com seu sistema político e cultural fez com que a economia circular evolua de maneira diferente. Ainda que o modelo apresente vantagens, sua implementação revela dificuldades. No Brasil esse conceito de economia circular não é novidade e já existem exemplos isolados com essa aplicação. Leis e políticas públicas também reforçam a necessidade da implementação de práticas nesse sentido. Porém, ainda há pouco incentivo por meio do governo com relação às indústrias e a sociedade brasileira também não apresenta uma cultura baseada em sustentabilidade (NERY; FREIRE, 2017).

Segundo Trevisan et al. (2016) não há evidências na literatura de parques ecoindustriais no Brasil, mas iniciativas foram observadas mesmo que sem sucesso. Para que esse modelo de indústria se instale no país, a realidade local deve ser levada em consideração. Um estudo mostra que arranjos produtivos locais, um grupo geograficamente concentrado de empresas inter-relacionadas, são uma estratégia à implementação de práticas que se aproximem da ecologia industrial (OLIVEIRA; FRANÇA; RANGEL, 2018).

Outra iniciativa no Brasil foi feita pela *Ellen MacArthur Foundation*. Ela foi constituída em 2010 para acelerar a transição para uma economia circular, trabalhando com diversos setores para construir uma estratégia para economia que seja restaurativa e regenerativa por princípio. O *Circular Economy 100* (CE100) é um programa criado para possibilitar que as organizações colaborem entre si, mesmo que sejam concorrentes, para gerar novas oportunidades e realizar os planos em relação à economia circular mais rapidamente. Em outubro de 2015, foi lançado o programa CE100 Brasil criando uma rede entre empresas, governos, academia e organizações para compartilhar e desenvolver conhecimentos, superar desafios e gerar oportunidades rumo à economia circular no Brasil (ELLEN MC ARTHUR FOUNDATION, 2017).

Pesquisas feitas pela *Ellen MacArthur Foundation* em conjunto com o *McKinsey Center for Business and Environment* e a SUN mostram que a adoção de

princípios de economia circular em alguns países pode ter grandes impactos no produto interno bruto dos mesmos a longo prazo. Assim, conclusões preliminares mostram que no Brasil, com suas características mercadológicas, sociais e de capital natural, essa prática teria impactos gerando oportunidades de inovação e criação de valor. Todas as economias apresentam oportunidades e desafios, na economia circular o papel da tecnologia e soluções digitais apresenta uma grande importância, que se fosse mais investida no Brasil poderia alavancar seu desenvolvimento. Três setores específicos como edifícios e construções, agricultura e equipamentos eletroeletrônicos foram apontados como oportunos para essa transição econômica (ELLEN MC ARTHUR FOUNDATION, 2017).

O cenário ideal é a elaboração de ações concretas por meio de todos os atores, o governo, empresas e sociedade, para atingir o modelo de economia circular. A conscientização de que esse modelo pode ser vantajoso não só em termos ambientais, mas em muitos outros aspectos é fundamental para consistência das práticas a esse favor. Num cenário mais realista, essa mudança apenas ocorrerá com o auxílio de obrigações e penalidades (AZEVEDO, 2015).

3.4. Mobiliário Urbano

O termo mobiliário urbano é muito discutido na literatura, existem muitas definições e conceitos relacionados a esse termo. Porém, para os fins do estudo em questão será considerado mobiliário urbano como todo objeto implementado no espaço público que faz parte da paisagem urbana e assim contribui para fins estéticos, culturais e funcionais, tendo que cumprir algum tipo de função. Esses objetos podem auxiliar para segurança, prestação de serviço, conforto da população, sinalização, como também contribuir para construção social e cultural do local em que estão inseridos (JOHN; LUZ REIS, 2010). Além de desempenhar as funções citadas, exerce uma grande influência nos espaços públicos atuando na intervenção urbanística sendo um fator relevante na valorização desses espaços, assim transformam paisagens e atribuem outros significados aos lugares (MONTENEGRO, 2005).

Essa influência que exercem ocorre principalmente por conta da relação que assumem com o ambiente e com os outros tipos de mobiliários urbanos inseridos no mesmo local. Esses elementos são muitas vezes escolhidos por meio de catálogos

comerciais e sem uma atenção maior no que se refere à compatibilidade com seu entorno e usuários. Portanto, é favorável que tal relação seja considerada ao serem estabelecidos os mobiliários e os locais a serem instalados, da mesma forma, tais aspectos devem ser considerados durante todo o projeto dos mesmos (JOHN; LUZ REIS, 2010).

Esses objetos fazem parte da cidade e de sua história, seu desenvolvimento acompanha o desenvolvimento das mesmas, seguindo as mudanças sociais, costumes e o processo de modernização. Portanto, a relação com a sociedade tem que ser um requisito no projeto desse tipo de produto. Entretanto, assim como outros produtos, esse possui uma vida útil e pode necessitar de manutenção, portanto, as condições de resistência e durabilidade do mesmo são questões que fazem referência a qualidade visual como também do tipo de prestação do serviço público e sua gestão (MONTENEGRO, 2005).

Nesse sentido social, a utilização de materiais reciclados em mobiliários urbanos é uma opção muito condizente com as discussões atuais referentes ao meio ambiente e sua sustentabilidade. Esse tipo de estratégia de inserção desses materiais engloba um modelo de economia circular, que se mostra muito benéfico, como também um apelo à sociedade para maior conscientização da reciclagem, e revela como a partir dela podem ser fabricados produtos que atendam igualmente às funções desejadas com qualidade. Os aspectos técnicos sobre esses materiais não podem ser deixados de lado, tais materiais precisam ter condições que atendam satisfatoriamente as necessidades do projeto desses produtos, apresentando resistência e principalmente para objetos que serão de utilização externa que seja adequado as características climáticas do local.

3.5. Degradação Ambiental

Dentre as possíveis análises para serem feitas em um material para o projeto de um novo produto, encontra-se o estudo do seu comportamento em relação às condições em que o mesmo estará exposto durante sua utilização. Assim, verificando a viabilidade de aplicação desses compósitos em mobiliário urbano, tendo foco para ambientes externos, uma das análises relevantes é o estudo da degradação ambiental que poderia sofrer esse material em suas condições de uso.

Uma definição de degradação pode ser qualquer mudança indesejável nas propriedades do material. Para materiais poliméricos, a degradação é um termo utilizado para se referir à uma serie de reações químicas que podem levar a quebra das ligações da cadeia principal e formação de outras (CANEVAROLO, 2002).

Essa ruptura nas cadeias resulta muitas vezes em alterações físico-químicas, que sucedem de perda de propriedades mecânicas, alterações reológicas, modificações superficiais como amarelamento, fissuramento, perda de brilho e transparência (RABELLO, 2000). Esses parâmetros são de extrema importância em um projeto de produto pois estão relacionados à durabilidade, estética e também atender as funções necessárias para o qual foi projetado.

A degradação de um material pode ocorrer durante o processamento, processo de estocagem e também durante sua utilização. Existem alguns tipos de degradação, durante a exposição em ambiente externo as degradações mais comuns são foto-oxidação, termo-oxidação, hidrólise e ozonólise. Isso ocorre porque em exposição natural ocorre o contato com radiações UV, oxigênio, altas temperaturas, umidade provinda da chuva, vento. Todos esses fatores contribuem juntos para a degradação dos materiais (RABELLO, 2000).

4. MATERIAIS

Os materiais ensaiados foram fabricados por Sanvezzo (2019). Esses materiais foram produzidos a partir de um resíduo industrial que foi cedido pela empresa Tapetes São Carlos. O resíduo é proveniente de um processo de fabricação de componentes automotivos. Esses componentes foram produzidos por termoprensagem de fibra de polipropileno e fibra de juta com uma matriz de polipropileno, resultando em um compósito com aproximadamente 40% em massa de fibras de juta e 60% em massa de polipropileno (Sanvezzo, 2019).

Foram utilizadas seis amostras com composições diferentes, descritas na Tabela 1. O polipropileno homopolímero reciclado utilizado foi cedido pela empresa Polikem e o *masterbatch* produzido com nanocarbonato de cálcio em polipropileno. A nomenclatura utilizada mostra que as letras presentes no nome da amostra são a presença desse componente na mesma, sendo PP=Polipropileno; M=Masterbatch (PP+N, sendo N=Nanocarbonato de cálcio); R=Resíduo; e C=Compatibilizante;.

Tabela 1 - Composições em porcentagem em massa das amostras

Amostra	Polipropileno [%]	Resíduo [%]	Nanocarbonato de cálcio [%]	Compatibilizante [%]
PP	100	-	-	-
PPM	90	-	10	-
PPR	50	50	-	-
PPRC	49	50	-	1
PPRM	40	50	10	-
PPRMC	39	50	10	1

Fonte: Sanvezzo (2019).

5. MÉTODOS

5.1 Envelhecimento no intemperismo natural

Materiais expostos ao ambiente se degradam por processos químicos ou físicos. O tempo de degradação depende da natureza do material. Para materiais como rochas seu tempo de vida pode ser de milhões de anos, no caso de certos polímeros notam-se mudanças causadas pela degradação em apenas alguns dias. O estudo dessa degradação é importante para estimar o tempo de vida em serviço do material (FELDMAN, 2002).

O ensaio de envelhecimento no intemperismo natural foi conduzido segundo a norma ASTM D1435-13. Em um cavalete foram dispostos 60 corpos de prova com dimensões de 167x12,7x3,2mm, sendo 10 de cada composição, o qual foi fixado com a face posterior para o norte, a 45° com a horizontal, na posição geográfica 21°59'54.2"S 47°55'39.7"W. O ensaio teve duração de 24 semanas, sendo necessário o monitoramento durante esse período para garantir o seu funcionamento e a qualidade dos resultados. Após esse período foram retirados todos os corpos de prova para realização de ensaios avaliativos com os mesmos. A Figura 1 ilustra a disposição e fixação dos corpos de prova no início do ensaio.

Figura 1 - Disposição dos corpos de prova para ensaio de envelhecimento no intemperismo natural



Fonte: Próprio autor.

5.2. Ensaio de Flexão

O ensaio de flexão de três pontos consiste na aplicação de uma carga crescente no centro de um corpo de prova apoiado por dois pontos. Durante o ensaio mede-se o valor da carga *versus* a deformação máxima ou a flecha. Os principais parâmetros obtidos nesse tipo de ensaio são a tensão de ruptura, é o valor máximo da tensão de tração ou compressão nas fibras externas do corpo de prova, e o módulo de elasticidade (MOE) (GARCIA; SPIN; SANTOS, 2000).

Os ensaios foram realizados na máquina de ensaio INSTRON 5969 com carga de 5 kN e utilizando o software Bluehill 3, de acordo com a norma ASTM D790-15, seguindo procedimento A. Foram utilizados cinco corpos de prova de cada composição para cada ensaio, as dimensões dos corpos de prova foram de 70 x 12,7 x 3,2 mm com distância entre os apoios de 50mm e velocidade de descida de 2 mm/min.

5.3. Ensaio de Tração

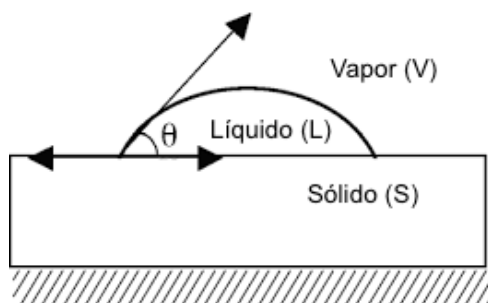
O ensaio de tração é realizado em um corpo de prova com geometria específica e consiste na aplicação de uma carga de tração uniaxial crescente no mesmo. Durante o ensaio mede-se a variação do comprimento do corpo de prova como função da carga aplicada, utilizando tais informações obtêm-se uma curva de tensão (σ) *versus* deformação (ϵ). A partir desse ensaio e da sua curva característica é possível obter algumas propriedades do material ensaiado nessas condições, as principais são o limite de resistência à tração, limite de escoamento e módulo de elasticidade (GARCIA; SPIN; SANTOS, 2000).

Os ensaios foram realizados na máquina de ensaio INSTRON 5969 utilizando o software Bluehill 3 segundo a norma ASTM D638-10, com velocidade de 5 mm/min até 20% de deformação e 100 mm/min até a ruptura. Foram ensaiados no mínimo 5 corpos de prova de cada composição, com dimensões de 167 x 12,7 x 3,2 mm.

5.4. Ângulo de contato

Molhabilidade é o estudo das interações intermoleculares do contato do sólido com o líquido. Uma gota líquida depositada sobre uma superfície sólida se forma com um ângulo de contato (θ) na interação do sólido, líquido e gás, Figura 2. Se as forças coesivas entre as moléculas do líquido são mais fortes do que as forças adesivas entre as moléculas sólidas e líquidas então o líquido evita o contato com a superfície formando ângulo de contato maior do que 90° , por outro lado, se as forças adesivas superarem as coesivas entre moléculas do líquido então a gota se espalha e o ângulo de contato passa a ser menor que 90° indicando que a molhabilidade é favorecida (ERBIL, 2014)

Figura 2 - Esboço indicando o ângulo de contato (θ) entre uma gota líquida em uma superfície sólida



Fonte: adaptado de LUZ; RIBEIRO; PANDOLFELLI, 2008

Os ensaios foram realizados duas vezes no mesmo corpo de prova para cada amostra, em cada ensaio foi depositada uma gota de água de aproximadamente $5 \mu l$ e capturadas 40 imagens após a deposição da gota, com um intervalo de 16 ms entre cada imagem. Para cálculo do ângulo de contato foram desconsideradas as primeiras imagens pois não é possível medir o ângulo pela falta de nitidez da gota em movimento. O equipamento utilizado foi o CAM 101 da marca KSV Instruments e utilizando o software CAM 2008 da mesma marca. As gotas foram depositadas sobre os corpos de prova com o auxílio da seringa de 1 ml da marca Hamilton. A máquina usada na captura das imagens foi a DMK 21AF04 da marca The Imaging Source.

5.5. Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Uma das técnicas de caracterização de polímeros mais utilizadas é a espectroscopia no infravermelho, fornece informações importantes sobre aspectos estruturais como composição química, estrutura conformacional e configuracional. Essa caracterização se baseia em dois métodos de obtenção de informações, qualitativo que é possível identificar o tipo de ligação química por meio da observação das frequências vibracionais, e outro quantitativo que é possível medir a concentração da ligação química por meio da intensidade de radiação infravermelha absorvida (CANEVALORO JR., 2002)

Os ensaios foram realizados no equipamento Spectrum 100 com Universal ATR Sampling Acessory, utilizando o software Spectrum versão 10.4.3, da marca PelkinElmer. Os corpos de prova foram cortados em amostras menores, aqueles que foram expostos ao meio ambiente foram posicionados com a superfície exposta voltada para o cristal, em cada corpo de prova foram realizadas 16 varreduras em uma faixa espectral de 4000 a 550 cm^{-1} de número de onda e resolução de $\pm 4 \text{ cm}^{-1}$.

5.6. Modelo de produto

Na dissertação “Reaproveitamento de resíduo industrial à base de fibra natural: Fabricação e caracterização de compósitos e avaliação comercial de suas aplicações” por Paula Sanvezzo foram desenvolvidas e fabricadas matérias primas recicladas a partir de resíduo de fibra de juta com resina de polipropileno, além disso, foi realizado uma pesquisa por meio da técnica *Technology Roadmap* (TRM) a fim de encontrar possíveis mercados para esse novo material. Segundo critérios como grau de interesse por parte de especialistas em iniciar um negócio, valor agregado e servitização, a família de produtos que mais teve pontos positivos foi mobiliário urbano (SANVEZZO, 2019). Com o propósito de pesquisar e embasar essa aplicação, baseando-se nos conceitos de economia circular, foi feito um modelo de banco de praça e alguns estudos relacionados ao produto.

O projeto de qualquer produto que irá ser produzido e posteriormente comercializado tem que ser desenhado atendendo alguns critérios. Da ótica do usuário o produto precisa ter uma utilidade, assim o projeto tem que garantir que o produto cumpra sua função. Para isso, o produto precisa ser usável e esteticamente

desejável, atendendo o usuário durante a utilização do mesmo e estando de acordo com as expectativas estéticas. Sobre o lado industrial, tem que ser de fácil produção, facilitar as etapas produtivas, e por fim, ser vendável, entender os custos de produção e o mercado do produto (TEIXEIRA, 2005).

Questões ambientais e de ciclo do produto na indústria também precisam ser considerados com o propósito de que esse produto faça parte de um modelo de negócio baseado em economia circular. Alguns critérios foram inseridos no desenvolvimento do modelo de banco de praça considerando design sustentável e levantando pensamento crítico sobre o destino final do produto e como favorecer a reutilização do mesmo após o término de seu uso.

Os principais critérios foram: a utilização de material fabricado a partir de resíduo industrial, contendo 50% de sua composição o resíduo; utilização de apenas um tipo de material no produto, utilizando técnicas de encaixe para fixação, retirando a necessidade de outro material para essa função, o que facilita muito na reutilização do produto por meio da indústria posteriormente ao seu uso, pois não há contaminação com outros tipos de materiais; produção dos componentes do produto utilizando apenas um processo produtivo, nesse caso foi determinado produzir todos os componentes por meio de extrusão, sem a necessidade da utilização de uma injetora, o que torna o projeto mais barato e com menor consumo de energia pois utiliza menos etapas. Outros critérios adotados são descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Critérios do projeto do banco de praça

Critérios	Aspectos do projeto
Minimização do uso de recursos naturais	I. Utilização de material reciclado
Minimização do uso de energia	I. Apenas extrusão como principal processo produtivo
Planejar ciclo de vida do produto/Remanufatura	I. Tornar fácil a utilização como matéria prima em outro processo II. Utilização de apenas um tipo material III. Utilização de poucos componentes IV. Fácil montagem e desmontagem V. Possibilidade de sofrer alterações
Otimizar transporte	I. Utilização de poucos componentes II. Fácil montagem e desmontagem
Diminuição de custos produtivos	I. Utilização de material reciclado II. Apenas extrusão como principal processo produtivo

Fonte: Baseado em Teixeira (2005).

5.6.1. Desenho do banco

O modelo de banco proposto é constituído por ripas com perfil de 50x50 mm. Seis ripas com comprimento de 450 mm, sendo quatro apoios verticais e dois apoios horizontais que ficam nas extremidades, cada uma dessas ripas têm um volume de 1125000 mm^3 . Outras três ripas que compõem o assento, também com um perfil de 50 x 50 mm, com comprimento de 1500 mm, cada uma dessas ripas têm um volume

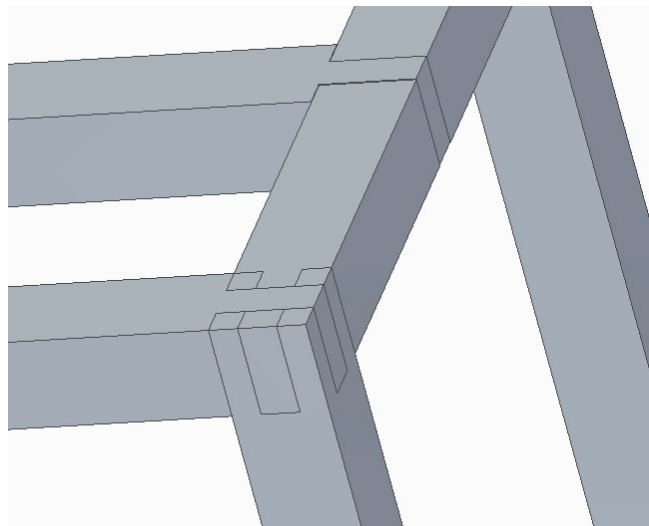
de $3.750.000 \text{ mm}^3$. As dimensões do banco como um todo são 1500 mm de largura, 450 mm de altura e 450 mm de profundidade. O volume total por banco é de 18 m^3 . O seu desenho foi realizado no Solid Edge, na Figura 3 está representado o banco inteiro e na Figura 4 está ilustrado os detalhes de encaixe das ripas.

Figura 3 - Modelo de banco em Solid Edge



Fonte: Próprio autor.

Figura 4 - Detalhe dos encaixes do modelo do banco



Fonte: Próprio autor.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Envelhecimento no intemperismo natural

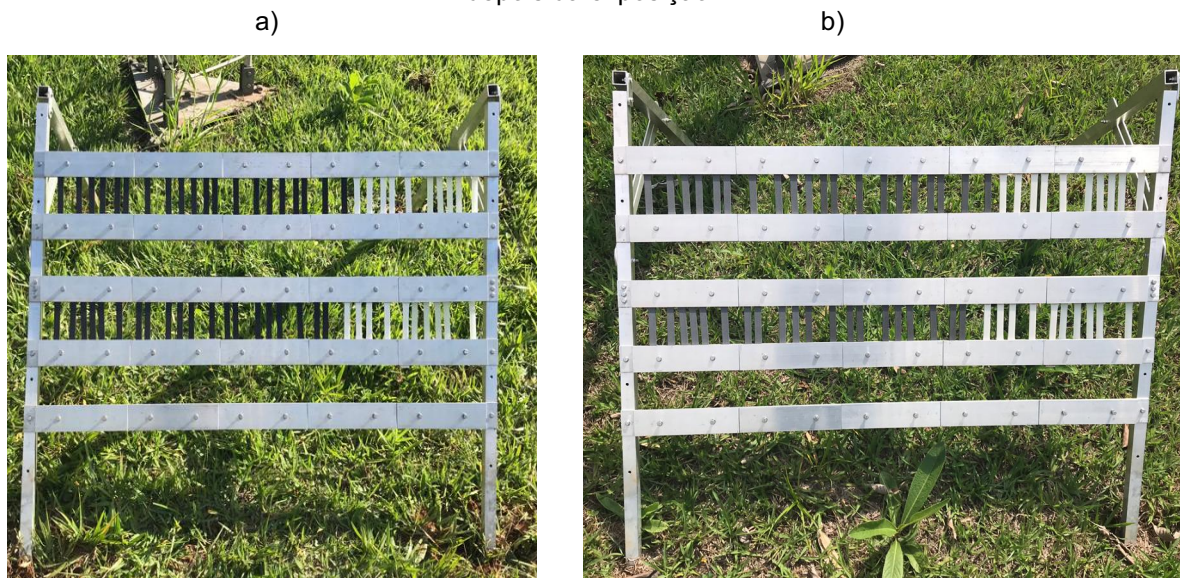
Como o objetivo principal desse trabalho se refere ao estudo da aplicação desses materiais em um produto, o tipo de degradação não é o principal foco de análise, mas apenas como essa possivelmente reflete em perdas de propriedades que interfiram na estrutura do produto e na durabilidade do mesmo. Com esse propósito, depois de seis meses em que os corpos de prova estiveram expostos às condições climáticas diversas, foram realizados alguns ensaios que serão discutidos a seguir.

6.1.1. Inspeção visual

O primeiro tipo de análise realizado foi o visual, é um ensaio muito simples e não destrutivo, que consiste na observação visual do produto. Nesse caso foi o realizado o ensaio visual direto, a olho nu, quando a peça permite que o observador se posicione a uma distância e ângulo satisfatórios para a análise. A comparação foi feita por meio de imagens registradas dos corpos de prova depois da exposição ao meio externo, sendo possível observar a região que foi exposta e a que não foi exposta as intempéries.

Os corpos de prova foram presos no cavalete com apenas uma região exposta as condições externas climáticas, como é possível observar na Figura 5. Existe uma pequena diferença de coloração nos corpos de prova antes e depois da exposição que pode ser notada por meio das Figuras 5 a) e b). Observa-se essa diferença mais facilmente no corpo de prova após a exposição. A parte exposta apresenta coloração mais clara do que a que ficou presa e coberta pelo cavalete, representado nas Figuras 6 e 7.

Figura 5 - Corpos de prova em disposição para exposição ao meio ambiente a) antes da exposição b) depois da exposição



Fonte: Próprio autor.

No caso da Figura 6, representando o corpo de prova com resíduo, nota-se a diferença entre a região em que foi fixada no cavalete e, portanto, não teve contato com as condições do meio externo, e a região exposta. A região exposta apresenta uma coloração mais clara, cinza. Outra característica que se aponta visível é a diferença na textura, a parte que foi exposta apresenta uma superfície menos lisa, essa hipótese se confirma ao toque revelando-a mais áspera do que a região não exposta. O mesmo acontece para todas as outras amostras com resíduo, podendo ser consultada as demais imagens no Apêndice A.

Figura 6 - Imagens corpo de prova com resíduo PPRMC depois da exposição



Fonte: Próprio autor.

A Figura 7, amostra sem resíduo, também revela a diferença entre a região exposta ao meio externo e a que foi protegida pelo cavalete. A diferença entre as regiões é visível, sendo que a parte que foi exposta ao meio ambiente apresenta cor um pouco mais branca. A fotodegradação sofrida pelo polímero, causa cisão de moléculas e rejeição de pequenas partículas. Devido a degradação o PP torna-se quebradiço e ao sair da superfície outras partículas ficam mais expostas conferindo assim a rugosidade (RABELLO; WHITE,1997). A apresentação do corpo de prova de PP depois da degradação pode ser observada no Apêndice A.

Figura 7 - Imagens corpo de prova sem resíduo PPM depois da exposição



Fonte: Próprio autor.

6.1.2. Ensaio de Flexão

A partir do ensaio de flexão é possível obter alguns parâmetros como a tensão de ruptura e o módulo de elasticidade (MOE). Os resultados estão dispostos na Tabela 3 para os corpos de prova antes da exposição ao meio ambiente, e na Tabela 4 para os corpos de prova depois dessa exposição.

Tabela 3 - Propriedades mecânicas em flexão antes da exposição ao meio ambiente

Amostra	Tensão de ruptura [MPa]	Módulo de Elasticidade [MPa]
PP	31,30 ± 0,98	996,07 ± 8,23
PPM	34,38 ± 0,88	1.194,18 ± 10,90
PPR	39,81 ± 0,94	2.403,40 ± 35,27
PPRC	36,46 ± 1,24	2.435,52 ± 77,54
PPRM	34,98 ± 0,54	2.745,40 ± 44,42
PPRMC	33,79 ± 0,35	2.451,37 ± 23,97

Fonte: Próprio autor.

Tabela 4 - Propriedades mecânicas em flexão depois da exposição ao meio ambiente

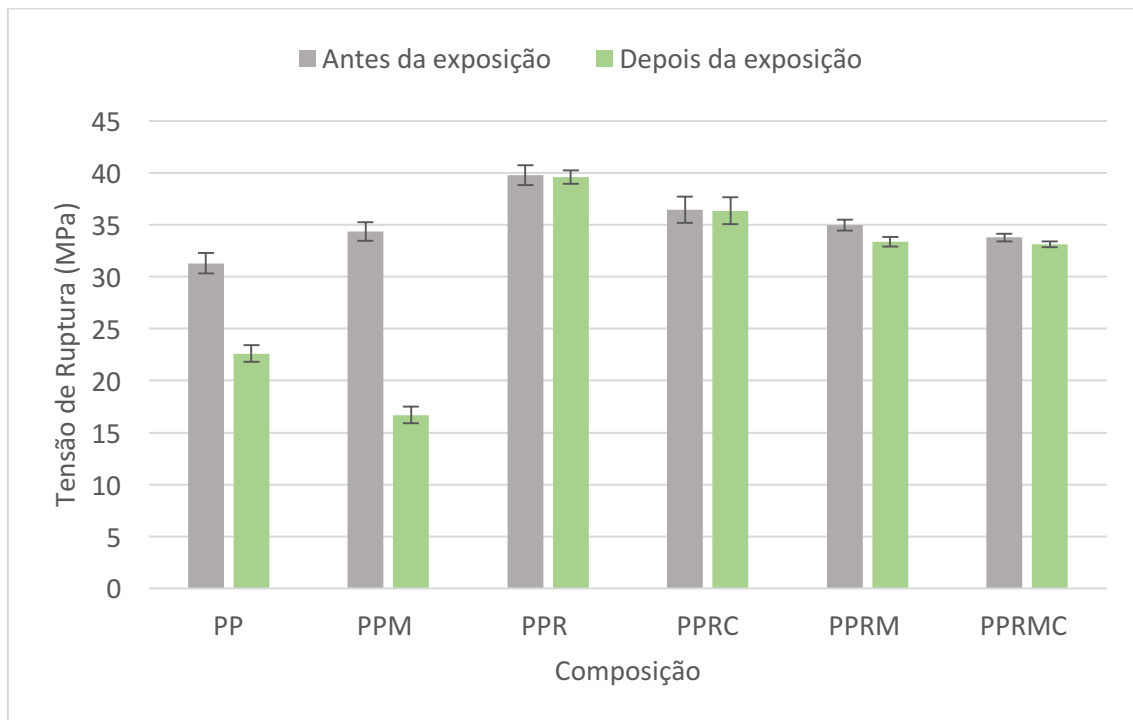
Amostra	Tensão de ruptura [MPa]	Módulo de Elasticidade [MPa]
PP	22,60 ± 0,80	992,29 ± 93,15
PPM	16,69 ± 0,78	1.024,54 ± 116,25
PPR	39,62 ± 0,63	2.365,81 ± 45,19
PPRC	36,36 ± 1,30	2.485,57 ± 36,86
PPRM	33,38 ± 0,45	2.757,33 ± 30,07
PPRMC	33,12 ± 0,29	2.487,11 ± 15,92

Fonte: Próprio autor.

Com o propósito de obter uma análise mais completa e visual, os gráficos em sequência expõem os dados de uma maneira comparativa, sendo o gráfico de tensão de ruptura representado na Figura 8 e o gráfico de módulo de elasticidade representado na Figura 9. Observa-se que comparando os dados antes da exposição com os de depois, para as amostras sem resíduo, a tensão de ruptura apresenta uma queda relativamente expressiva, enquanto que o módulo de elasticidade aponta uma pequena queda.

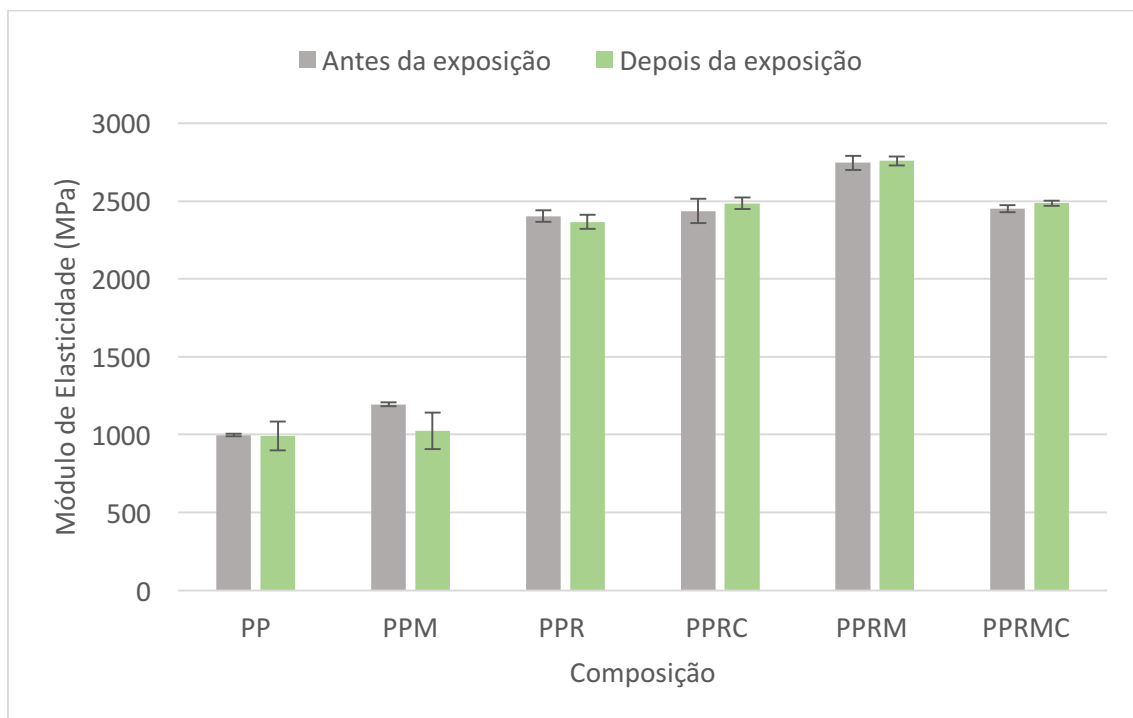
Quando feita a mesma comparação para as amostras com resíduo (amostras PPR, PPRC, PPRM e PPRMC), analisando uma mesma composição, a tensão de ruptura e o módulo de elasticidade apresentam valores próximos um do outro apenas com uma queda sutil. A partir dessas observações é possível detectar a influência da fibra de juta na resistência mecânica das amostras, e também que o material que sofre mais em condições ambientais externas é o polímero, já que nas amostras em que o mesmo está sem o resíduo teve maior queda nas propriedades em flexão.

Figura 8 - Gráfico com os dados de tensão de ruptura em flexão para as amostras antes e depois da exposição ao meio ambiente



Fonte: Próprio autor.

Figura 9 - Gráfico com os dados de módulo de elasticidade em flexão para as amostras antes e depois da exposição ao meio ambiente



Fonte: Próprio autor.

Os resultados obtidos do ensaio de flexão para as amostras de composições com resíduo antes da exposição ao meio ambiente, são importantes para a caracterização desses materiais quanto a flexão. Os dados exibidos são muito relevantes para a aplicação em mobiliários urbanos, principalmente quando o produto for solicitado por meio de tensões que o levem à flexão, assim, esses valores podem ser considerados nos cálculos estruturais. Além disso, a partir dos resultados dos ensaios adquiridos após a exposição de seis meses ao meio ambiente, em comparação aos resultados antes da exposição, conclui-se que a perda de resistência à flexão é pequena nesse período de tempo.

6.1.3. Ensaio de Tração

A partir do ensaio de tração foram obtidos alguns parâmetros como o limite de escoamento, deformação na ruptura e módulo de elasticidade. Os dados obtidos desses ensaios realizados nas seis amostras após a exposição ao meio ambiente estão dispostos na Tabela 5. O ensaio de tração antes da exposição ao meio ambiente foi realizado por Sanvezzo (2019) e os resultados foram dispostos em gráficos (Figura 12, Figura 13 e Figura 14) para comparação com os resultados obtidos no ensaio pós exposição. Importante ser destacado que os ensaios de tração foram todos realizados nas mesmas condições de equipamentos e parâmetros de ensaio que os ensaios conduzidos por Sanvezzo (2019).

Tabela 5 - Propriedades mecânicas em tração depois da exposição ao meio ambiente

Amostra	Tensão de Escoamento [MPa]	Deformação na ruptura [%]	Módulo Elástico [MPa]
PP	13,71 ± 0,60	1,98 ± 0,11	1.221,06 ± 42,85
PPM	12,37 ± 0,42	1,37 ± 0,09	1.333,88 ± 19,03
PPR	23,70 ± 0,41	5,23 ± 0,30	2.536,43 ± 7,81
PPRC	23,53 ± 0,54	4,41 ± 0,34	2.635,77 ± 25,49
PPRM	19,81 ± 0,60	3,12 ± 0,24	2.999,47 ± 31,65
PPRMC	20,72 ± 0,28	2,89 ± 0,71	2.751,75 ± 33,24

Fonte: Próprio autor.

Um fator relevante são as fraturas ocorridas no ensaio depois da exposição, para as amostras sem resíduo, constituídas apenas de PP e outra de PP com o masterbach (PPM), a ruptura do corpo de prova ocorreu em média com 22 segundos

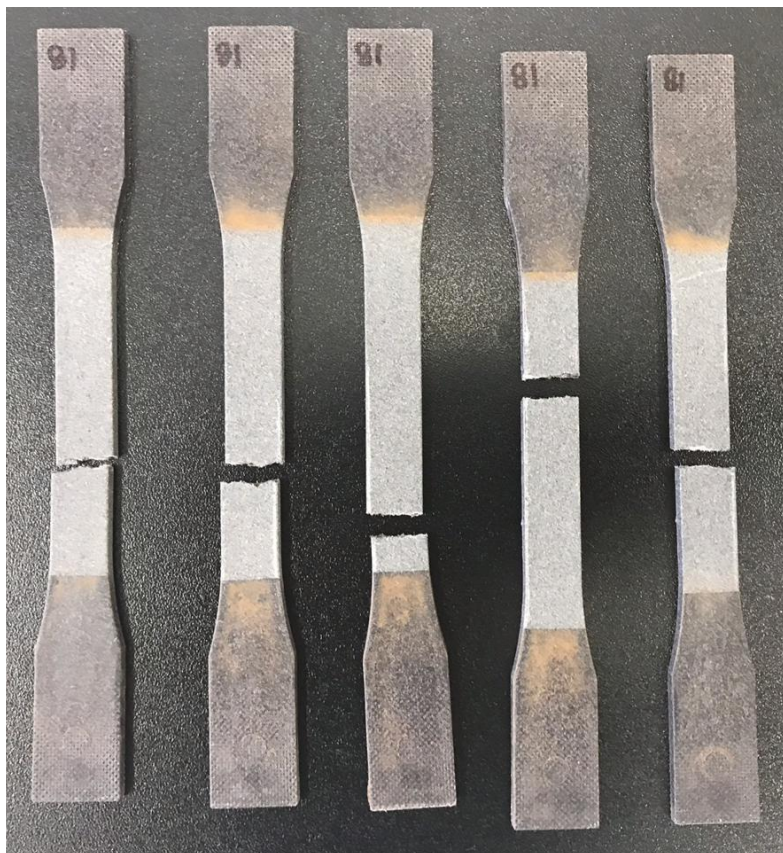
de ensaio, e exatamente na região onde termina a área que foi exposta e a área que foi protegida pelo cavalete, como demonstrado para a amostra de PPM na Figura 10. As demais amostras tiveram seus corpos de prova com ruptura no centro da região exposta, onde era esperado, como demonstrado para a amostra de PPRMC na Figura 11. Assim, os resultados obtidos no ensaio das amostras sem resíduo são muito baixos, a resistência à tração nesse tipo de amostra caiu consideravelmente. As imagens da ruptura dos outros corpos de prova podem ser encontradas no Apêndice B.

Figura 10 - Imagens da ruptura do corpo de prova sem resíduo PPM no ensaio de tração realizado após a exposição ao meio ambiente



Fonte: Próprio autor.

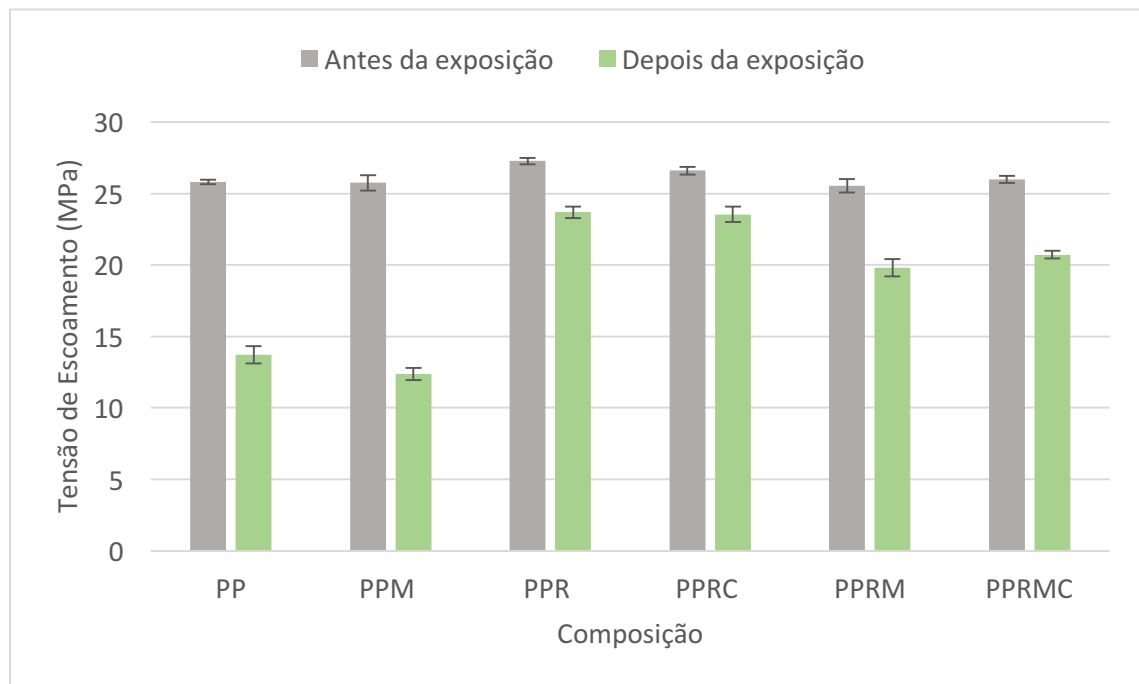
Figura 11 - Imagens da ruptura corpo de prova com resíduo PPRMC no ensaio de tração realizado após a exposição ao meio ambiente



Fonte: Próprio autor.

A Figura 12 apresenta a comparação do parâmetro de tensão de escoamento antes e depois da exposição ao meio ambiente. Por meio das curvas apresentadas observa-se que todos os valores de tensão de escoamento após a exposição são menores que os obtidos antes desse período, além disso, a queda nos valores das primeiras amostras, que são amostras sem resíduo, é muito mais acentuada. Esses resultados exibem novamente que o polipropileno sofreu mais com a degradação do que a fibra de juta, presente no resíduo, influenciando nas propriedades mecânicas.

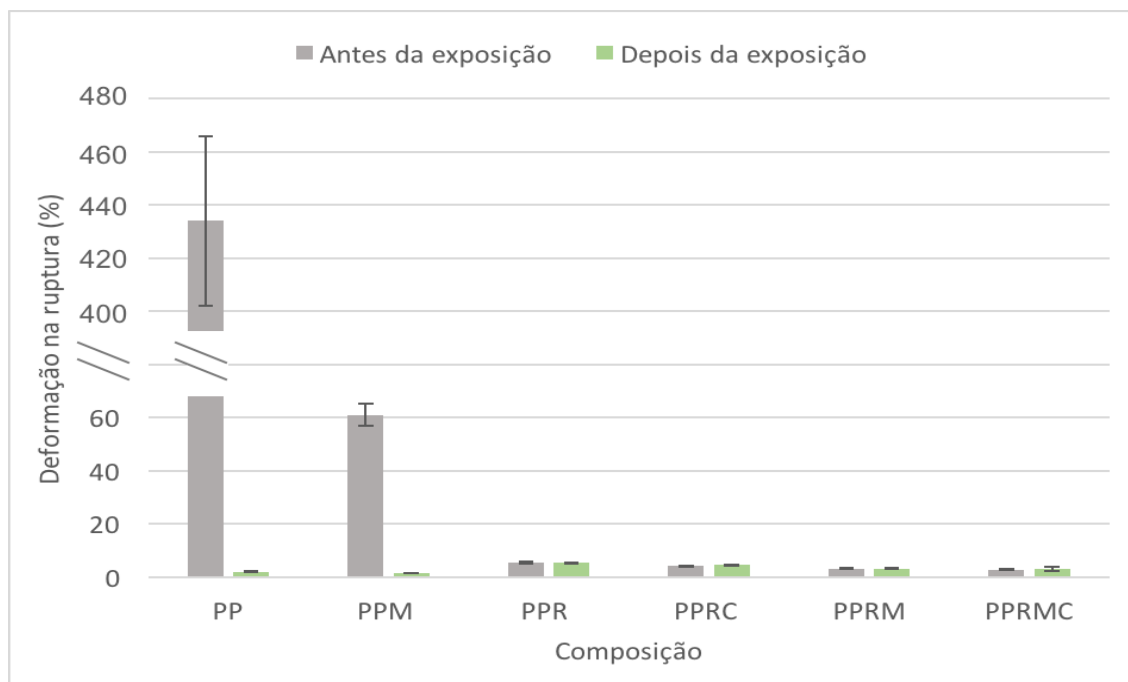
Figura 12 - Gráfico com os dados de tensão de escoamento para as amostras antes e depois da exposição ao meio ambiente



Fonte: Próprio autor.

A Figura 13 apresenta a comparação do parâmetro de deformação na ruptura antes e depois da exposição ao meio ambiente. A partir das curvas apresentadas observa-se que os valores de deformação na ruptura após a exposição são menores que os obtidos antes desse período apenas para as amostras sem resíduo (amostra PP e PPM), para as demais amostras, com resíduo, os valores são muito próximos se compararmos uma mesma amostra antes e depois da exposição.

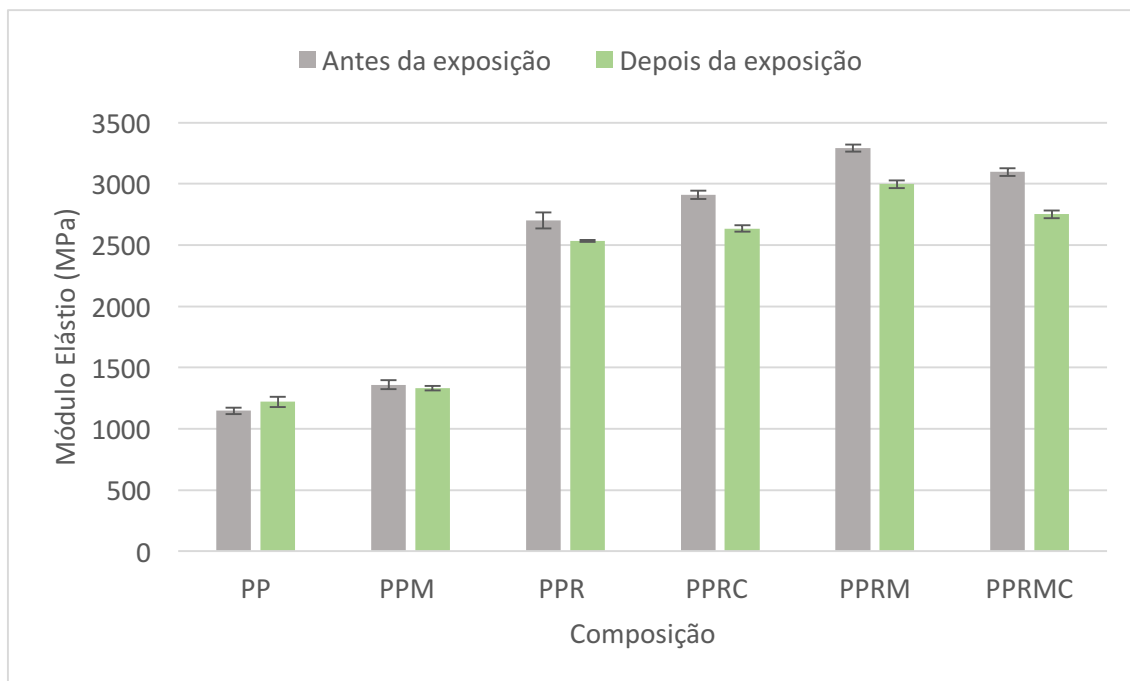
Figura 13 - Gráfico com os dados de deformação na ruptura para as amostras antes e depois da exposição ao meio ambiente



Fonte: Próprio autor.

As curvas com a comparação dos resultados obtidos de módulo de elasticidade antes e depois da exposição ao meio ambiente então apresentadas na Figura 14. A partir desses resultados apresentados observa-se que todos os valores de módulo de elasticidade em tração após a exposição são bem próximos, mas um pouco menores que os obtidos antes desse período.

Figura 14 - Gráfico com os dados de módulo de elasticidade para as amostras antes e depois da exposição ao meio ambiente



Fonte: Próprio autor.

6.1.4. Ângulo de contato

O ensaio de medição de ângulo de contato é relevante para aplicação em produtos que serão expostos em ambiente externo, pois mede-se a molhabilidade, ou seja, a habilidade de um líquido se aderir ou espalhar em contato com um material sólido. Se o ângulo de contato do líquido com a superfície do material for superior a 90° pode-se dizer que a molhabilidade não é favorecida (ERBIL, 2014). O ensaio foi realizado nas amostras depois da exposição ao meio ambiente, esses resultados são mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 - Ângulo de contato medido entre água e as amostras depois da exposição ao meio ambiente

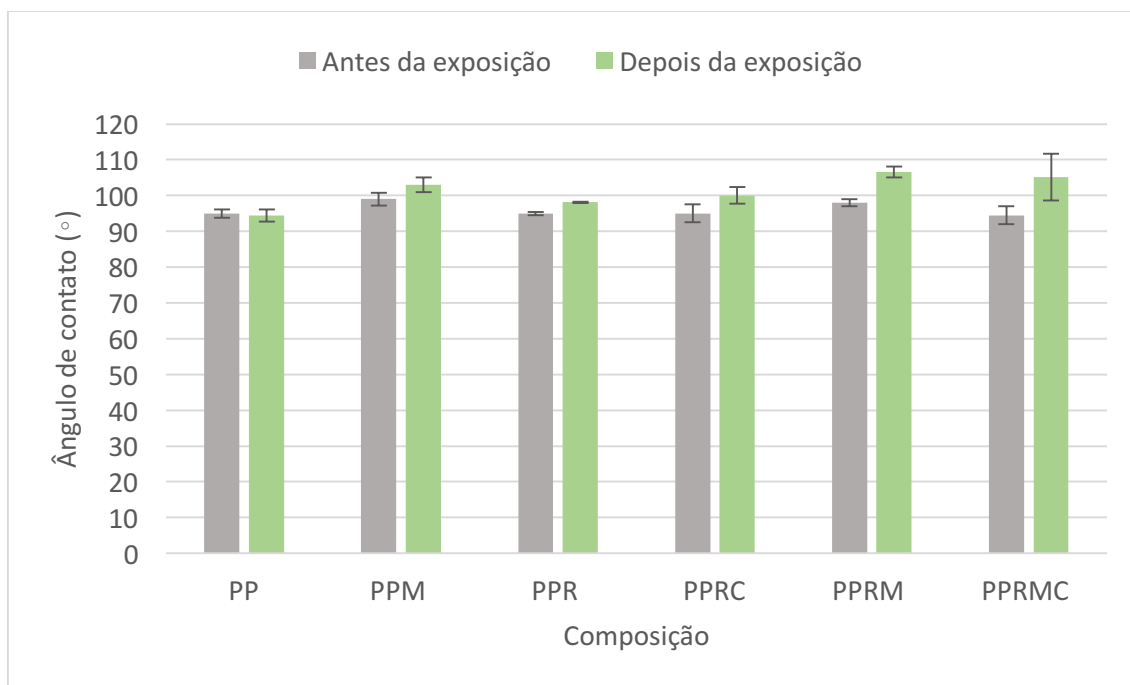
Amostra	Ângulo de contato (°)
PP	94,40 ± 1,68
PPM	102,99 ± 1,96
PPR	98,11 ± 0,21
PPRC	99,96 ± 2,28
PPRM	106,57 ± 1,60
PPRMC	105,20 ± 6,50

Fonte: Próprio autor.

A Figura 15 exibe a comparação entre os ângulos de contato medidos antes da exposição ao meio ambiente, ensaio que foi realizado por Sanvezzo (2019), e os medidos depois da exposição, Tabela 6. Importante ser destacado, que todos os ensaios depois da exposição foram realizados nas mesmas condições de ensaio e equipamento que os feitos antes da exposição.

Comparando as amostras entre si, nota-se que para as amostras com presença de *masterbach* os valores dos ângulos de contato são superiores às demais amostras. Essa observação pode ser explicada pela presença do nanocarbonato de cálcio no *masterbach*, que apresenta propriedades impermeabilizantes. Observa-se que em todas as composições os ângulos de contato permaneceram acima de 90°, isso é um resultado muito positivo para o tipo de aplicação estudada. Mesmo após os seis meses exposto às condições climáticas do meio externo, esses materiais não favorecem a molhabilidade com água, mostrando que não é permeável a água de chuva, por exemplo.

Figura 15 - Gráfico de comparação entre ângulo de contato antes e depois da exposição ao meio ambiente

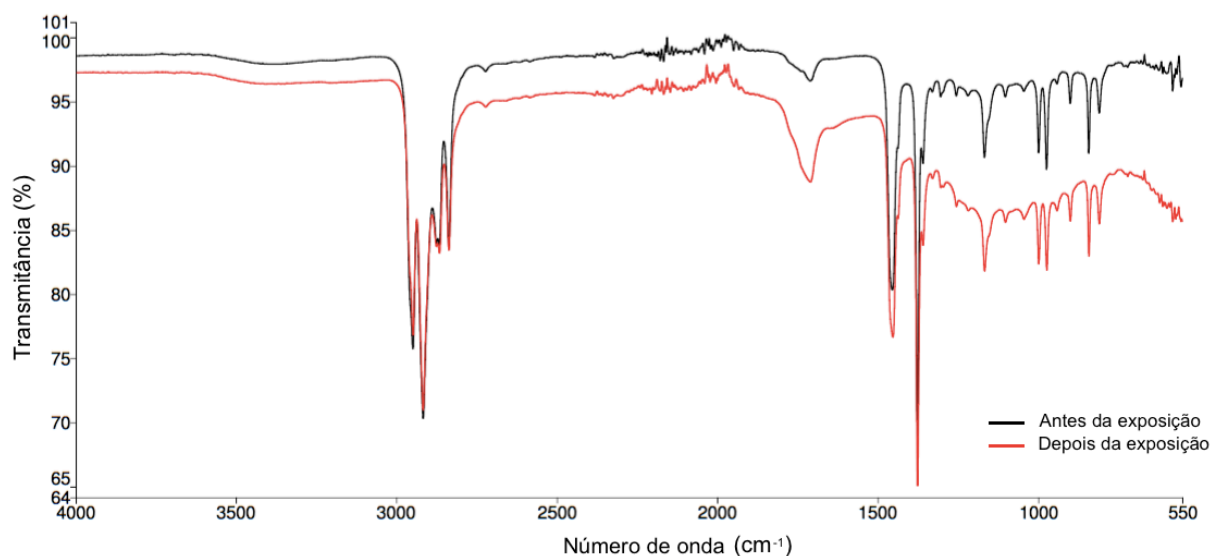


Fonte: Próprio autor.

6.1.5. Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

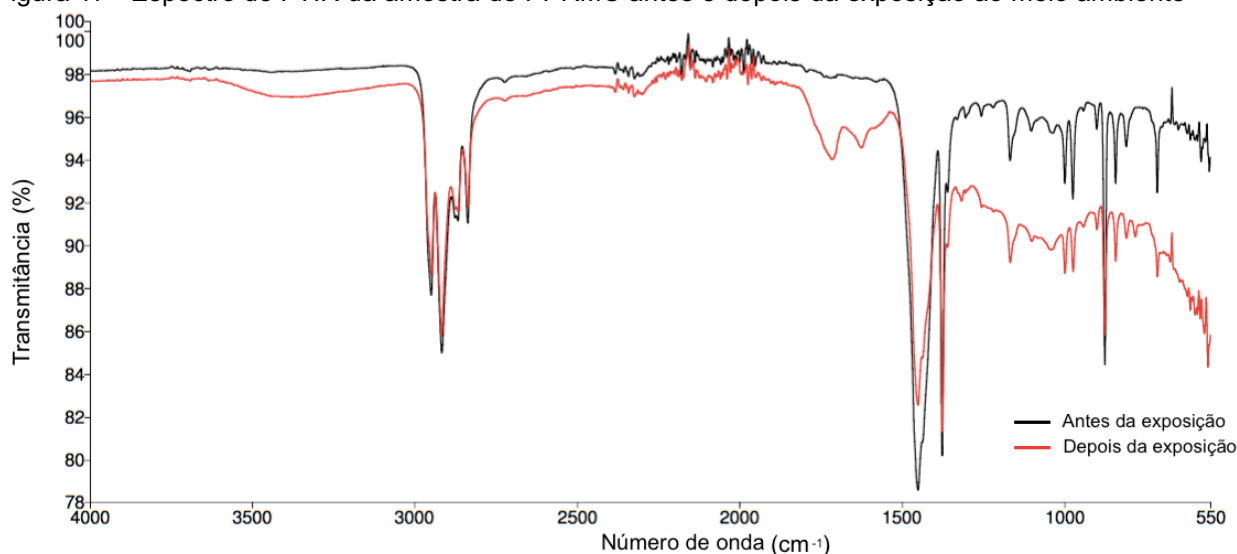
Os ensaios de FTIR foram realizados nas amostras antes e depois da exposição ao meio externo. O principal objetivo desse tipo de ensaio é para analisar os grupos funcionais do material, comparando o comportamento do espectro nas duas condições apresentadas. As Figuras 16 e 17 apresentam os espectros FTIR referente à amostra sem resíduo (PP) e referente à amostra com resíduo (PPRMC), respectivamente. O espectro na cor preta representa a amostra antes da exposição e o espectro vermelho depois da exposição para ambas as Figuras. As Figuras com os espectros para as demais composições estão presentes no Apêndice C.

Figura 16 - Espectro de FTIR da amostra de PP antes e depois da exposição ao meio ambiente



Fonte: Equipamento Spectrum 100.

Figura 17 - Espectro de FTIR da amostra de PPRMC antes e depois da exposição ao meio ambiente



Fonte: Equipamento Spectrum 100.

Analizando ambas as Figuras 16 e 17, nota-se que quando comparamos o espectro de antes e de depois da exposição ao meio ambiente, ambos possuem bandas de absorção bem semelhantes em largura e número de onda. Porém, é preciso destacar o aparecimento da banda de absorção com número de onda na região de 1.700 a 1.750 cm^{-1} para os espectros após a exposição ao meio ambiente, em todas as amostras.

Bandas de absorção entre com número de onda 1.700 e 1.750 cm^{-1} são geralmente referentes à grupos carbonílicos ($\text{C}=\text{O}$), esses grupos aparecem em produtos oxidados (DUTRA; TAKAHASHI; DINIZ, 2013). A presença de grupos carbonílicos no material após a exposição ao meio ambiente evidencia que houve degradação do material quando exposto às intempéries.

6.2. Mercado do produto

Com o propósito de inserção de uma nova matéria prima em um sistema de economia circular, como também em todo novo negócio, é indispensável que seja desenvolvida uma análise de mercado. Esse é um processo para obtenção de informações referentes às condições que a empresa precisa para ingressar nesse mercado de atuação do seu novo produto. Alguns dados que são relevantes de serem obtidos são o potencial do seu público-alvo, fornecedores e a concorrência.

Essa é uma análise que envolve várias etapas, pode ser complicada, e geralmente é realizada por instituições especializadas (SALIM, 2005).

A intenção não é fazer uma análise de mercado completa sobre a inserção dessa nova matéria prima no mercado de mobiliários urbanos, mas analisar algumas opções existentes no mercado atual de bancos de praça. Algumas comparações podem ser feitas com o projeto de desenvolvimento do modelo de banco de praça proposto, que é apresentado no item 5.6.

Comercialmente podem ser encontradas algumas opções de bancos, como bancos produzidos com madeira plástica (Figura 18) com apelo é substituir a madeira natural nesse tipo de produto. Eles são produzidos com plásticos reciclados e recicláveis, são resistentes às intempéries em ambientes externos, imunes às pragas e suas ripas são fixadas por meio de parafusos, porcas e arruelas. O peso do banco montado é em torno de 20 kg, dimensões são 1500 mm de largura, 330 mm de altura e 450 mm de profundidade, o valor de compra aproximadamente R\$ 400,00 (CLACE INDÚTRIA DE MATERIAL VISUAL, 2019).

Figura 18 - Modelos de bancos comerciais de madeira plástica



Fonte: a) Clace Indústria de Material Visual (2019) b) Lazer e Casa - Construcivil Comercio e Representacao Ltda (2019)

Outra opção são bancos produzidos de concreto armado, representado na Figura 19, ideais para jardim, praças, parques, escolas, áreas publicas em geral. O peso não é divulgado, possui dimensões de 1.620 mm de largura, 450 mm de altura

e 450 mm de profundidade, o preço é aproximadamente R\$ 300,00 (CF MOLDART BANCOS DE CONCRETO, 2019).

Figura 19 – Modelo de banco comercial de concreto armado



Fonte: CF Moldart Bancos de concreto (2019)

A opção mais comum, que pôde ser encontrada em diversas praças públicas, apresentada na Figura 20, é o banco produzido de ripas de madeira de lei maciça reflorestada e estrutura em ferro fundido, o acabamento é feito com verniz adequado para exposição em ambientes externos. A montagem é feita com a utilização de parafusos. O peso do produto é de 28 kg, dimensões 1.500 mm de largura, 390 mm de altura, 580 mm de profundidade e 700 mm de altura do encosto, o preço aproximado é de R\$ 400,00 (CARREFOUR COMÉRCIO E INDÚSTRIA LTDA, 2019).

Figura 20 - Modelo de banco comercial de madeira maciça e ferro



Fonte: Carrefour Comércio e Indústria Ltda (2019)

Fazendo uma comparação entre as opções comercialmente encontradas e o modelo proposto, nota-se que há opções comerciais que são produzidas de material reciclado, o que é muito positivo e mostra que realmente é um mercado em que existe aceitação para esse tipo de material. Porém, dentre as opções encontradas os produtos possuem mais de um material, em alguns apenas para a fixação, com o uso de parafusos, e na última opção possui partes feitas de materiais diferentes. Essa foi uma questão levada em consideração no modelo proposto, para facilitar a reutilização do material posteriormente, não havendo assim contaminação com outros materiais.

Analizando as características que os materiais dos modelos comerciais apresentam, como a resistência às intempéries e também aos fungos e pragas. Para que o compósito estudado seja competitivo nesse mercado há necessidade do uso de aditivos para proteção e maior durabilidade do mesmo. Outro aspecto importante é a proteção estética, como pôde ser observado no item 6.1.1 os materiais ensaiados perdem coloração com apenas seis meses exposto ao meio ambiente. Os aditivos como estabilizantes UV, por exemplo, podem ser aplicados em polímeros para diminuir os efeitos da degradação e fornecer maior proteção contra efeitos de radiação. Alguns fatores importantes têm que ser considerados ao se escolher um aditivo, como a concentração a ser utilizada, compatibilidade com o material, toxicidade e custo (BOLGAR et al., 2015).

6.3. Custos de produção

Além dos aspectos de design e etapas produtivas considerados, também é muito importante serem avaliadas questões relativas à viabilidade econômica. Para a inserção de um produto na indústria, essa que tem como principal fim a questão lucrativa, é necessário ser realizado um estudo dos custos que envolve a produção como também analisar o mercado para o produto. A Tabela 7 mostra dados relativos ao custo de material.

Tabela 7 - Custo de matéria prima

Matérias primas	Custo (R\$/kg)
PP reciclado	5,40
Resíduo	0,00
Nanocarbonato de cálcio	4,83
Compatibilizante	39,20

Fonte: Próprio autor.

Os preços das matérias primas podem sofrer alterações com o passar o tempo, é importante destacar que esses valores foram obtidos no ano de 2019. Além disso, deve ser considerado que a matéria prima ao ser adquirida em grande quantidade, para produção em larga escala, o preço por quilo tende a diminuir consideravelmente. Para o PP reciclado e o nanocarbonato de cálcio, os valores descritos são referentes às cotações de uma compra em toneladas, e no caso do compatibilizante o valor foi cotado em euro e então convertido com o cambio vigente no dia.

Para fins de cálculo e utilizando como base o modelo de banco descrito e desenhado em Solid Edge, a matéria prima considerada foi a de composição PPRMC, pois essa é uma das tecnologias que foram relacionadas ao mercado de mobiliário urbano segundo a metodologia de TRM aplicada (SANVEZZO, 2019).

Considerando as porcentagens em massa (Tabela 1) de utilização de cada matéria prima para a composição PPRMC o preço por quilo calculado é de R\$ 2,98. A densidade do material foi medida por Sanvezzo (2019), sendo a densidade para a composição PPRMC de $1,12 \text{ g/cm}^3$. Desse modo seriam utilizados de 20,16 kg de material por banco, levando a um custo de R\$ 60,10 de material por banco.

Para análise de custo de produção é preciso ser realizado primeiro o levantamento de todos os equipamentos e máquinas necessários, como também dados de produtividade por tempo dos mesmos e por fim o custo de cada uma dessas etapas. Essas informações não foram encontradas com precisão para o material de PPRMC em empresas atuais por conta dos inúmeros parâmetros industriais que interferem nesses valores, como por exemplo, o tipo da extrusora, o material, entre outros. Artigos acadêmicos que descrevem a extrusão de compósitos com fibra natural também relatam parâmetros de extrusão apenas de produção laboratorial, que não são necessariamente os parâmetros para uma produção em larga escala.

Alguns dados mais gerais foram obtidos por meio da área de marcenaria da USP São Carlos, como também em empresas que trabalham com extrusão de polímeros. As etapas propostas de produção no projeto que são extrusão, corte dos encaixes e montagem. Cada uma dessas etapas necessita de pelo menos um operador. Referente à eficiência de cada uma das etapas, a máquina de corte de serra circular possibilita serem feitos aproximadamente cortes em material para 10 bancos por dia em um processo manual. Na etapa de montagem podem ser montados aproximadamente 15 bancos por dia. Já referente à etapa de extrusão, a extrusora do tipo monorosca alimentada por gravidade da marca Wortex tem uma eficiência industrial de trabalho de aproximadamente 173 kg/hora para o PP. Como se trata de um compósito com fibra natural, essa eficiência seria menor, não há dados industriais do quanto esse valor seria reduzido, mas nesse caso seria necessária a consideração de perda de eficiência na vazão mássica das composições de compósito em relação ao PP puro.

Contudo, é possível ser realizada uma análise qualitativa da produção. Considerando as opções comerciais de bancos de praça descritas no item 6.2., vemos que na opção de madeira plástica há inclusão do processo de injeção, além de outras etapas, e os modelos que fazem a utilização de mais de um material também possivelmente necessita de um maior número de etapas produtivas, resultando, portanto em ciclos de produção diferentes para cada um desses modelos.

Ponderando essas opções em relação ao modelo proposto, temos a redução de etapas, que resulta em redução de tempo, como também redução de utilização de energia. Possivelmente as reduções desses parâmetros quando aplicadas em um projeto também resultem em uma redução de custo. No entanto, não é possível afirmar o custo final pela impossibilidade de obtenção de dados produtivos precisos sobre o material utilizado comparado aos materiais das opções comerciais.

A aceitação dentro de um mercado industrial de um novo material e produto é analisada por diversos parâmetros, o levantamento de mercado e financeiro que está sendo discutido é apenas alguns deles. Outros estudos mais detalhados e quantitativos referentes ao custo são encorajados para essa inserção industrial, existem muitos fatores relevantes, como já descritos, que podem alterar esse valor. O importante é manter o custo dentro de uma faixa aceitável, considerando que

ainda teria uma margem o lucro, e comparando com os valores de venda de mercado de outros bancos.

Outro aspecto muito importante que tem que ser levantado em relação à produção é o fornecimento de matéria prima. Nesse caso, como se trata de uma matéria prima que contém um resíduo reciclado, seria necessário algum tipo de garantia do fornecimento contínuo e em escala desse resíduo para a produção do material e consequentemente do produto em si.

7. CONCLUSÃO

Análises relevantes para o estudo da aplicação do material proposto por Sanvezzo (2019) em mobiliário urbano foram realizadas. Dentre elas, a avaliação do comportamento desse material em condições externas ambientais, por meio de ensaios para medir algumas propriedades pós exposição ao meio ambiente. Como também, a exploração de um modelo de mobiliário urbano, banco de praça, por meio de requisitos de projeto que incitam a economia circular, e uma pesquisa de viabilidade financeira e comparação com as opções existentes no mercado.

A partir dos resultados desses ensaios pós exposição foi possível observar que houve degradação oxidativa pela presença dos grupos carbonílicos mostrados no FTIR. Em relação às propriedades mecânicas, as amostras de compósito tiveram um decréscimo muito pequeno no geral, em alguns casos quase nulo. O que demonstra que a degradação não foi severa, sendo um resultado positivo para a aplicação. Outro aspecto interessante é que as amostras sem o resíduo tiveram uma queda mais acentuada nas propriedades, assim, conclui-se que a degradação teve maior impacto na matriz polimérica.

O modelo proposto de um banco de praça tem o propósito de ser apenas um exemplo para estudo de alguns aspectos para essa aplicação. A partir desse estudo é possível perceber que algumas considerações início do projeto de um produto podem ter grandes impactos, tanto financeiros como no meio ambiente. O custo de produção é um aspecto financeiro importante para as indústrias, estimar esse valor apresentou dificuldades, as variáveis da produção são inúmeras e cada uma delas pode afetar de maneira distinta financeiramente. Esse é um estudo que deve ser

feito mais aprofundado e com parâmetros e dados confiáveis a esse material e no período em que se deseja fabricar.

Com a pesquisa de algumas opções de bancos existentes no mercado nota-se que o uso de material reciclado nesse mercado já é uma realidade, o que confirma o mercado como sendo promissor para esse material. Outro ponto interessante é que a faixa de preço de venda desse tipo de produto é a mesma, não tendo muita variação mesmo com materiais primas e modelos diferentes, isso pode sugerir que o consumidor não suporta muita variação nesses valores, sendo uma faixa de preço interessante para a venda de produtos nesse mercado. Porém, é importante reiterar que uma pesquisa de mercado completa deve ser realizada, e que os dados aqui mostrados são apenas algumas opções do que está disposto atualmente em catálogos online.

Algumas sugestões de continuação de estudos com o mesmo propósito de aplicação desse material podem ser listadas. O estudo do uso de aditivos para melhorar os aspectos estéticos desse material quando exposto ao meio ambiente, como também melhorar as propriedades mecânicas pós degradação ambiental, ainda que esses resultados se demonstraram positivos nessa primeira investigação. Porém, é preciso ressaltar que é importante examinar o impacto no meio ambiente nessa escolha e estudo dos aditivos. Outro ponto é que um dos aspectos mais importantes desse trabalho é trazer a economia circular no desenvolvimento do projeto, nesse sentido, é necessário ainda o estudo do ciclo de vida desse produto e como o inserir novamente no ciclo produtivo após não atender mais suas funções de produto.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, J. L. A Economia circular aplicada no Brasil: uma análise a partir dos instrumentos legais existentes para a logística reversa. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 11., 2015, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: FIRJAN, 2015.

BARATA, T. Q. F. *et al.* Desenvolvimento de protótipos de mobiliário urbano com subproduto de madeira serrada de eucalipto. **Blucher Design Proceedings**, v. 2, n. 9, p. 4350-4360, 2016.

BOLGAR, M. *et al.* **Handbook for the chemical analysis of plastic and polymer additives**. New York: CRC Press, 2015.

CANEVAROLO JR., S. V. **Ciência dos polímeros** - um texto básico para tecnólogos e engenheiros. São Paulo: Artiliber, 2002. p. 110-115.

CARREFOUR COMÉRCIO E INDÚSTRIA LTDA. Disponível em: <https://www.carrefour.com.br/>. Acesso em: 2 dez. 2019.

CASAGRANDE, M. C. *et al.* Reaproveitamento de resíduos sólidos industriais: processamento e aplicações no setor cerâmico. **Cerâmica Industrial**, v. 13, n. 1/2, p. 34-42, 2008.

CF MOLDART BANCOS DE CONCRETO. Disponível em: <http://www.bancodeconcretomoldart.com.br/>. Acesso em: 4 dez. 2019.

CLACE INDÚSTRIA DE MATERIAL VISUAL. Disponível em: <https://www.clacestore.com.br/>. Acesso em: 2 dez. 2019.

CONSTRUCIVIL COMERCIO E REPRESENTACAO LTDA. Disponível em: <https://www.lazerecasa.com.br/>. Acesso em: 2 dez. 2019.

COSTA, A. *et al.* Economia circular. **Start & Go**, n. 20, mar./abr. 2018.

DUTRA, R. C. L.; TAKAHASHI, M. F. K. DINIZ, M. F. Importância da preparação de amostras em espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) na investigação de constituintes em materiais compostos. **Polímeros: ciência e tecnologia**, v. 5, n. 1, p. 41-47, 2013.

ELLEN MCARTHUR FOUNDATION. **Uma economia circular no Brasil**: uma abordagem exploratória inicial. 2017. Disponível: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/Uma-Economia-Circular-no-Brasil_Uma-Exploracao-Inicial.pdf. Acesso em: 10 maio 2019.

ERBIL, H. Y. The Debate on the dependence of apparent contact angles on drop contact area or three-phase contact line: a review. **Surface Science Reports**, v. 69, n. 4, p. 325-365, 2014.

FELDMAN, D. Polymer weathering: photo-oxidation. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 10, n.4, p. 163-173, 2002.

FIGUEIREDO, M. G. *et al.* Estação de tratamento de efluentes das indústrias têxteis-otimização através da implantação de medidas de prevenção à poluição. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHEIRA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000. **Resumos** [...]. Porto Alegre: ABES, 2000.

FOSTER, A.; ROBERTO, S. S.; IGARI, A. T. Economia circular e resíduos sólidos: uma revisão sistemática sobre a eficiência ambiental e econômica. In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 18., 2016, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: FGV, 2016.

GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. **Ensaio dos materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

JOHN, N. M.; LUZ REIS, A. T. Percepção, estética e uso do mobiliário urbano. **Gestão & tecnologia de projetos**, v. 5, n. 2, p. 180-206, 2010.

KRAEMER, M. E. P. A Questão ambiental e os resíduos industriais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25., Porto Alegre, 2005. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2005.

LEAL, A. C. *et al.* A Reinserção do lixo na sociedade do capital: uma contribuição ao entendimento do trabalho na catção e na reciclagem. **Terra Livre**, v. 2, n. 19, p. 177-190, 2015.

LEITÃO, A. Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. **Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting**, v. 1, n. 2, p. 150-171, 2015.

LUZ, A. P.; RIBEIRO, S.; PANDOLFELLI, V. C. Artigo revisão: Uso da molhabilidade na investigação do comportamento de corrosão de materiais refratários. **Cerâmica**, v. 54, n. 330, p. 174-183, 2008.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. A. **O Desenvolvimento de produtos sustentáveis**. Os requisitos ambientais dos produtos industriais. São Paulo: Edusp, 2002.

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. **Cradle to cradle**: remaking the way we make things. New York: North Point, 2002.

MEADOWS, D. H. *et al.* **The Limits to growth**: a report to the club of Rome. Washington, DC: Potomac Associates Book, 1972.

MONTENEGRO, G. N. **A Produção do mobiliário urbano nos espaços públicos**: o desenho do mobiliário urbano nos projetos de reordenamento das orlas do Rio Grande do Norte. 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

NERY, S. M.; FREIRE, A. S. A Economia circular e o cenário no Brasil e na Europa. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 37., 2017, Joinville. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2017.

OLIVEIRA, F. R.; FRANÇA, S. L. B.; RANGEL, L. A. D. Challenges and opportunities in a circular economy for a local productive arrangement of furniture in Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 135, p. 202-209, 2018.

PEREIRA, J. A. R. **Geração de resíduos industriais e controle ambiental**. Belém: UFPA, 2002.

RABELLO, M. **Aditivção de polímeros**. São Paulo: Artliber, 2000.

RABELLO, M.S.; WHITE, J.R. **Fotodegradação do polipropileno: um processo essencialmente heterogêneo**. Revista Polímeros: ciência e tecnologia. vol. 7, no 2, p.47-57, 1997.

SALIM, C. S. **Construindo planos de negócios**. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2005.

SANTOS, A. S. F.; AGNELLI, J. A. M.; MANRICH, S. Tendências e desafios da reciclagem de embalagens plásticas. **Polímeros**, v. 14, n. 5, p. 307-312, 2004.

SANVEZZO, P. B. **Reaproveitamento de resíduo industrial à base de fibra natural: fabricação e caracterização de compósitos e avaliação comercial de suas aplicações**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

SILVA, E. P. **Economia circular – Você sabe o que é Cradle-To-Cradle®?** (Parte 1 de 3). 2016. Disponível em: <http://negociosecarreiras.com.br/economia-circular-voce-sabe-o-que-e-cradle-to-cradle-parte-1-de-3/>. Acesso em: 10 maio 2019.

SPINACÉ, M. A. S.; DE PAOLI, M. A. A Tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p. 65-72, 2005.

STAHEL, W. R. **The Product life factor**. An Inquiry into the nature of sustainable societies: the role of the private sector. Texas: Houston and Research Center, 1982. (Series 1982 Mitchell Prize Papers).

TEIXEIRA, M. G. **Aplicação de conceitos da ecologia industrial para a produção de materiais ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.

TREVISAN, M. *et al.* Industrial ecology, industrial symbiosis and industrial eco-park: to know to apply. **Sistemas e gestão – revista eletrônica**, v. 11, n. 2, p. 204-215, 2016. Disponível em: <http://www.revistasg.uff.br/index.php/sg/article/view/993/475>. Acesso em: 27 maio 2019.

WAGNER, F. K. **Adequação de uma empresa de recondicionamento de pneumáticos a um modelo de sistema de gestão ambiental.** 2006. Monografia (Trabalho de Conclusão de Estágio) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

WINANS, K.; KENDALL, A.; DENG, H. The History and current applications of the circular economy concept. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 68, p. 825-833, 2017.

ZOCH, V. P. **Produção e propriedades de compósitos madeira-plástico utilizando resíduos minimamente processados.** 2013. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

APÊNDICE A

Figura A.1 - Imagens corpo de prova com resíduo PPR depois da exposição



Fonte: Próprio autor.

Figura A.2 - Imagens corpo de prova com resíduo PPRC depois da exposição



Fonte: Próprio autor.

Figura A.3 - Imagens corpo de prova com resíduo PPRM depois da exposição



Fonte: Próprio autor.

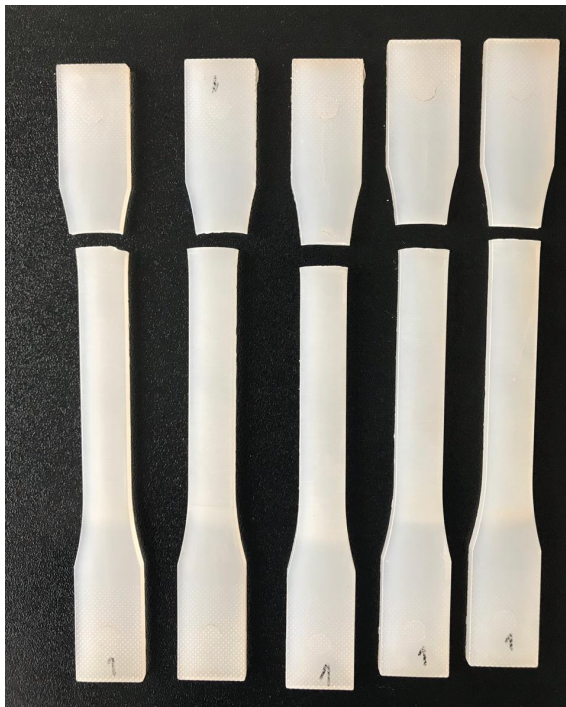
Figura A.4 - Imagens corpo de prova com resíduo PP depois da exposição



Fonte: Próprio autor.

APÊNDICE B

Figura B.1 - Imagens da ruptura do corpo de prova sem resíduo PP no ensaio de tração realizado após a exposição ao meio ambiente



Fonte: Próprio autor.

Figura B.2 - Imagens da ruptura do corpo de prova sem resíduo PPR no ensaio de tração realizado após a exposição ao meio ambiente



Fonte: Próprio autor.

Figura B.3 - Imagens da ruptura do corpo de prova sem resíduo PPRC no ensaio de tração realizado após a exposição ao meio ambiente



Fonte: Próprio autor.

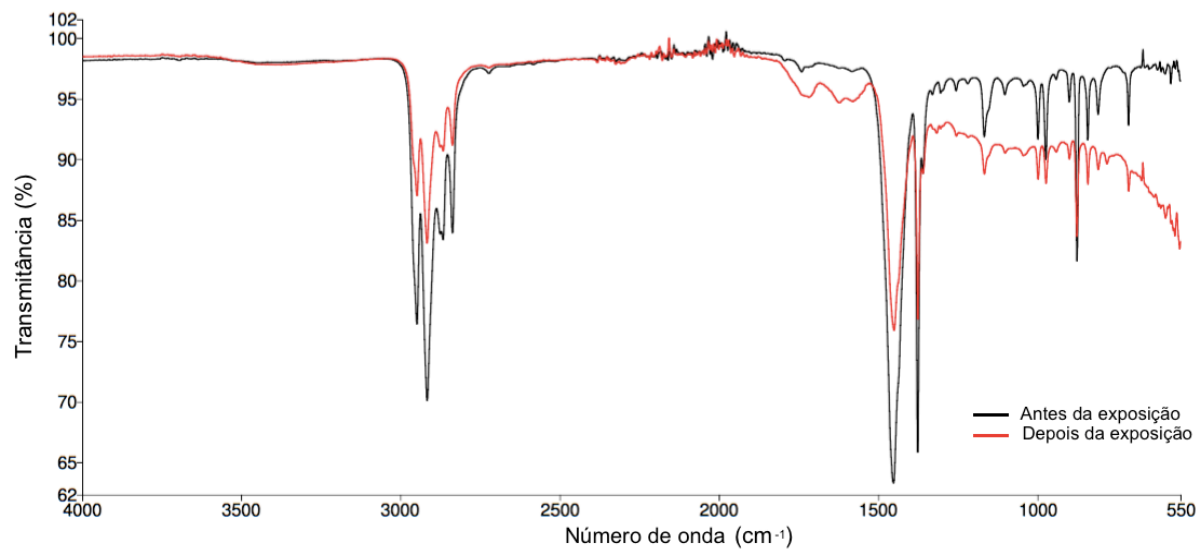
Figura B.4 - Imagens da ruptura do corpo de prova sem resíduo PPRM no ensaio de tração realizado após a exposição ao meio ambiente



Fonte: Próprio autor

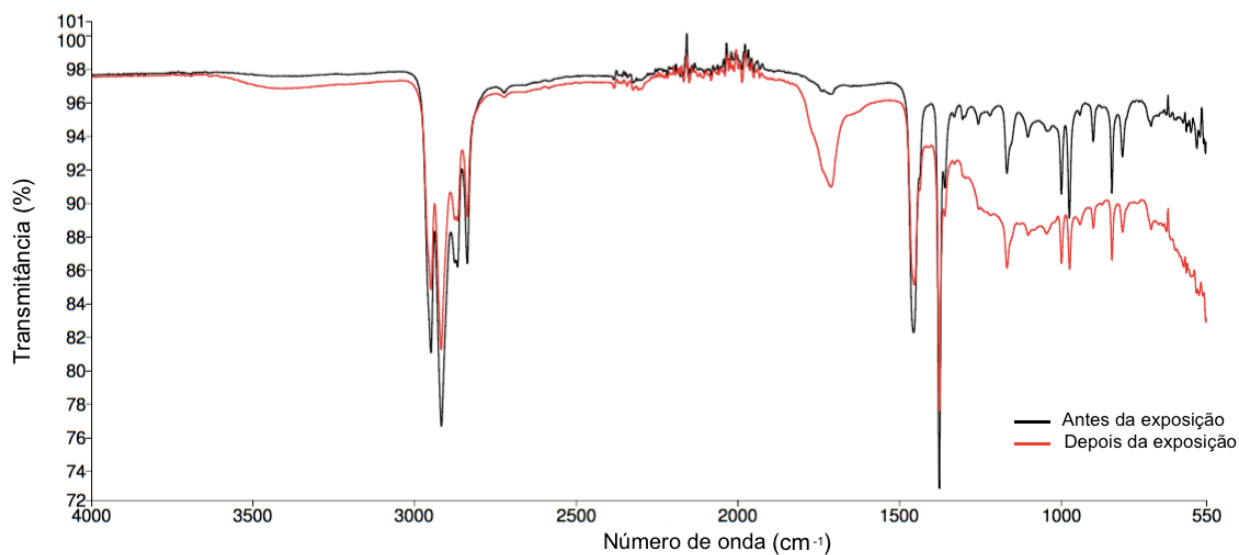
APÊNDICE C

Figura C.1 - Espectro de FTIR da amostra de PPM antes e depois da exposição ao meio ambiente



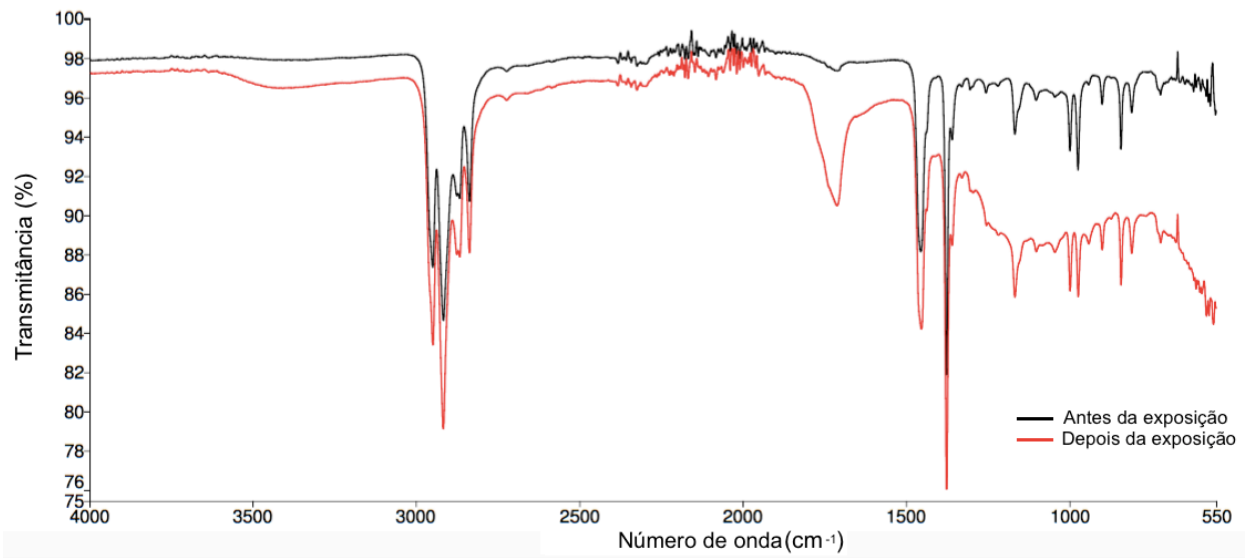
Fonte: Equipamento Spectrum 100.

Figura C.2 - Espectro de FTIR da amostra de PPR antes e depois da exposição ao meio ambiente



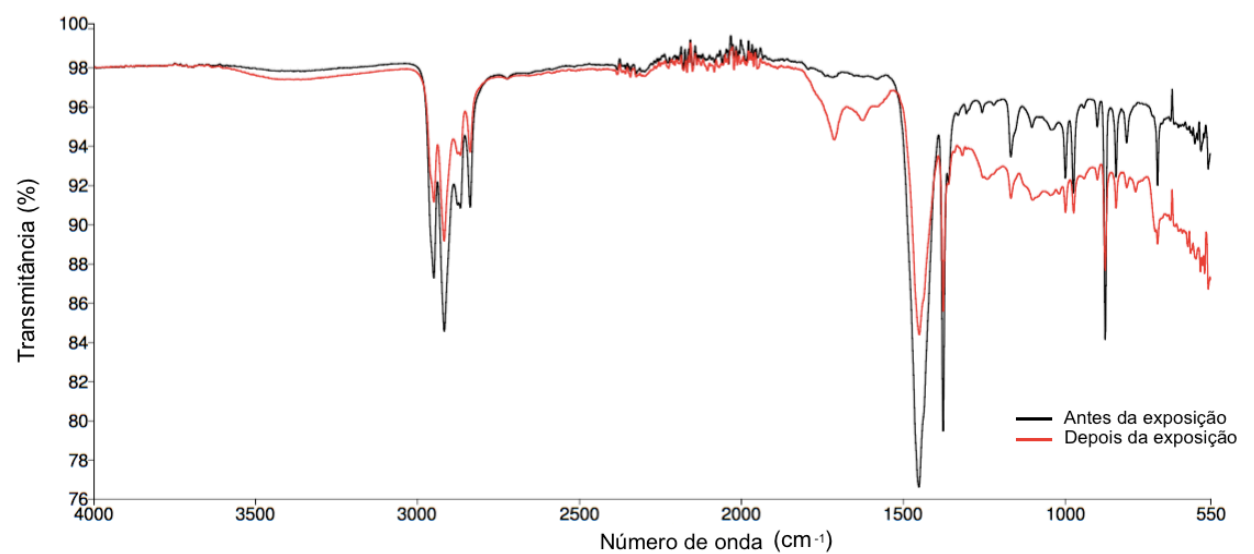
Fonte: Equipamento Spectrum 100.

Figura C.3 - Espectro de FTIR da amostra de PPRC antes e depois da exposição ao meio ambiente



Fonte: Equipamento Spectrum 100.

Figura C.4 - Espectro de FTIR da amostra de PPRM antes e depois da exposição ao meio ambiente



Fonte: Equipamento Spectrum 100.