

**Universidade Feevale  
Mestrado Profissional em Tecnologia de Materiais  
e Processos Industriais**

**ALAN VELLWOCK PETENUSSO DE LIMA**

**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO DE PVC  
COM RESÍDUO DE PAPEL RESINADO**

**Novo Hamburgo  
2018**

**Universidade Feevale  
Mestrado Profissional em Tecnologia de Materiais  
e Processos Industriais**

**ALAN VELLWOCK PETENUSSO DE LIMA**

**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO DE PVC COM RESÍDUO DE PAPEL  
RESINADO**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais.

**Orientador:** Prof. Dr. Eduardo Luis Schneider

**Novo Hamburgo  
2018**

## DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

Lima, Alan Vellwock Petenusso de.

Desenvolvimento de compósito de PVC com resíduo de papel resinado / Alan Vellwock Petenusso de Lima. – 2018.

106 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais) – Universidade Feevale, Novo Hamburgo-RS, 2018.

Inclui bibliografia.

“Orientador: Prof. Dr. Eduardo Luis Schneider”.

1. Compósitos de matriz polimérica. 2. Papel resinado. 3. PVC. 4. Reciclagem. 5. Resíduos. I. Título.

CDU 628.477.6

**Universidade Feevale  
Mestrado Profissional em Tecnologia de Materiais  
e Processos Industriais**

**ALAN VELLWOCK PETENUSSO DE LIMA**

**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO DE PVC COM RESÍDUO DE PAPEL  
RESINADO**

Dissertação de mestrado aprovada pela banca examinadora em 11 de Janeiro de 2018, necessária para conferir ao autor o título de Mestre em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais.

**Componentes da Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Eduardo Luis Schneider  
(Orientador)  
Universidade Feevale

Prof. Dr. Luiz Carlos Robinson  
Universidade Feevale

Prof. Dr. Alexandre Giacobbo  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

“O dia está na minha frente esperando para ser o que eu quiser. E aqui estou eu, o escultor que pode dar forma a este dia.”  
– Albert Einstein

Dedico este trabalho a minha família, que sempre apoiou minhas decisões e se manteve do meu lado em todos os momentos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha família e a minha namorada, que apoiaram a decisão de iniciar o curso de pós-graduação. Agradeço ao meu orientador que me ajudou durante todo este período de curso.

## RESUMO

Os resíduos gerados, tanto pelo setor industrial quanto doméstico, vem sendo foco de diversos estudos que objetivam a reutilização e reciclagem de, pelo menos, parte dos materiais presentes, diminuindo, assim, o impacto ambiental resultante do descarte em aterros industriais ou, ainda, de modo incorreto no meio ambiente. Os papéis resinados são utilizados no processo de espalmagem de laminados sintéticos de poliuretano (PU). A quantidade de vezes que o papel resinado é utilizado neste processo pode variar e é uma particularidade de cada bobina utilizada. Após sua utilização, os resíduos de papel resinado são separados e encaminhados para descarte em aterros industriais. Tendo em vista a responsabilidade empresarial sobre os resíduos gerados, além do apelo ambiental, o interesse econômico gera uma influência significativa. Assim, este trabalho tem como objetivo desenvolver um compósito com uma matriz polimérica de PVC com resíduo de papel resinado (RPR), gerado por empresas laminadoras de laminado sintético de PU. Uma bobina de papel resinado usado foi coletada e foi realizada a caracterização deste resíduo através de análises por espectroscopia de infravermelho e microscopia eletrônica de varredura (MEV). O RPR foi submetido a processos de cominuição e micronização, com a finalidade de reduzir sua granulometria, secagem e separação granulométrica. Após esses processos, foram confeccionados corpos de prova através do processo de injeção com as formulações 100% PVC, 90% PVC/5% RPR/5% de óleo de soja epoxidado (OSE)), 95% PVC/5% RPR, 90% PVC/10% RPR e 85% PVC/15% RPR, sendo estas três últimas formulações submetidas a um processo de aglutinação que antecedeu a etapa de injeção. Os corpos de prova foram submetidos a ensaios de resistência a tração e alongamento, de acordo com a Norma ASTM D-638 (2015) e, também, analisados através do MEV. O compósito apresentou propriedades mecânicas, referentes à resistência à tração, superiores quando utilizou o teor de 5% de RPR, sem o OSE, em comparação a outros compósitos utilizando PVC. O material desenvolvido também apresentou resultados dentro dos parâmetros estabelecidos para a produção de solados para calçados, fazendo com que seja uma alternativa para esta finalidade.

Palavras-chave: Compósitos de matriz polimérica. Papel resinado. PVC. Reciclagem. Resíduos.

## ABSTRACT

The waste that the industrial and domestic sector generate has been the focus for several studies aiming the reuse or recycle of, at least, part of the materials presents, thus reducing the environmental impact resulting from the disposal of materials in industrial landfills, or, incorrectly in the environment. Resin papers are used in the spreading process of polyurethane (PU) synthetic laminated. The amount of times that the resin paper is used depends of each version. After use, the wasted resin paper is separated and sent for disposal in industrial landfills. Knowing the companies responsibility about the generated residues, besides the environmental appeal, the economic interest has a significant influence. This work aims to develop a composite with a polymer matrix of PVC with resin paper residue (RPR), generated by companies that laminate polyurethane (PU) synthetic laminated. A roll of used resin paper was collected and then the characterization of the residue was made by infrared analyses and by scanning electron microscopy (SEM). Paper waste were submitted to comminution and micronization processes to reduce their grain size, drying and particle size separation. After these processes, the formulations were made through the injection process with the formulations 100% PVC, 90% PVC/5% RPR/5% of epoxidized soybean oil (ESO), 95% PVC/5% RPR, 90% PVC/10% RPR and 85% PVC/15% RPR, these last three formulations were submitted to an agglutination process that preceded the injection step. The specimens were subjected to tensile strength and elongation tests according to ASTM D-638 (2015) and also analyzed by scanning electron microscopy (MEV). The composite showed mechanical properties, related to tensile strength, higher when using 5%, without the ESO, of RPR compared to other composites with PVC. The developed material presented results withing parametes established for the production of shoes soles, giving an alternative for this purpose.

Keywords: Polymer matrix composites. PVC. Recycling. Residues. Resin paper.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação do monômero de PVC.....	21
Figura 2: Esquema representativo da formação da celulose por condensação de unidades glicosídicas .....	23
Figura 3: Fluxograma da produção da celulose .....	23
Figura 4: Papel reciclado utilizado em processos de prototipagem rápida (a) e moldagem (b) .....	25
Figura 5: Esquema do papel resinado utilizado no processo de produção de laminado sintético de PU.....	26
Figura 6: Fluxograma da metodologia.....	29
Figura 7: Bobina de papel resinado (a), papel resinado sendo utilizado (b) e papel resinado acondicionado para ser descartado (c).....	30
Figura 8: Triturador Industrial Seibt.....	31
Figura 9: Papel triturado após primeira etapa de cominuição em um triturador industrial.....	32
Figura 10: Moinho de facas de bancada Seibt.....	32
Figura 11: Papel após segunda etapa de cominuição em moinho de facas de bancada .....	33
Figura 12: Micronizador da marca AX Plásticos.....	33
Figura 13: Agitador de peneiras .....	34
Figura 14: Papel resinado após micronização.....	35
Figura 15: Aglutinador AFL-112 .....	36
Figura 16: Injetora APTA 80, marca Bonmaq, e regiões A, B, C e D do perfil de temperatura.....	37
Figura 17: Dinamômetro da marca Maqtest, utilizado para a realização dos ensaios de resistência à tração .....	37
Figura 18: Espectro de infravermelho da amostra de papel resinado .....	39
Figura 19: Espectro de infravermelho de resina poliéster .....	40
Figura 20: Micrografias da superfície resinada (a), do verso (b) e do corte transversal, por quebra criogênica (c) e corte com lâmina (d) da amostra.....	41
Figura 21: Corte transversal do papel com medida de espessura .....	42

Figura 22: Formulações com 5% de papel resinado a) com adição de OSP e b) aglutinado.....	43
Figura 23: Representação gráfica dos resultados médios dos ensaios de resistência à tração .....	44
Figura 24: Representação gráfica dos resultados médios de alongamento.....	44
Figura 25: Distribuição volumétrica da formulação 5 (85% PVC – 15% RPR) .....	45
Figura 26: Micrografias das regiões de fratura dos corpos de prova após ensaios de resistência à tração das formulações 2 (a), 3 (c), 4 (e) e 5 (g) e após quebra criogênica dos corpos de prova referentes às formulações 2 (b), 3 (d), 4 (f) e 5 (h).....	47
Figura 27: Energia incorporada no ciclo de vida de uma bobina de papel resinado com 500 kg .....	48
Figura 28: Emissão de CO <sub>2</sub> no ciclo de vida de uma bobina de papel resinado com 500 kg.....	49
Figura 29: Gráfico da emissão de CO <sub>2</sub> x Energia incorporada.....	49
Figura 30: Gráfico da relação preço x módulo de Young .....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Consumo de resinas termoplásticas no Brasil no ano de 2016.....	20
Tabela 2: Principais produtores de papel no mundo .....	24
Tabela 3: Secagem do resíduo de papel resinado .....	34
Tabela 4: Distribuição granulométrica do resíduo de papel resinado.....	35
Tabela 5: Formulações utilizadas para compósito PVC/Papel resinado .....	36

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

**ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas

**ASTM** – *American Society for Testing and Materials*

**EVA** – Acetato-vinilo de etileno

**cp** – Centipoise

**g/ml** – Grama por mililitro

**IBÁ** – Indústria Brasileira de Árvores

**IV** - Infravermelho

**kg/mês** – Quilograma por mês

**kWh** – Quilowatt hora

**MEV** - Microscopia eletrônica de varredura

**mm** – Milímetro

**OSE** – Óleo de soja epoxidado

**PA** – Poliamida

**PC** – Policarbonato

**PE** – Polietileno

**PEAD** – Polietileno de alta densidade

**PET** – Politereftalato de etileno

**PLA** - Poliacetato de vinila

**PMMA** - polimetil-metacrilato

**PNRS** – Política Nacional de Resíduos Sólidos

**PP** – Polipropileno

**PS** – Poliestireno

**PSAI** – Poliestireno de alto impacto

**PU** – Poliuretano

**PVC** – Policloreto de vinila

**rpm** – Rotações por minuto

**RPR** – Resíduo de papel resinado

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	17
2.1 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS (PNRS) .....	17
2.2 MATERIAIS POLIMÉRICOS .....	19
2.2.1 Policloreto de vinila - PVC .....	20
2.3 PAPEL .....	22
2.4 COMPÓSITOS .....	27
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	29
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DE PAPEL RESINADO .....	29
3.2 PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS E CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA ENSAIO DE TRAÇÃO .....	31
3.3 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E ALONGAMENTO .....	37
3.4 ANÁLISE DA MICROESTRUTURA E MORFOLOGIA DOS CORPOS DE PROVA .....	38
3.5 ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DO PAPEL RESINADO .....	38
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	39
4.1 ANÁLISE POR ESPECTROSCOPIA DE IV DO RESÍDUO DE PAPEL RESINADO .....	39
4.2 ANÁLISE MICROESTRUTURAL POR MEV DO RESÍDUO DE PAPEL RESINADO .....	41
4.3 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E ALONGAMENTO .....	42
4.4 ANÁLISE DA MICROESTRUTURA DOS CORPOS DE PROVA ATRAVÉS DO MEV .....	46
4.5 ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DO PAPEL RESINADO .....	48
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	51
<b>6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	53
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	54

## 1 INTRODUÇÃO

Com o aumento populacional e o grande desenvolvimento da indústria nas últimas décadas, a geração de resíduos atingiu grandes volumes. Na indústria, os resíduos gerados têm como destino os aterros industriais e encerram, assim, a vida útil dos materiais.

Essa destinação dada aos materiais descartados gera custos de armazenagem e transporte para as empresas. Além da questão financeira, há, também, a questão ambiental, pois o resíduo descartado poderia estar sendo aproveitado de alguma outra maneira, por exemplo, sendo reintroduzido no próprio processo produtivo, reciclado e tornando-se matéria prima para outros produtos ou, ainda, gerando energia.

Os materiais compósitos surgem como uma alternativa para utilização dos resíduos. Desta maneira, é possível reaproveitar resíduos, antes descartados pelos setores industriais e domésticos, como reforço ou carga de outros materiais, com novas características e propriedades.

Os polímeros estão presentes no cotidiano das pessoas, nas mais variadas formas. Eles são matérias primas para materiais como garrafas, mangueiras, peças automotivas, bolsas de sangue, brinquedos, embalagens, calçados, plásticos de engenharia e papéis resinados ou *release liners*. Por serem materiais utilizados em inúmeros setores, a geração de resíduos alcança valores altos. Os polímeros termoplásticos podem ser submetidos a novos processamentos, tornando-os matérias primas com um grande potencial de reciclagem, sendo reaproveitados no próprio processo de produção ou, ainda, sendo reciclados.

Com a possibilidade de reciclagem, os polímeros podem, também, ser utilizados como matriz polimérica para outros materiais compósitos. Desta maneira, quando misturados e reprocessados, podem apresentar novas propriedades, permitindo o desenvolvimento de novos materiais.

No ano de 2016, o Brasil produziu um total de 6,2 milhões de toneladas de polímeros, tendo o policloreto de vinila (PVC) como o terceiro plástico mais produzido. O PVC foi superado apenas pelo polipropileno (PP) e pelo polietileno de alta densidade (PEAD). Essa colocação do PVC se deve pela sua presença em vários setores, já que é um polímero muito versátil (ABIPLAST, 2016).

Desta maneira, o objetivo geral deste trabalho é desenvolver um compósito de PVC, utilizando um resíduo de papel resinado como carga, em diferentes formulações, e caracterizar suas propriedades mecânicas. A matriz polimérica escolhida foi o PVC devido a sua grande utilização na região e pela parcela que representa quando se refere a quantidade de resíduo gerado, principalmente no setor da construção civil.

Os objetivos específicos são:

- Caracterizar o resíduo através de análises de espectroscopia de infravermelho (IV) e de microscopia eletrônica de varredura (MEV);
- Desenvolver formulações de PVC com diferentes quantidades de resíduo de papel resinado, avaliando suas propriedades mecânicas em ensaios de tração;
- Caracterizar os compósitos obtidos por análises no MEV;
- Realizar uma eco auditoria, analisando o ciclo de vida do papel resinado, verificando a energia incorporada e as emissões de CO<sub>2</sub>, utilizando o software *Cambridge Engineering Selector*®.

A dissertação está dividida em sete capítulos, sendo definidos de acordo com as descrições abaixo:

- Capítulo 1, apresentando a Introdução, onde há uma abordagem do problema e contextualização da geração de resíduos e, também, os objetivos do trabalho;
- Capítulo 2 faz uma revisão da literatura dos elementos apresentados neste trabalho, tais como, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), materiais poliméricos, papel e compósitos;
- Capítulo 3, demonstra as etapas seguidas para o desenvolvimento do trabalho;
- Capítulo 4, traz os resultados obtidos através da metodologia aplicada;
- Capítulo 5 apresenta as conclusões obtidas após a realização do trabalho;
- Capítulo 6 traz sugestões para trabalhos futuros;
- Capítulo 7 apresenta as referências utilizadas para o desenvolvimento do presente trabalho.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Para o desenvolvimento deste trabalho, alguns temas foram abordados. Estes temas foram descritos neste capítulo.

### 2.1 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS (PNRS)

A lei nº 12.035 que regula a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), foi instituída em 2 de agosto de 2010. Por determinação da lei, inicialmente, as prefeituras do país deveriam ter, até agosto de 2012, planos para gerenciar os resíduos sólidos, com prazo de dois anos para coloca-los em operação e, também, alcançar um índice de reciclagem de 20% em 2015, segundo o Ministério do Meio Ambiente (2017). Estes planos envolvem a redução na geração de resíduos, metas para reciclagem e extinção dos lixões (FILHO et al., 2015). De acordo com a PNRS, os resíduos sólidos são definidos como: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividade humana em sociedade, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semi sólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, Lei nº 12.305/10, inciso XVI, art. 3º).

O descarte de resíduos sólidos é o ponto final da cadeia, que passa pela extração dos recursos naturais, pela transformação e pela manufatura dos produtos. É tido como certo, desde o início do processo. O aumento do volume dos resíduos sólidos e a forma inadequada para sua disposição final são agravantes (GOMES et al., 2014). Além da elaboração de planos visando o tratamento dos resíduos sólidos, a PNRS estabelece a responsabilidade compartilhada, entre governo, indústrias e consumidores, e a participação de catadores no sistema de logística reversa.

O resíduo industrial é aquele que tem origem nas atividades industriais, nos mais variados ramos existentes. Devido às inúmeras atividades industriais, os

resíduos podem variar muito, estando, ou não, relacionados a um determinado produto final (GRIPPI, 2006). Segundo Mano, Pacheco e Bonelli (2005), o gerenciamento até a destinação final do resíduo industrial é de responsabilidade da própria empresa geradora. A Norma Brasileira NBR 10004/2004 – Resíduos Sólidos – Classificação (ABNT, 2004) classifica os resíduos que tem origem de atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços ou ainda de varrição. A classificação é dividida em Resíduos Classe I (perigosos) e Resíduos Classe II (não perigosos). Sendo os Resíduos Classe II subdivididos em duas categorias, Resíduos Classe II A (não perigosos e não inertes) e Resíduos Classe II B (não perigosos e inertes).

Os materiais poliméricos estão presentes, em grande volume, nos resíduos descartados, diariamente, no Brasil. Esse fator é consequência do aumento de sua utilização nos mais variados setores. Para minimizar esse impacto no meio ambiente, pode-se adotar a reciclagem destes materiais descartados (COSTA et al., 2016). A classificação da reciclagem de polímeros está separada em quatro categorias: reciclagem primária, secundária, terciária e quaternária (NAZÁRIO et al., 2016). As reciclagens primária e secundária envolvem processos mecânicos, e é denominada reciclagem mecânica. Enquanto a reciclagem primária foca em reintroduzir o resíduo dentro do próprio processo de produção, a secundária necessita da conversão dos descartes, após a industrialização ou consumo, para a produção de novos produtos. Na reciclagem química, ou terciária, as moléculas são reduzidas por tratamento químico e/ou utilizando temperatura com a finalidade de recuperar os monômeros originais do material. A reciclagem quaternária, ou energética, envolve a utilização de resíduos mais complexos ou que necessitem de cuidados especiais, como compósitos, termofixos ou resíduos hospitalares, sendo eles encaminhados para a incineração com a finalidade de recuperar a energia (FIGUEIREDO et al., 2015).

Atualmente, resíduos que, anteriormente, eram encaminhados para descarte, surgem como opção para matéria prima em novos processos, gerando materiais classificados como compósitos. Esses materiais compósitos podem, além de apresentar novas características, trazer vantagens econômicas e ambientais, conforme é abordado por Figueiredo et al. (2015).

## 2.2 MATERIAIS POLIMÉRICOS

Os materiais poliméricos são materiais de origem natural ou sintética que consistem em macromoléculas com uma grande repetição de unidades químicas com massa molar da ordem de  $10^4$  a  $10^6$  g/mol (AKCEL RUD, 2007). O tamanho das suas macromoléculas, a estrutura química e as interações intra e intermoleculares que irão determinar suas características (SPINACÉ; PAOLI, 2005).

Os polímeros têm como base de suas cadeias os átomos de carbono. Além do carbono, sua composição química é baseada no hidrogênio e em alguns elementos não metálicos, como oxigênio, nitrogênio e silício. Os polímeros mais comuns e conhecidos são o politereftalato de etileno (PET), policloreto de vinila (PVC), policarbonato (PC), polietileno (PE), poliamida (PA), polipropileno (PP), poliestireno (PS) e a borracha de silicone (CALLISTER JÚNIOR; RETHWISCH, 2012).

As macromoléculas são obtidas através da polimerização dos monômeros, obtidos a partir da nafta. Podem ser classificados como termoplásticos e termofixos.

Termoplásticos são polímeros que, em temperatura ambiente, se encontram em estado sólido e, quando submetidos a um aumento de temperatura, superior à sua temperatura de fusão, tornam-se fluídos e podem ser submetidos a processos de moldagem. Os polímeros termofixos, durante seus processos de moldagem, sofrem reações químicas que impedem um futuro reprocessamento, ao contrário dos termoplásticos (LANDIM et al., 2016). Como exemplo de termoplásticos, têm-se o PP, o PE, o PET, o PVC e o PS (SPINACÉ; PAOLI, 2005).

De um modo geral, materiais poliméricos possuem baixa massa específica, com características mecânicas bem diferentes das apresentadas por materiais metálicos e cerâmicos, não sendo tão rígidos e resistentes quanto eles. Apesar disso, são materiais bastante dúcteis e flexíveis, sendo possível adotar inúmeras formas (CALLISTER JÚNIOR; RETHWISCH, 2012).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria do Plástico (Abiplast), no ano de 2015, o consumo de resinas termoplásticas no Brasil pode ser demonstrado através da Tabela 1. É possível observar que as resinas termoplásticas mais utilizadas no Brasil são o PP, com 22,3%, o PEAD, 17,4% e o PVC, com 15,6%.

**Tabela 1: Consumo de resinas termoplásticas no Brasil no ano de 2016.**

Ranking	Resina termoplástica	Consumo (%)
1º	Polipropileno (PP)	22,3
2º	Polietileno de alta densidade (PEAD)	17,4
3º	Policloreto de vinila (PVC)	15,6
4º	Polietileno de baixa densidade linear (PEBDL)	12,4
5º	Polietileno de baixa densidade (PEBD)	10,6
6º	Politereftalato de etileno (PET)	7,1
7º	Plásticos de engenharia	6,1
8º	Poliestireno (PS)	4,6
9º	Poliestireno expandido (EPS)	2,3
10º	Acetato-vinilo de etileno (EVA)	1,4

Fonte: adaptado de Abiplast, 2017.

De acordo com a Abiplast, no ano de 2016 a produção mundial de resinas termoplásticas foi de 269 milhões de toneladas, com o Brasil sendo produtor de 6,2 milhões de toneladas. Número superior à participação de todo o restante da América Latina, que foi de 5,7 milhões de toneladas.

O setor da construção civil domina o consumo das resinas termoplásticas no Brasil, utilizando-as para minimizar a utilização do concreto, obtendo uma redução de peso na parte estrutural das construções. Além disso, os plásticos são muito utilizados em esquadrias, conexões e em estruturas que necessitem isolamento térmico e acústico.

Os setores de embalagens para alimentos e de peças automotivas aparecem, respectivamente, como segundo e terceiro maiores consumidores de resinas termoplásticas no país.

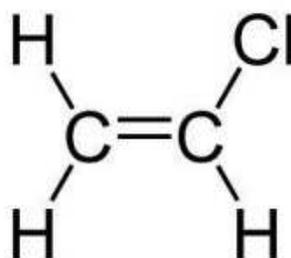
### 2.2.1 Policloreto de vinila – PVC

O PVC é um polímero bastante versátil, podendo ser classificado em flexível ou rígido (VARGAS, 2016). Pode ser utilizado em calhas de chuva, janelas,

revestimentos de paredes, brinquedos, calçados, mangueiras, tubos para condução de água e em bolsas de sangue. O processamento do PVC pode ser realizado através da injeção, extrusão, calandragem e espalmagem (MADALENO et al., 2009). Segundo o Instituto Brasileiro do PVC (2017), os aditivos utilizados na elaboração do composto de PVC, determinam as características do material de acordo com a necessidade. A utilização de aditivos no processo produtivo do PVC torna possível sua produção com diferentes propriedades fazendo com que seja um dos polímeros mais utilizados no mundo (YU et al., 2016). Para a obtenção do PVC flexível, é necessária a utilização de substâncias determinadas plastificantes. Segundo Bazilio, Barros e Abrantes (2014), existem, aproximadamente, trezentos tipos de substâncias químicas que podem ser adicionadas ao composto de PVC e podem atuar como plastificante como, por exemplo, o dioctil ftalato (DOP), diisononil ftalato (DINP), dioctil adipato (DOA), diisononil ciclohexano 1,2 dicarboxilato (DINCH), ester alquil sulfônico (ASE), dioctil tereftalato (DOTP) e o plastificante polimérico (POE) (VARGAS, 2016).

O PVC é bastante utilizado na construção civil, na indústria de eletrônicos e em materiais para embalagens devido a algumas características como a resistência à corrosão e uma boa resistência mecânica (WANG et al. 2017). O PVC é obtido através de uma mistura composta por, aproximadamente, 57% de cloro, com origem do cloreto de sódio, e 43% de eteno, proveniente do petróleo e do gás natural. O monômero de PVC pode ser observado na Figura 1.

**Figura 1: Representação do monômero de PVC.**



Fonte: Perito, 2011.

A presença do cloro na molécula do PVC, torna este polímero um material com baixa inflamabilidade e, também, contribui para a afinidade com uma

quantidade maior de aditivos (RODOLFO JUNIOR; MEI, 2017). Segundo Medeiros e Wiebeck (2013), já existem trabalhos em andamento com o objetivo de tornar o PVC um polímero ecologicamente sustentável, visando a substituição da parte de sua massa obtida através do petróleo por materiais com origem na cana-de-açúcar.

O PVC possui um enorme potencial de reciclagem, sendo possível fazer uma reciclagem primária, onde aparas e resíduos industriais são cominuídos e retornam ao processo de industrialização. Também é possível realizar a reciclagem secundária, reprocessando resíduos de PVC coletados após serem descartados por seus geradores segundo (PENNAFORT; JUNIOR; SILVA E DEUS, 2013). De acordo com os autores, no Brasil, a maior parte de seu consumo vem do setor da construção civil, sendo o polímero com maior presença nos resíduos gerados nesta área.

### 2.3 PAPEL

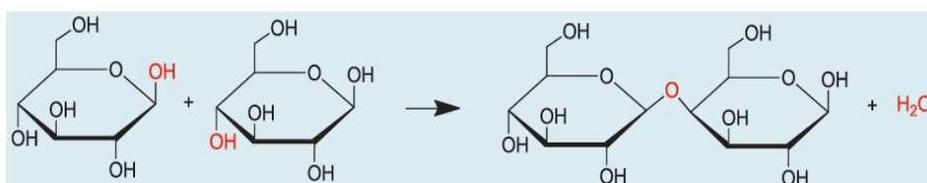
De acordo com Brito et al. (2016), o papel surgiu por volta do ano 105 d.C. e através do chinês T'sai Lun. A técnica desenvolvida a produção do papel envolvia a utilização de resíduo têxtil e, posteriormente, foi evoluindo, fazendo com que os chineses tivessem uma grande variedade de propriedades em seus papéis, como cor, maleabilidade, textura e resistências.

O papel é um material formado por fibras celulósicas extraídas da madeira. A celulose extraída das árvores é a principal matéria prima para o processo de produção de papéis, que são diferenciados de acordo com sua gramatura (quantidade de massa em gramas em 1 m<sup>2</sup> de material), espessura (distância entre uma face e a outra) e pela sua rigidez (capacidade de dobrar ou se curvar) (MANO; PACHECO; BONELLI, 2005). Para se obter a celulose, deve ocorrer uma polpação, ou cozimento, *kraft*, onde ocorre a deslignificação da madeira (SANTOS et al., 2016). O processo *kraft*, gera uma grande quantidade de resíduos de fibra de celulose de baixa qualidade (ARAUJO et al., 2016). As características das fibras celulósicas irão influenciar na qualidade do papel segundo (BENITES et al. 2015). A variedade de madeiras, que apresentam composições químicas, físicas e anatômicas diferentes, faz com que, mesmo utilizando o mesmo processo produtivo,

ocorram como resultado diferentes propriedades nas polpas celulósicas utilizadas na produção de papel (ZANUNCIO et al., 2016). O papel pode ser apresentado em diversas formas, papéis para escrever e imprimir, papel cartão, papéis toalhas ou higiênicos, autoadesivos ou papel cartão (TEIXEIRA et al., 2017).

Além do processo *kraft*, que serve para dissolver a lignina e liberar as fibras na madeira evitando, ao máximo que os carboidratos que compõem a celulose (Figura 2), outras etapas são essenciais para que a celulose seja obtida.

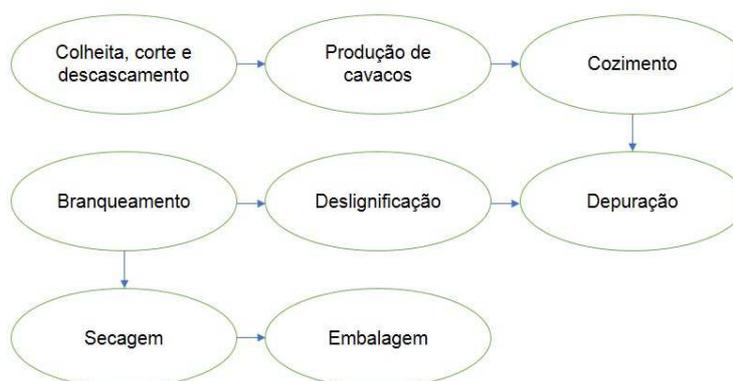
**Figura 2: Esquema representativo da formação da celulose por condensação de unidades glicosídicas.**



Fonte: Teixeira et al. 2017.

O processo inicia com o descascamento das madeiras (Figura 3) para que, posteriormente, sejam transformadas em cavacos picados que serão submetidos ao cozimento. As próximas etapas envolvem a depuração e lavagem, para que possa ser submetido ao processo de branqueamento e secagem (ALVES et al., 2015).

**Figura 3: Fluxograma da produção da celulose.**



Fonte: adaptado de Celulose Riograndense, 2017.

O processo de depuração faz com que impurezas sólidas sejam retiradas da polpa após o cozimento. Impurezas que são solúveis permanecem e acabam sendo removidas no processo de lavagem. O branqueamento pode, ou não, fazer parte do processo dependendo da futura utilização do material sendo, assim, encaminhado para a secagem se for destinado para a venda (DIAS; SIMONELLI, 2013).

Após a obtenção da matéria prima para a produção do papel, atualmente, ela é submetida a processos de desintegração e é encaminhada para a refinação. Neste processo, suas fibras sofrem alterações, devido a ações mecânicas, para que possam ser distribuídas de maneira mais eficiente, evitando aglomerações. Posteriormente, há o processo que irá formar as folhas, que serão submetidas à secagem, enrolamento e corte (DIAS; SIMONELLI, 2013).

Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), em 2016 havia uma área de 7,84 milhões de hectares de árvores plantadas de reflorestamento. Deste total, 34% são destinados para a produção de celulose e papel superando o setor de comercialização de madeira *in natura*, que representa 29%, seguido da siderurgia a carvão, com 14%. No ano de 2016, o Brasil produziu o total de 10,3 milhões de toneladas de papel, onde 80% tem como destino o mercado interno e o restante é exportado. No ranking de produtores de papel no mundo, o Brasil ocupa a oitava colocação, conforme a Tabela 2.

**Tabela 2: Principais produtores de papel no mundo.**

Ranking	País	Produção em milhões de toneladas
1º	China	111,2
2º	Estados Unidos	72,4
3º	Japão	26,2
4º	Alemanha	22,6
5º	Índia	15,0
6º	Coréia do Sul	11,6
7º	Canadá	10,6
8º	Brasil	10,3
9º	Finlândia	10,3
10º	Indonésia	10,2

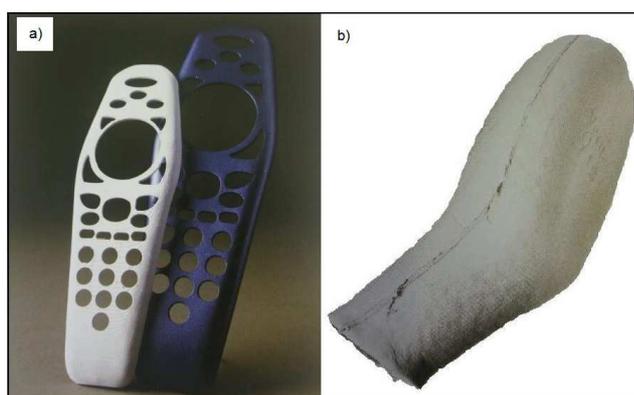
Fonte: adaptado de IBÁ, 2017.

Apesar de ter sido o oitavo país que mais produziu papel no mundo, o Brasil foi o segundo maior produtor de celulose no ano de 2016, com 18,8 milhões de toneladas. Quantidade superada apenas pelos Estados Unidos, que teve uma produção de 48,5 milhões de toneladas (IBÁ, 2017).

O papel é um material com grande potencial de reciclagem e grande parte do que é coletado pode ser convertido novamente em polpa. Tendo a matéria prima para a sua produção, é possível utilizá-la para originar novos produtos dentro da indústria, mesmo, geralmente, sendo folhas simples e embalagens (LEFTERI, 2013). Segundo Grippi (2006), a reciclagem do material já era feita na época em que o mesmo foi descoberto, onde seu resíduo era convertido em polpa e era possível utilizá-lo na fabricação de um papel de qualidade inferior.

Para a reciclagem do papel, ele é coletado, separado e classificado. Após essas etapas, ele passa por um processo onde volta a ser a polpa. Essa polpa, volta a ser matéria prima, mas agora para a produção de papel reciclado. Além disso, ele pode ser reaproveitado dentro do próprio processo de produção (ERVASTI; MIRANDA; KAURANEN, 2016). Ele também pode ser utilizado na manufatura de papel moldado e na prototipagem rápida (LEFTERI, 2013), como pode-se observar na Figura 4.

**Figura 4: Papel reciclado utilizado em processos de prototipagem rápida (a) e moldagem (b).**



Fonte: Lefteri, 2013.

Segundo Nani (2008), a reciclagem de uma tonelada de papel faz com que se obtenha uma economia de 4.200 kWh de energia. Além de economizar energia, é possível poupar, aproximadamente, 26.000 litros de água e evitar o corte de 17

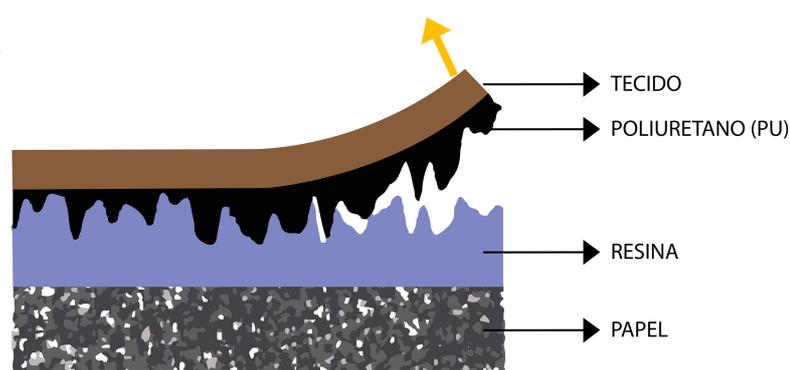
árvores. Pode-se citar como vantagem de sua reciclagem, a diminuição do envio de resíduo para aterros, economia de matéria prima, energia e água (GRIPPI, 2006). Mesmo sendo reaproveitado, em sua maior parte, para a produção de papel e embalagens de papelão, o resíduo de papel pode ser reaproveitado como material para isolamento, preenchimento e até como combustível (LUND, 2001).

O papel resinado é uma matéria prima utilizada no processo de fabricação de laminados sintéticos de poliuretano (PU) e serve para dar textura ao material, conforme Figura 5.

O papel resinado difere do convencional devido à camada de resina que é aplicada em sua superfície, similar ao que se encontra em fitas adesivas ou rótulos adesivos, denominados *release liners*, impedindo a auto colagem (RIBEIRO; PERES, 2009).

Após o término de sua vida útil, ele é separado e enviado a aterros industriais. Uma empresa de médio porte de laminado sintético gera, em média, 1.500 kg/mês de resíduo de papel resinado. Segundo informações fornecidas pela empresa Crespi do Brasil, no ano de 2017, a cada bobina de 500 kg de papel resinado, foi possível produzir, aproximadamente, 26.000 m de laminado sintético de PU.

**Figura 5: Esquema do papel resinado utilizado no processo de produção de laminado sintético de PU.**



Fonte: do autor, 2017.

A presença dessa resina impede a realização do processo convencional de reciclagem do papel, situação similar à citada por Xie et al. (2016), em que compósitos de polietileno e alumínio são, diretamente, encaminhados a aterros

industriais ou locais para serem incinerados. Atualmente, não se encontra na literatura metodologias de separação deste papel da resina e ele acaba sendo encaminhado para descarte em aterro industrial, gerando impacto ambiental.

## 2.4 COMPÓSITOS

Os materiais compósitos surgiram com a finalidade de atingir propriedades necessárias, mesclando características e levando a novas aplicações que não seriam possíveis quando são utilizados apenas materiais fundamentais (CUNHA; BARRETO; MENDES, 2016). Segundo Callister Júnior e Rethwisch (2012), os materiais compósitos são compostos por duas fases, sendo uma delas denominada matriz e a outra chamada de reforço.

Além da procura de novos materiais, os compósitos podem buscar a melhoria de determinadas propriedades já presentes no material, como é o caso do concreto (BORGES et al., 2017). Os compósitos podem ser alternativas para tornar os materiais menos prejudiciais ao meio ambiente, buscando materiais biodegradáveis. Esse fator vem tendo grande importância, conforme é evidenciado na literatura por Mählmann et al. (2015), que utiliza o termoplástico de amido, com fracas características mecânicas quando utilizado isoladamente, e busca reforçá-lo utilizando uma mistura deste polímero com polipropileno.

A utilização de compósitos de matriz polimérica iniciou por volta do ano de 1910 devido a necessidades da indústria do setor militar sendo, posteriormente, difundido nos demais setores industriais. A relação entre alta resistência mecânica e baixa massa, faz com que estes compósitos sejam muito utilizados em componentes automotivos, náuticos e aeronáuticos ou, ainda, como estruturas marítimas, componentes eletrônicos e esportivos. No setor automotivo, o desenvolvimento de novos materiais compósitos poliméricos faz com que ocorra uma diminuição da massa total do veículo, evitando desgastes desnecessários e diminuindo custos, e, também, aumentando a segurança dos passageiros (GUTIÉRREZ; RUBIO; FARIA, 2014).

Após a apresentação dos tópicos envolvidos neste trabalho, foi estabelecida a metodologia utilizada para o desenvolvimento do mesmo. Esta metodologia será descrita no capítulo a seguir.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas da metodologia foram realizadas conforme a Figura 6. Tendo como ponto de partida, a coleta do resíduo, a metodologia pode ser separada em três etapas, sendo elas, a caracterização do resíduo, análise de ciclo de vida do resíduo e desenvolvimento do compósito.

**Figura 6: Fluxograma da metodologia.**



Fonte: do autor, 2017.

A metodologia se iniciou através da caracterização do resíduo de papel resinado, por espectroscopia por IV e MEV e de uma análise do ciclo de vida do mesmo. Após estas duas etapas, foram desenvolvidos compósitos de PVC com diferentes teores de papel resinado, que foram moldados em corpos de prova para ensaio de tração e, posteriormente, foram caracterizados por MEV.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DE PAPEL RESINADO

O papel resinado é adquirido em bobinas de, aproximadamente, 500 kg (Figura 7 (a)) e que são utilizadas no processo de espalmagem do laminado sintético

de PU. A quantidade de vezes que o material é utilizado no processo de produção pode variar e é uma particularidade de cada versão. Ele é utilizado na espalmagem dos laminados sintéticos de PU, conforme Figura 7 (b), onde é possível observá-lo sendo introduzido no processo de produção e sendo rebobinado. Após a sua utilização, ele é limpo e separado, em fardos ou bobinas, e é encaminhado para descarte em aterro industrial, conforme pode ser observado na Figura 7 (c). Os resíduos de papel utilizados neste trabalho foram doados pela empresa Crespi do Brasil LTDA., localizada em Novo Hamburgo-RS.

**Figura 7: Bobina de papel resinado (a), papel resinado sendo utilizado (b) e papel resinado acondicionado para ser descartado (c).**



Fonte: do autor, 2017.

A caracterização do material foi realizada no Laboratório de Estudos Avançados em Materiais da Universidade Feevale. Foram realizadas análises de espectrografia de infravermelho (IV) para identificar a resina que é utilizada como revestimento, de acordo com processo citado por Ashton et al. (2015). Essas análises foram realizadas com o aparelho Spectrum Two, com o acessório UATR. Também foram realizadas micrografias de amostras de papéis resinados em um microscópio eletrônico de varredura (MEV), da marca Jeol, modelo JEOL 6510LV, para verificar a microestrutura e morfologia dos resíduos escolhidos. As amostras tiveram as camadas de papel e de resina analisadas e, também, suas seções transversais. Para a realização das micrografias das seções transversais das amostras, elas foram preparadas de duas maneiras. Primeiramente, elas foram submetidas ao processo de fragilização criogênica, com o uso de nitrogênio líquido, e quebra manual para posterior metalização das amostras com ouro (Au). A outra

maneira utilizada foi com o auxílio de um estilete para o corte das amostras e, após isso, a realização da metalização com ouro. A metalização também foi feita com a parte da superfície resinada e no verso das amostras.

De acordo com Crespi do Brasil LTDA (2017), o papel resinado utilizado neste trabalho apresenta uma gramatura, aproximada, de 208 g/m<sup>2</sup>. Deste total, 125 g/m<sup>2</sup> correspondem ao papel e 83 g/m<sup>2</sup> à resina que o reveste. A resina utilizada neste material é composta por resina acrílica com poliacetato de vinila (PVA).

### 3.2 PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS E CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA ENSAIO DE TRAÇÃO

As etapas de preparação dos materiais e a confecção dos corpos de prova para a realização dos ensaios de resistência à tração foram realizadas no Laboratório de Reciclagem do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologias Limpas da Universidade Feevale. Inicialmente, os resíduos de papel resinado foram rasgados, manualmente, para que fosse possível a obtenção de pedaços com tamanhos adequados para a próxima etapa.

Com o resíduo, previamente rasgado, foi realizado um processo de cominuição do material. Esse processo envolveu duas etapas, sendo a primeira realizada em um triturador industrial (*Shredder*) da marca Seibt, conforme Figura 8.

**Figura 8: Triturador Industrial Seibt.**



Fonte: do autor, 2017.

O papel foi triturado duas vezes no *Shredder*, e a morfologia de parte do papel triturado neste trabalho pode ser observada na Figura 9.

**Figura 9: Papel triturado após primeira etapa de cominuição em um triturador industrial.**



Fonte: do autor, 2017.

O segundo processo de cominuição foi realizado em um moinho de facas de bancada, da marca Seibt (Figura 10), modelo MGHS 15/85, com uma rotação de 1125 rpm e peneira de 8 mm. O processo de trituração do resíduo é essencial, pois ajuda a diminuir a granulometria do material, facilitando, assim, a homogeneização das misturas que serão realizadas posteriormente (LIGOWSKI; SANTOS; FUJIWARA, 2015).

**Figura 10: Moinho de facas de bancada Seibt.**



Fonte: do autor, 2017.

O material após o segundo processo de cominuição pode ser observado na Figura 11.

**Figura 11: Papel após segunda etapa de cominuição em moinho de facas de bancada.**



Fonte: do autor, 2017.

Após os processos de trituração, foi realizada a micronização do resíduo. Para realizar este processo, foi utilizado um micronizador da marca AX Plásticos (Figura 12), com rotação de 1.600 rpm, similar ao processo utilizado por Ashton et al. (2015).

**Figura 12: Micronizador da marca AX Plásticos.**



Fonte: do autor, 2017.

Após a micronização do resíduo, ele foi submetido a um processo de secagem. Neste processo, o resíduo de papel foi colocado em uma bandeja de alumínio, previamente lavada, seca e pesada em uma balança da marca Marte Modelo MABS 500, com o auxílio de uma colher de aço inox. Na mesma balança, foi verificado a massa total do resíduo, correspondente à 248,1 g.

Em uma estufa marca DeLeo Modelo A5AFD, previamente aquecida na temperatura de 60°C, o material foi colocado e teve sua massa controlada a cada hora. Esse processo foi repetido até a massa do resíduo parar de sofrer variações dimensionais, conforme pode ser visto na Tabela 3.

**Tabela 3: Secagem do resíduo de papel resinado.**

Horário	Massa (g)
14:50	262,0
15:50	255,7
16:50	254,8
17:50	254,5
18:50	253,9
19:50	253,9
20:50	253,9

Fonte: do autor, 2017.

A próxima etapa, com o resíduo devidamente seco, consistiu na separação granulométrica do material, pois algumas partículas de papel tendem a se aglomerar. Para tanto, foi utilizado um agitador de peneira, ilustrado na Figura 13, localizado no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologias Limpas da Universidade Feevale.

**Figura 13: Agitador de peneiras.**



Fonte: do autor, 2017.

As peneiras utilizadas para a separação granulométrica foram as de 5, 9, 32 e 80 Mesh. O material foi submetido ao processo por um tempo de 10 minutos, utilizando a frequência 10 do agitador. Após este processo, obteve-se a distribuição granulométrica descrita na Tabela 4.

**Tabela 4: Distribuição granulométrica do resíduo de papel resinado.**

Peneira (Mesh)	Tamanho da abertura (mm)	Resíduo (%)
5	4,000	9,22
9	2,000	3,73
32	0,500	48,38
80	0,177	38,68

Fonte: do autor, 2017.

Tendo a distribuição granulométrica do resíduo micronizado, para a confecção dos corpos de prova, foram utilizados os materiais abaixo:

- Resíduo de papel resinado, após ser submetido aos processos de trituração, micronização (Figura 14), citado anteriormente;
- PVC, em *pellets*, utilizado para a injeção de solas de calçados;
- Óleo de soja epoxidado Drapex 6.8, com viscosidade 380 cp e densidade 0,990 g/ml, na temperatura de 25°C;

**Figura 14: Papel resinado após micronização.**



Fonte: do autor, 2017.

As misturas foram feitas de acordo com as formulações descritas na Tabela 5. Os materiais foram colocados em um recipiente limpo e misturados com o auxílio de uma espátula.

**Tabela 5: Formulações utilizadas para compósito PVC/Papel resinado.**

Material	Formulação 1	Formulação 2	Formulação 3	Formulação 4	Formulação 5
PVC	100%	90%	95%	90%	85%
Papel resinado	--	5%	5%	10%	15%
Drapex 6.8	--	5%	--	--	--

Fonte: do autor, 2017.

As formulações foram preparadas em recipientes plásticos, previamente limpos e secos, com um total de massa de 400g. Para a mistura dos materiais, foi utilizada uma espátula de metal limpa e seca. Com exceção das formulações 1 e 2, as outras misturas preparadas foram submetidas a um processo de aglutinação em um aglutinador da marca F.L. Mossmann, modelo AGL-112, conforme Figura 15. As formulações permaneceram no aglutinador por, aproximadamente, 20 minutos até atingirem a temperatura de 90°C.

**Figura 15: Aglutinador AFL-112.**

Fonte: do autor, 2017

Após a mistura das formulações, foi realizado o processo de injeção através de uma injetora da marca Bonmaq, modelo APTA 80, com um perfil de temperatura de (A) 155°C – (B) 160°C – (C) 165°C – (D) 170°C, conforme indicado na Figura 16.

**Figura 16: Injetora APTA 80, marca Bonmaq, e regiões A, B, C e D do perfil de temperatura.**



Fonte: do autor, 2017.

Esse perfil de temperatura foi utilizado para todas as formulações, de acordo com o método utilizado por Abatti e Domingues Junior (2011). Os corpos de prova foram injetados atendendo a norma ASTM D-638 (2015), com uma área útil para teste de 50 mm x 6 mm x 2 mm.

### 3.3 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E ALONGAMENTO

Os ensaios de resistência à tração e alongamento foram realizados em um Dinamômetro da marca Maqtest (Figura 17). O ensaio foi realizado de acordo com a Norma ASTM D-638 (2015), conforme recomendado na literatura (GOMES et al., 2017). A célula de carga utilizada foi de 200 kgf e velocidade de 100 mm/min.

**Figura 17: Dinamômetro da marca Maqtest, utilizado para a realização dos ensaios de resistência à tração.**



Fonte: do autor, 2017.

Os testes foram realizados utilizando cinco corpos de prova para cada formulação. Apenas a formulação que utilizou o óleo epoxidado teve o ensaio de resistência à tração realizado com quatro corpos de prova devido à falta de material.

### 3.4 ANÁLISE DA MICROESTRUTURA E MORFOLOGIA DOS CORPOS DE PROVA

Foram realizadas microscopias, com a utilização do MEV, para verificar a microestrutura e morfologia da região de fratura dos corpos de prova após a realização dos ensaios de resistência à tração. Os corpos de prova também foram submetidos à quebra manual após o processo de fragilização por criogenia, com nitrogênio líquido, para serem analisados no MEV.

### 3.5 ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DO PAPEL RESINADO

A análise do ciclo de vida do material foi realizada com a utilização do *software Cambridge Engineering Selector*<sup>®</sup>. A análise teve como objetivo verificar a energia incorporada e a emissão de CO<sub>2</sub> que envolvem os processos de extração de matéria-prima, produção do papel resinado e o transporte até chegar pronto na empresa Crespi do Brasil LTDA., onde são utilizados no processo de espalmagem de laminados sintéticos de PU.

Foram consideradas as seguintes distâncias para a análise de ciclo de vida de uma bobina de papel resinado com 500 kg. O transporte marítimo, de Nova Iorque a Rio Grande, de, aproximadamente, 10.500 km e transporte terrestre, de caminhão, entre as cidades de Rio Grande e Novo Hamburgo com distância, aproximada, de 365 km.

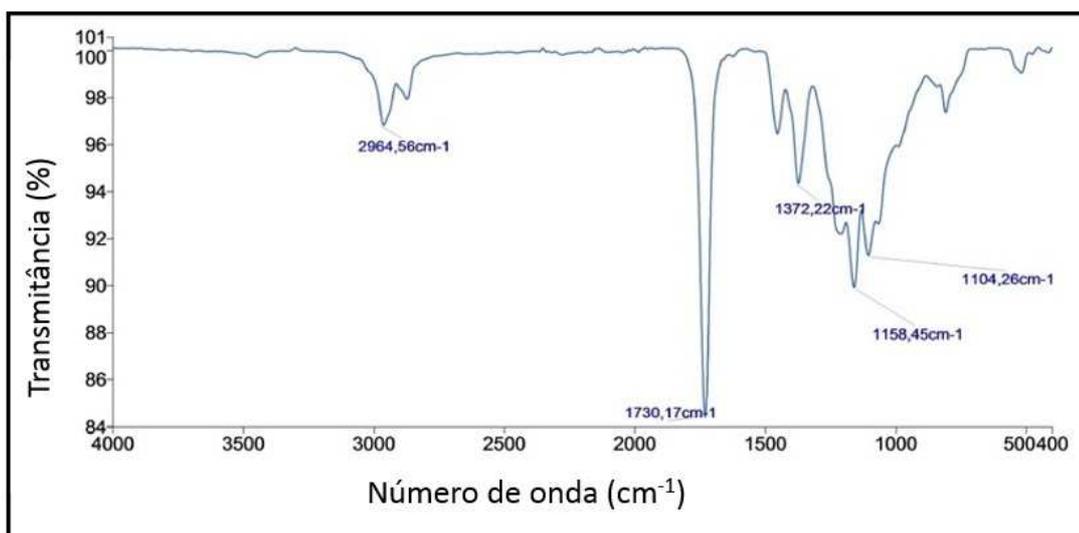
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a aplicação da metodologia, abordada no capítulo anterior, obteve-se os resultados apresentados neste capítulo.

### 4.1 ANÁLISE POR ESPECTROSCOPIA DE IV DO RESÍDUO DE PAPEL RESINADO

A partir das análises realizadas por espectroscopia de IV, obteve-se o resultado demonstrado na Figura 18 para a amostra de papel resinado utilizado na elaboração do compósito.

**Figura 18: Espectro de infravermelho da amostra de papel resinado.**

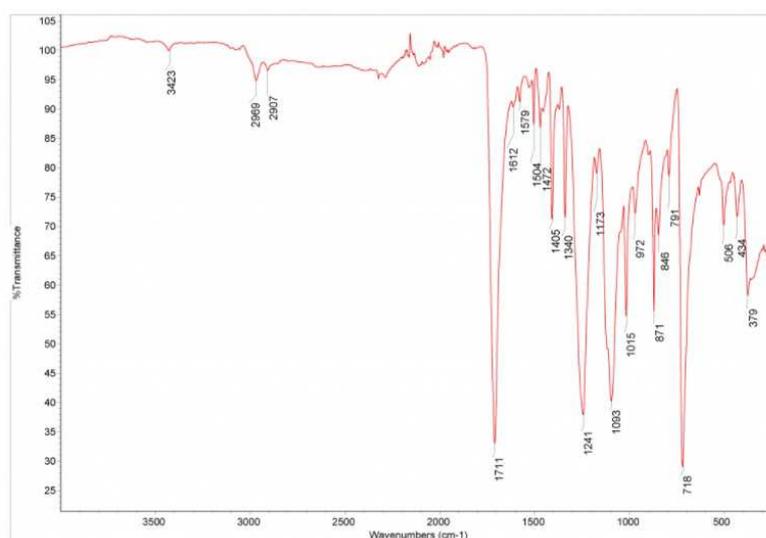


Fonte: do autor, 2017.

Os picos registrados representados na figura próximos a 2950 cm<sup>-1</sup> apresentam CH alifáticos, presentes em todos os compostos orgânicos. Outros picos comuns entre as amostras analisadas são os correspondentes à carbonila de éster, próximos a 1729 cm<sup>-1</sup>. As ligações C-O do éster podem ser verificadas nos estiramentos entre 1300 cm<sup>-1</sup> e 1000 cm<sup>-1</sup> (LOPES; FASCIO, 2004).

Analisando os espectros da amostra com o espectro apresentado por *Institute of Chemistry University of Tartu* (2017), pode-se verificar alguns picos similares em seus espectros, levando a hipótese do papel ser revestido com uma resina de poliéster (Figura 19). A hipótese de ter uma camada de silicone foi descartada baseada no espectro descrito por Garcia, Farias e Ferreira (2004), assim como a presença de acetato-vinilo de etileno (EVA) (WANG; LIU; XIONG, 2006).

**Figura 19: Espectro de infravermelho de resina poliéster.**



Fonte: *Institute of Chemistry of Tartu*, 2017.

Na literatura, encontra-se um espectro bastante similar, descrito por Ulianas, Heng e Ahmad (2011), confirmando que a camada de polímero presente no papel possa ser de polimetil-metacrilato (PMMA), o acrílico. A presença de picos diferentes no espectro da amostra analisada, pode ser decorrente de elementos do próprio papel, tendo em vista que a resina possui uma espessura pequena e variável em função da textura da amostra.

Segundo Santos (2014), o espectro possui estiramentos que podem indicar a presença do PVA. Com absorção próxima a  $1432\text{ cm}^{-1}$ , indicando o grupamento vinila. Também se observa o grupo C=O em  $1730,17\text{ cm}^{-1}$ . A banda indicada em  $1372,22\text{ cm}^{-1}$  pode ser referente à uma deformação angular simétrica, presente em agrupamentos metila, de ligações de C-H.

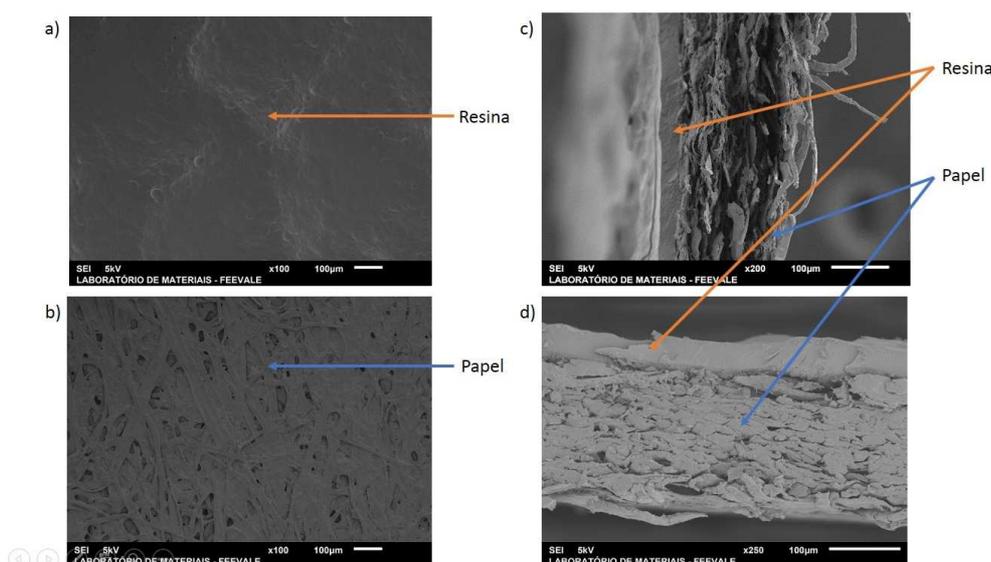
## 4.2 ANÁLISE MICROESTRUTURAL POR MEV DO RESÍDUO DE PAPEL RESINADO

As análises por microscopia eletrônica de varredura das amostras dos papéis resinados coletados podem ser observadas na Figura 20. A camada de resina e o papel, presentes em cada amostra, foram indicados.

Observa-se nas micrografias c e d da Figura 20 a proporção de resina e de papel nas amostras. Pode-se verificar que a espessura de papel é bastante superior à de resina. Desta maneira, o resíduo que será incorporado na matriz polimérica, irá ser composto, predominantemente, pelas fibras de papel, tendo uma maior influência nas propriedades mecânicas que foram analisadas.

Com as análises realizadas por microscopia eletrônica de varredura, é possível observar as duas camadas distintas do papel resinado. Sendo uma delas composta por uma resina e a outra por uma camada de papel. Observa-se uma baixa interação entre o polímero e as fibras do papel, como também foi observado por Lemos e Martins (2014), utilizando fibras naturais de madeira e coco.

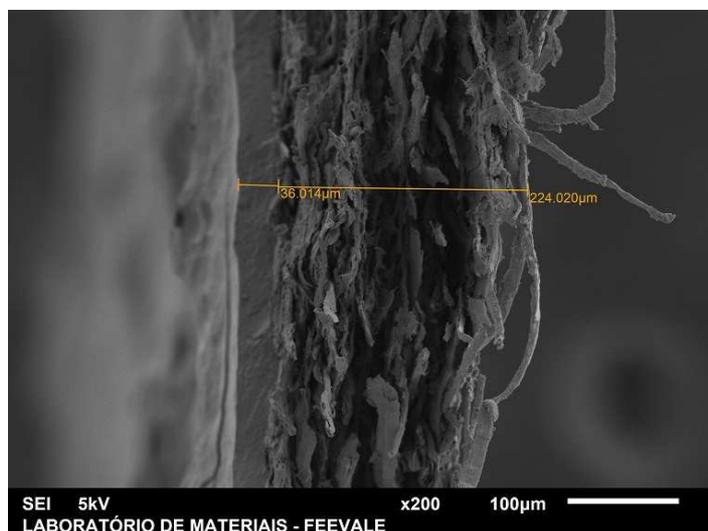
**Figura 20: Micrografias da superfície resinada (a), do verso (b) e do corte transversal, por quebra criogênica (c) e corte com lâmina (d) da amostra.**



Fonte: do autor, 2017.

Na Figura 21, pode-se analisar as dimensões do papel e da resina através de uma micrografia do seu corte transversal com escala.

**Figura 21: Corte transversal do papel com medida de espessura.**



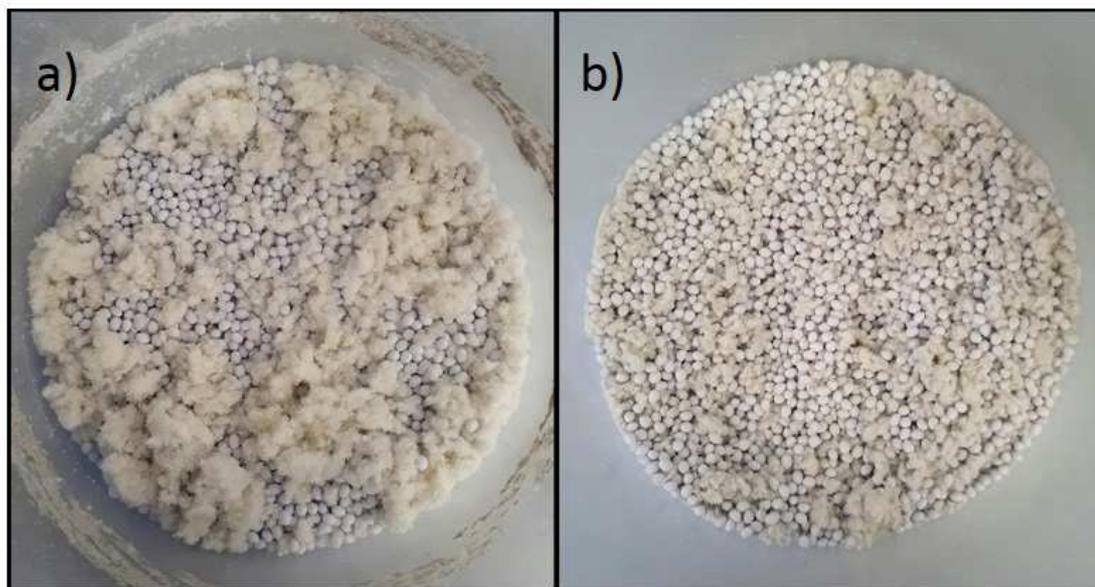
Fonte: do autor, 2017.

Por meio da imagem, observa-se uma camada de resina com espessura, aproximada, de 36  $\mu\text{m}$ , enquanto o papel possui, aproximadamente, 224  $\mu\text{m}$  de espessura. Com uma espessura total de 260  $\mu\text{m}$ , o RPR apresenta, cerca de, 86,15% em volume de papel e 13,85% em volume de resina.

#### 4.3 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO E ALONGAMENTO

Os resultados dos ensaios de resistência à tração indicaram uma redução em torno dos valores médios obtidos de 35,87% para a formulação 2, 17,14% para a formulação 3, 27,74% para a formulação 4 e de 33,22% para a formulação 5, em relação à formulação de PVC puro, que pode ser atribuída ao fato de haver uma distribuição não uniforme do resíduo na matriz polimérica. A utilização do aglutinador permitiu minimizar a fraca homogeneização da formulação 2, que utilizou o OSE para facilitar na mistura do polímero com o resíduo, como pode ser observado na Figura 21.

**Figura 22: Formulações com 5% de papel resinado a) com adição de OSE e b) aglutinado.**



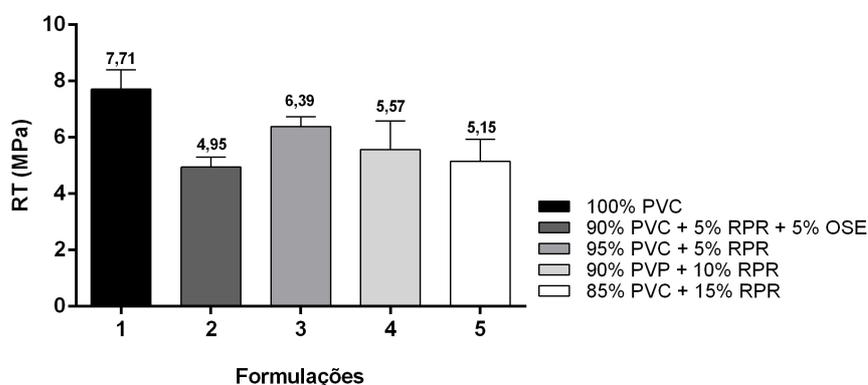
Fonte: do autor, 2017.

Na mistura que antecedeu a injeção dos corpos de prova, já foi possível verificar uma grande diferença na homogeneização da formulação 2 que utilizou o OSE (Figura 22a) e da formulação 3, que era composta por PVC e resíduo de papel, após ser submetida ao processo de homogeneização no aglutinador (Figura 22b).

Após a realização dos ensaios de tração, os resultados de resistência à tração - RT e alongamento obtidos foram demonstrados em gráficos nas Figuras 23 e 24. As formulações contendo maior, ou mesma, quantidade de resíduo apresentaram valores superiores à formulação 2.

Contudo, os resultados indicam que quantidades maiores de resíduo, como nas formulações 4 e 5, tendem a apresentar valores menores de resistência à tração e de alongamento do que a formulação 3, com uma maior variabilidade nos resultados, verificada pelo desvio padrão encontrado. Pode-se observar que as formulações contendo maiores quantidades de resíduo apresentam desvios padrões maiores quando comparadas à formulação 3, que podem estar associadas a uma distribuição heterogênea do resíduo pela matriz polimérica. Mesmo com valores de desvio padrão baixos, essa variação pode estar associada ao próprio processo de preparação das formulações.

**Figura 23: Representação gráfica dos resultados médios dos ensaios de resistência à tração.**

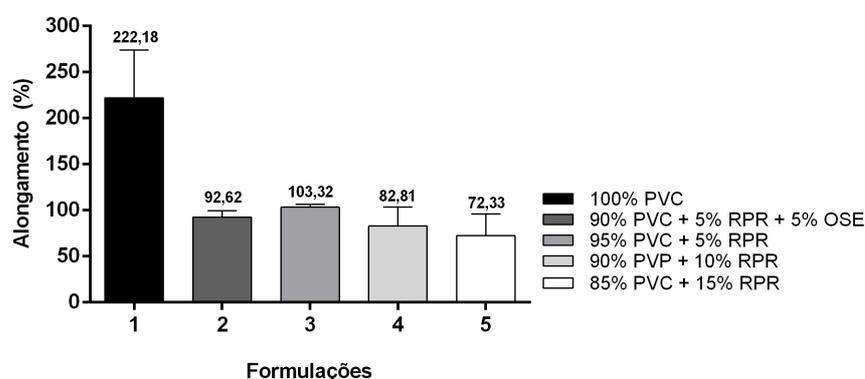


Fonte: do autor, 2017.

Segundo Abbati e Junior (2011), uma queda de propriedades, referentes a RT e alongamento, também ocorreu no compósito de PVC com amido. Porém, a formulação utilizando PVC com o teor de 5% de RPR, apresentou uma queda em seu LRT inferior ao verificado no compósito contendo 5% de amido. Já nas misturas contendo 10% de resíduo, ambas apresentaram valores bem próximos.

A formulação 5, mesmo contendo uma maior quantidade de RPR, apresentou um desvio padrão menor quando comparado à formulação 4, indicando uma menor variação dos resultados obtidos em RT.

**Figura 24: Representação gráfica dos resultados médios de alongamento.**



Fonte: do autor, 2017.

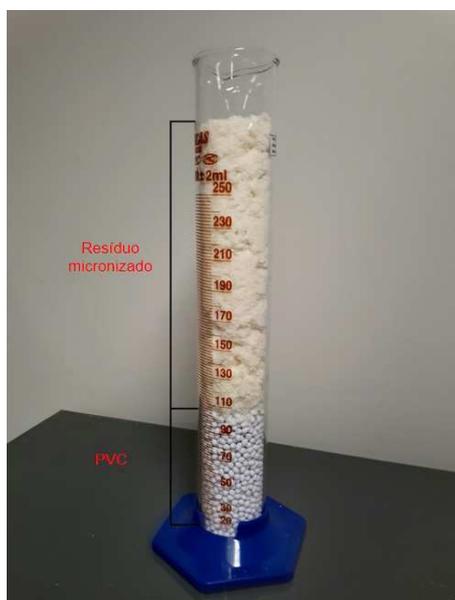
Encontram-se na literatura trabalhos que indicam que a possível presença de umidade pode influenciar de maneira negativa os resultados de ensaios para

caracterização mecânica dos materiais (LIGOWSKI; SANTOS; FUJIWARA, 2015), já que todo o desenvolvimento do compósito foi realizado em ambiente sem controle de temperatura. Porém, esta influência deve ter sido minimizada após o processo de secagem. Além disso, fatores como a fraca dispersão do resíduo utilizado com a matriz polimérica ou defeitos interfaciais entre eles, podem interferir diretamente nos resultados obtidos, conforme observado por Djidjelli et al. (2006).

Em relação ao alongamento dos corpos de prova, pode-se verificar uma queda dos valores médios para as formulações 2, 3, 4 e 5 de, respectivamente, 58,32%, 53,50%, 62,73% e de 67,44%.

Outra causa que pode estar relacionada a esta queda de RT é que, embora a adição seja em massa, por exemplo, na formulação 5 havia 15% de RPR, porém, em volume, essa quantidade é muito maior, superando a quantidade da matriz polimérica utilizada, como pode-se observar na Figura 25.

**Figura 25: Distribuição volumétrica da formulação 5 (85% PVC – 15% RPR).**



Fonte: do autor, 2017.

Para evitar ou, ainda, minimizar essas quedas de propriedades, também observados por Becker, Kleinschmidt e Balzer (2014), pode-se adotar a utilização de compatibilizantes físicos. A utilização de compatibilizantes físicos é uma alternativa quando os materiais são imiscíveis, tornando suas tensões superficiais menores e,

conseqüentemente, aumentando a adesão entre duas faces (SIQUEIRA et al., 1993).

Apesar da pequena queda nas propriedades mecânicas observadas, o compósito de PVC com RPR, apresentou valores satisfatórios para a utilização do material na injeção de solas de calçados (DREGER; SANTANA; MORISSO, 2014). A utilização de uma extrusora, no processo, poderia minimizar essa queda de propriedades, contribuindo com a homogeneização das misturas.

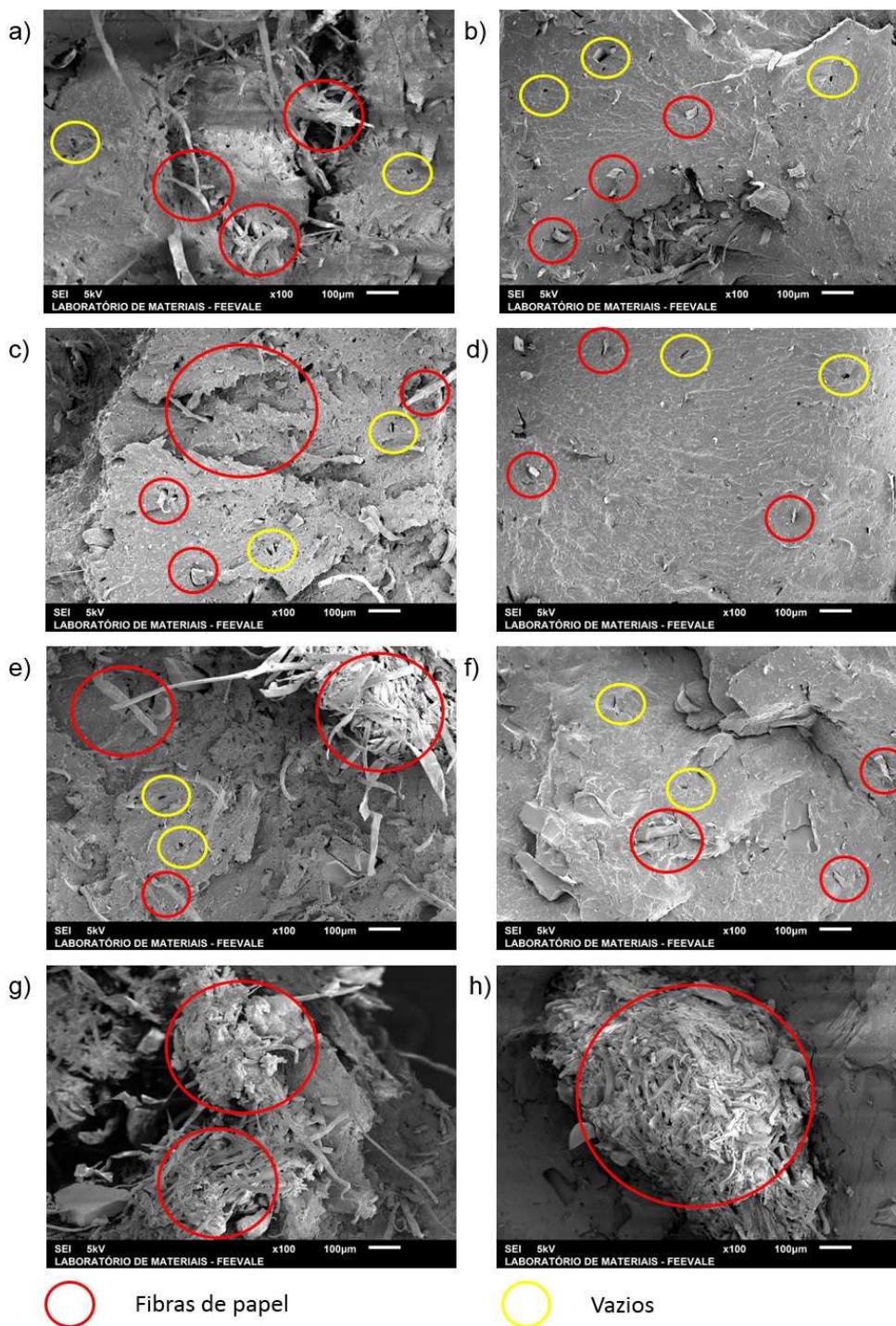
#### 4.4 ANÁLISE DA MICROESTRUTURA DOS CORPOS DE PROVA ATRAVÉS DO MEV

Após a injeção dos corpos de prova e dos ensaios de resistência à tração, os corpos de prova foram submetidos a uma análise por microscopia eletrônica de varredura. Para a realização das micrografias, foram utilizadas duas amostras para cada uma das formulações preparadas. Foram analisadas as regiões das fraturas ocorridas durante os ensaios de resistência à tração de cada uma das formulações e também foram realizadas quebras manuais após o processo de fragilização por criogenia, utilizando nitrogênio líquido. A Figura 26 apresenta os resultados obtidos através do MEV com um aumento de 100x.

É possível notar uma grande diferença entre as imagens que utilizaram os corpos de prova submetidos aos ensaios de tração e as que utilizaram os materiais fraturados após a criogenia. Após a realização dos ensaios de tração, pode-se observar uma grande quantidade de fibras de papéis saindo da matriz polimérica de PVC, para as formulações contendo RPR. Essa grande quantidade de fibras fora da matriz polimérica, permitem inferir que haja uma fraca adesão com a matriz polimérica, o que tende a levar a uma queda na resistência à tração (DJIDJELLI et al., 2006).

Pode-se observar, inúmeras aglomerações de fibras de papel resinado, distribuídas em vários pontos das superfícies analisadas dos materiais obtidos através das formulações 4 e 5. Essa má dispersão do resíduo na matriz contribui para o decréscimo tanto do RT como do alongamento.

**Figura 26: Micrografias das regiões de fratura dos corpos de prova após ensaios de resistência à tração das formulações 2 (a), 3 (c), 4 (e) e 5 (g) e após quebra criogênica dos corpos de prova referentes às formulações 2 (b), 3 (d), 4 (f) e 5 (h).**



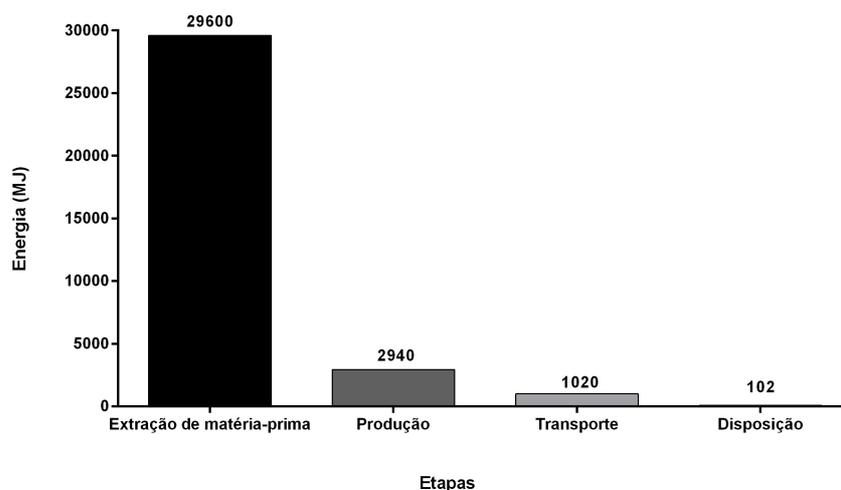
Fonte: do autor, 2017.

Também é possível verificar pontos vazios e espaços em que as fibras de papel estão inseridas. Esses vazios indicam baixa interação entre a matriz polimérica e o resíduo utilizado, como é citado por Robinson (2016).

#### 4.5 ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DO PAPEL RESINADO

Após a simulação feita pelo *software Cambridge Engineering Selector<sup>®</sup>*, os resultados obtidos podem ser demonstrados pelas Figuras 27 e 28, onde tem-se a energia incorporada e a emissões de CO<sub>2</sub> durante o ciclo de vida de uma bobina de papel resinado com 500 kg.

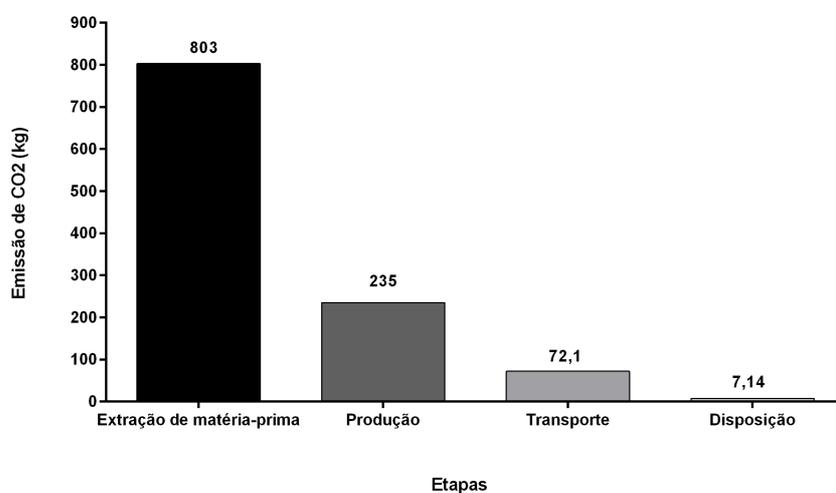
**Figura 27: Energia incorporada no ciclo de vida de uma bobina de papel resinado com 500 kg.**



Fonte: do autor, 2017.

Com os dados obtidos, é possível verificar que a etapa de extração da matéria prima é que causa maior impacto ambiental, consumindo maior energia e emitindo grande quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera, sendo representada por, respectivamente, 88,0% e 71,9%. Entre as outras etapas, a que mais se destaca, em relação à energia incorporada e nas emissões de gases, é a parte de produção do material, representando, respectivamente, 8,7% e 21,0%, seguida de seu transporte, com 3,0% e 6,5% e de seu descarte, representando 0,3% e 0,6%.

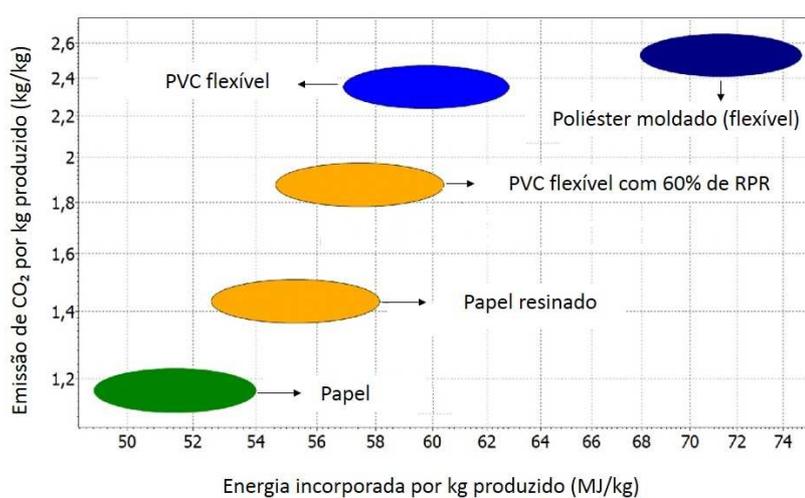
**Figura 28: Emissão de CO<sub>2</sub> no ciclo de vida de uma bobina de papel resinado com 500 kg.**



Fonte: do autor, 2017.

Através do gráfico apresentado na Figura 29, é possível observar um comparativo entre as emissões de CO<sub>2</sub> e a energia incorporada dos materiais envolvidos no trabalho. É possível verificar que um compósito de PVC com 60% de RPR, em volume (correspondente à formulação contendo 15% de RPR em massa), apresentaria um menor impacto ambiental se comparado ao PVC puro.

**Figura 29: Gráfico da emissão de CO<sub>2</sub> x Energia incorporada.**

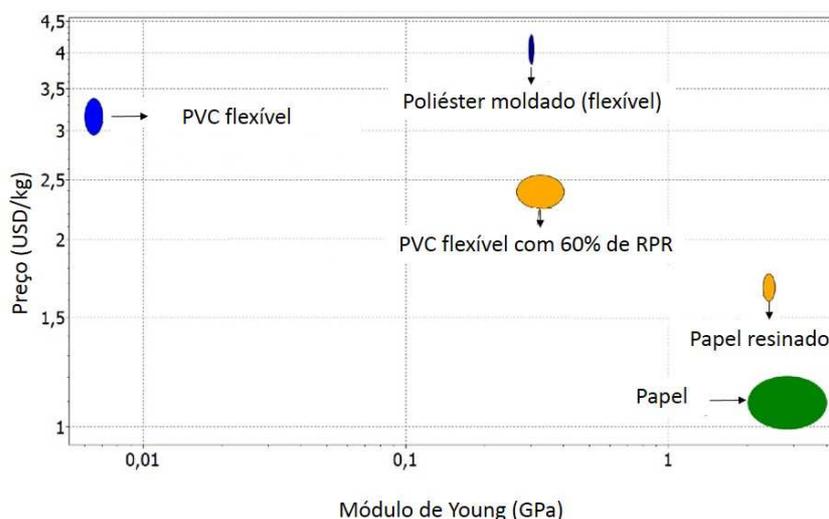


Fonte: do autor, 2017.

De acordo com o software *CES* (2017), pode-se observar que o compósito apresenta uma queda de, aproximadamente, 20% na emissão de CO<sub>2</sub> por massa quando comparado ao compósito utilizando uma formulação contendo 60% de RPR, em volume. Além disso, há uma queda de, cerca de, 4% da energia incorporada por massa para a produção do compósito em relação ao PVC puro.

Na Figura 30, é demonstrada uma comparação entre o custo por massa dos materiais e seus respectivos módulos de Young (medida da resistência à deformação no regime elástico).

**Figura 30: Gráfico da relação preço x módulo de Young.**



Fonte: do autor, 2017.

Pode-se verificar que para o compósito de PVC com 60% de RPR, em volume, se obtém valores superiores de módulo de elasticidade quando comparado ao PVC puro, sendo interessante para algumas aplicações onde uma maior rigidez seja importante. Além de haver uma queda de preço de, aproximadamente, 25% por quilo do material puro para o compósito, fazendo com exista vantagem em utilizá-lo.

## 5 CONCLUSÃO

A partir da caracterização do resíduo, foi possível confirmar o polímero utilizado para revestir o papel resinado. Além disso, através do MEV, foi possível verificar a espessura dos materiais que compõe o material e sua estrutura morfológica, verificando a camada de resina e a de papel.

Com este estudo, pôde-se verificar que o compósito com matriz polimérica de PVC com resíduo e papel resinado pode ser utilizado. No entanto, propriedades mecânicas como resistência à tração e alongamento não puderam ser mantidas em relação ao material injetado puro. Para a injeção de solados para calçados, o compósito desenvolvido apresentou as características necessárias para possibilitar a sua utilização para esta finalidade. Além disso, o compósito obteve resultados melhores utilizando 5% de RPR em comparação a outro compósito, de mesma matriz polimérica, que utilizou o teor de 5% de amido.

Alguns fatores como a presença de umidade no RPR, mesmo após a secagem do material, e uma fraca dispersão dele na matriz polimérica surgem como possibilidade para o decréscimo da qualidade das propriedades analisadas. A presença de umidade pode ter sido ocasionada pela falta de controle das condições de temperatura no laboratório em que o compósito foi desenvolvido. A utilização de compatibilizantes pode vir a auxiliar a manutenção ou melhora destas, e de outras, propriedades do compósito desenvolvido. Além disso, o uso de uma extrusora no processo facilitaria a homogeneização das misturas.

O uso de um aglutinador auxiliou na homogeneização dos compósitos, fazendo com que a formulação 3 tenha obtido valores superiores em relação a formulação 2, que utilizou a mesma quantidade de resíduo, porém utilizado OSE para facilitar a mistura dos materiais.

Ainda que as propriedades das formulações contendo o resíduo de papel tenham sido inferiores às apresentadas na formulação do PVC puro, o compósito ainda pode ser utilizado em segmentos que não exijam propriedades superiores ou iguais às do PVC puro. Além disso, por ter um volume de consumo significativo, o PVC é uma excelente opção de matriz polimérica para ser utilizado no desenvolvimento de novos compósitos apresentando benefícios tanto no que se refere à questão econômica quanto ambiental. O grande consumo de PVC, nos

possibilitaria reduzir os teores de RPR nas misturas do compósito, fazendo com que seja possível reciclar uma parte significativa deste resíduo mesmo em menores quantidades.

Com a análise de ciclo de vida, foi possível verificar que a etapa de extração dos materiais utilizados na produção do papel resinado é a que causa um maior impacto ambiental em relação às demais. Desta maneira, é muito importante utilizar o material descartado em outros processos, substituindo frações de matéria-prima virgem, e, assim, minimizar os danos causados ao meio ambiente em novas extrações de materiais.

## **6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

O processo de reciclagem secundária pode proporcionar inúmeras possibilidades de estudos futuros, como:

- verificar a utilização de compatibilizantes para compósitos de PVC;
- utilizar outras matrizes poliméricas para incorporar o resíduo de papel resinado;
- incluir processos na metodologia para o processamento do compósito, como a utilização de um equipamento apropriado para a extrusão do PVC;
- avaliar as frações granulométricas no desenvolvimento do compósito;
- diminuir a quantidade de resíduo do compósito.

## REFERÊNCIAS

ABATTI, Lisandra; DOMINGUES JUNIOR, Nei S.. Estudo do comportamento de compostos de PVC com adição de amido. **Polímeros**, [s.l.], v. 21, n. 2, p.151-155, 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-14282011005000026>.

ABIPLAST - **Associação Brasileira da Indústria do Plástico**. Disponível em: <[www.abiplast.org.br](http://www.abiplast.org.br)>. Acesso em: 01 jul. 2017.

AKCELRUD, Leni. **Fundamentos da Ciência dos Polímeros**. Barueri: Manole, 2007. 266 p.

ALVES, Érica Daré; PINHEIRO, Olivert Soares; COSTA, Andréa Oliveira Souza da; COSTA JUNIOR, Esly Ferreira da. Estudo do processo de obtenção celulose Kraft com ênfase no forno de cal. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 16, n. 26, p.205-217, jul. 2015.

ARAÚJO, Sâmique Kyene de Carvalho; OLIVEIRA, Diego Rodrigues de; SILVA, Tiago José da; BARBOS, Juliana Cortez; GAVA, Maristela. Desempenho acústico de painéis de gesso incorporados com fibras de celulose. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p.405-455, jan. 2016.

ASHTON, Elisa Guerra; KINDLEIN JUNIOR, Wilson; CÂNDIDO, Luis Henrique; DEMORI, Renan; ROBINSON, Luiz Carlos; MAULER, Raquel. Design, materiais e sustentabilidade: micronização de produto multi-material visando sua reciclagem. **Dapesquisa**, [s.l.], v. 10, n. 14, p.145-162, 19 fev. 2016. Universidade do Estado de Santa Catarina. <http://dx.doi.org/10.5965/1808312910142015145>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 10004 – Resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BAZILIO, Fabio Silvestre; BARROS, George Leon Machado; ABRANTES, Shirley de Mello Pereira. Controle Sanitário de Filmes Flexíveis de PVC Comercializados no Estado do Rio de Janeiro. **Vigilância Sanitária em Debate**, [s.l.], p.78-84, 27 nov. 2014. *Vigilancia Sanitaria em Debate: Sociedade, Ciencia y Tecnologia*. <http://dx.doi.org/10.3395/2317-269x.00250>.

BECKER, D.; KLEINSCHMIDT, A. C.; BALZER, P. S. Compósitos de PVC rígido e fibras de bananeira: Efeito do tratamento da fibra. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [s.l.], v. 19, n. 3, p.257-265, set. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-70762014000300009>.

BENITES, Patrícia Kerlly Ramalho Martins; GOUVÊA, Adriana de Fátima Gomes; CARVALHO, Ana Márcia Macedo Ladeira; SILVA, Fabiana Cabral da. Caracterização Anatômica das Fibras de Oito Espécies Florestais do Cerrado de Mato Grosso do Sul para a Produção de Papel. **Revista Ciência da Madeira - RCM**, [s.l.], v. 6, n. 2, p.88-93, 31 ago. 2015. *Revista de Ciência de Madeira*. <http://dx.doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v6n2p88-93>.

BORGES, D. C.; QUARESMA, W. M. G.; FERNANDES, G. R.; PITUBA, J. J. C.. Evaluation of a proposed model for concrete at mesoscopic scale. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, [s.l.], v. 10, n. 5, p.1087-1112, set. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952017000500009>.

BRASIL. Lei nº 12.305/10, inciso XVI, art. 3º, de 02 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos: altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em:< [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 01 jul. 2017.

BRITO, Luciana Souza de; FANTINEL, Elisângela Gorete; RAMOS, Tauani Bisognin; GELESKY, Marcos Alexandre; VICENTI, Juliano Rosa de Menezes. A conservação dos documentos de arquivo: a atuação de autoadesivos nos documentos textuais em suporte papel. **Transinformação**, [s.l.], v. 28, n. 3, p.297-308, dez. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2318-08892016000300005>.

CALLISTER JUNIOR, William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 817 p.

CAMBRIDGE ENGINEERING SELECTOR 2018. Disponível em: <https://www.grantadesign.com/products/ces/>. Acesso em: 01 dez. 2017.

CELULOSE RIOGRANDENSE. **Celulose Riograndense**. Disponível em: < <http://www.celuloseriograndense.com.br/produtos> >. Acesso em: 01 dez. 2017.

COSTA, Helson Moreira; RAMOS, Valéria Dutra; ANDRADE, Mônica Calixto de; NUNES, Paola da Silva Richter Quintana. Análise térmica e propriedades mecânicas de resíduos de polietileno de alta densidade (PEAD). **Polímeros**, [s.l.], v. 26, n. , p.75-81, 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0104-1428.2104>.

CRESPI DO BRASIL LTDA. **Ficha técnica de papel resinado**. 2017.

CUNHA, Ricardo Alex Dantas; BARRETO, Fernanda Melo; MENDES, José Ubiragi Lima. Análise térmica de um eco compósito de poliuretano de mamona com rejeito de madeira. **Holos**, [s.l.], v. 7, p.110-120, 12 nov. 2016. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2016.3840>.

DIAS, Oriane Avancini; SIMONELLI, George. Qualidade da madeira para a produção de celulose e papel. **Enciclopédia biosfera**. Goiânia, v. 9, n. 17, p.3632-3646, 01 dez. 2013.

DJIDJELLI, Hocine; BOUKERROU. A.; FOUNAS, R.; RABOUHI, A.; KACI, M.; FARENC, J.; MARTINEZ-VEGA, Juan-Jorge; BENACHOUR, Djafer. Preparation and characterization of poly(vinyl chloride)/virgin and treated sisal fiber composites. **Journal of Applied Polymer Science**, [s.l.], v. 103, n. 6, p.3630-3636, 2006. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1002/app.25502>.

DREGER, Ademir Anildo; SANTANA, Ruth Marlene Campomanes; MORISSO, Fernando Dal Pont. Solados de resíduos de calçado de laminados de PVC:

propriedades mecânicas e morfológicas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, IX. 2014, Porto Alegre.

ERVASTI, Ilpo; MIRANDA, Ruben; KAURANEN, Ilkka. Paper recycling framework, the “Wheel of Fiber”. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 174, p.35-44, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.03.004>.

FIGUEIREDO, A.I.; ALVES, A.P.M.; FERNANDES JUNIOR, V.J.; ARAUJO, A.S.. Reciclagem terciária do poli(etileno tereftalato) visando a obtenção de produtos químicos e combustível: uma revisão. **Revista Virtual de Química**, Natal, v. 7, n. 4, p.1145-1162, jan. 2015.

FILHO, Sérgio Thode; MACHADO, Carlos José Saldanha; VILANI, Rodrigo Machado; PAIVA, Julieta Laudelina; MARQUES, Mônica Regina da Costa. A logística reversa e a política nacional de resíduos sólidos: desafios para a realidade brasileira. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 3, p.529-538, set. 2015.

GARCIA, Marcelo H. F.; FARIAS, Simone B.; FERREIRA, Bianca G.. Determinação quantitativa da concentração de silicone em antiespumantes por espectroscopia FT-IR / ATR e calibração multivariada. **Polímeros**, [s.l.], v. 14, n. 5, p.322-325, dez. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-14282004000500009>.

GOMES, Jailton Weber; GODOI, Glauber Silva; SOUZA, Luiz Guilherme Meira de; MEIRA DE SOUZA, Luiz Guilherme Vieira. Absorção de água e propriedades mecânicas de compósitos poliméricos utilizando resíduos de MDF. **Polímeros**, [s.l.], v. 27, n. , p.48-55, 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0104-1428.1915>.

GOMES, Maria Helena Scalabrin Cardoso; OLIVEIRA, Edenis Cesar; BRESCIANI, Luís Paulo; PEREIRA, Raquel da Silva. Política nacional de resíduos sólidos: perspectivas de cumprimento da lei 12.305/2010 pelos municípios brasileiros, paulistas e da região do ABC.. **Revista de Administração da UFSM**, [s.l.], v. 7,

p.93-110, 3 abr. 2014. Universidad Federal de Santa Maria.  
<http://dx.doi.org/10.5902/1983465913026>.

GRIPPI, Sidney. **Lixo: Reciclagem e Sua História**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. 166 p.

GUTIÉRREZ, Juan Carlos Horta; RUBIO, Juan Carlos Campos; FARIA, Paulo Estácio de. Usinabilidade de materiais compósitos poliméricos para aplicações automotivas. **Polímeros**, [s.l.], v. 24, n. 6, p.711-719, dez. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0104-1428.1582>.

IBÁ. **Indústria Brasileira de Árvores**. 2017. Disponível em: < <http://iba.org>>. Acesso em: 01 jul. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DO PVC. **Instituto Brasileiro do PVC**. 2017. Disponível em: <<http://pvc.org.br/>>. Acesso em: 01 jul. 2017.

LANDIM, Ana Paula Miguel; BERNARDO, Cristiany Oliveira; MARTINS, Inayara Beatriz Araujo; FRANCISCO, Michele Rodrigues; SANTOS, Monique Barreto; MELO, Nathália Ramos de. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**, [s.l.], v. 26, p.82-92, 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0104-1428.1897>.

LEFTERI, Chris. **Como Se Faz: 92 Técnicas de Fabricação Para Design de Produtos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2013. 288 p.

LEMO, Alessandra Luiza de; MARTINS, Ricardo Martins de. Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos à base de poli(ácido láctico) e fibras naturais. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, [s.l.], v. 24, n. 2, p.190-197, 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.4322/polimeros.2014.047>.

LIGOWSKI, Ezequiel; SANTOS, Benedito Cláudio dos; FUJIWARA, Sérgio Toshio. Materiais compósitos a base de fibras da cana-de-açúcar e polímeros reciclados

obtidos através da técnica de extrusão. **Polímeros**, [s.l.], v. 25, n. 1, p.70-75, fev. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0104-1428.1605>.

LOPES, Wilson Araújo; FASCIO, Miguel. Esquema para interpretação de espectros de substâncias orgânicas na região do infravermelho. **Química Nova**, [s.l.], v. 27, n. 4, p.670-673, ago. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422004000400025>.

LUND, Herbert F.. **McGraw-Hill Recycling Handbook**. 2. ed. Michigan: McGraw Hill Professional, 2001. 976 p.

MADALENO, Emerson; ROSA, Derval dos S.; ZAWADSKI, Sonia F.; PEDROZO, Tiago H.; RAMOS, Luiz P.. Estudo do uso de plastificantes de fontes renovável em composições de PVC. **Polímeros**, [s.l.], v. 19, n. 4, p.263-270, 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-14282009000400004>.

MÄHLMANN, Cláudia Mendes; BERGEL, Bruno Felipe; MASSULO, Leonardo Azevedo; CORBELLINI, Valeriano Antonio; RODRIGUEZ, Adriane de Assis Lawisch et al. Compósitos poliméricos de blenda de polipropileno e termoplástico de amido reforçados com biomassa fúngica de aspergillus sp e penicillium sp. **Revista Jovens Pesquisadores**, [s.l.], v. 5, n. 2, p.54-64, 12 ago. 2015. APESC - Associação Pro-Ensino em Santa Cruz do Sul. <http://dx.doi.org/10.17058/rjp.v5i2.5753>.

MANO, Eloísa Biasotto; PACHECO, Élen B.a. V.; BONELLI, Cláudia M. C.. **Meio Ambiente, Poluição e Reciclagem**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. 182 p.

MEDEIROS, Felipe A.; WIEBECK, Hélio. PVC orientado: avaliação de processo de orientação e das propriedades mecânicas em função da razão de estiramento. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, [s.l.], v. 23, n. 5, p.636-643, 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.4322/polimeros.2013.067>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em < <http://www.mma.gov.br/> >. Acesso em: 01 dez. 2017.

NANI, Everton Luiz. **Meio Ambiente e Reciclagem: Um Caminho a Ser Seguido**. Curitiba: Juruá Editora, 2008. 58 p.

NAZÁRIO, Gabriel Fernando; SILVA, Vitor Crescencio da; ROCHA, Anderson H.S.; RODRIGUES, Felipe Reis; LIMA, Fernando Parra dos Anjos. Madeira plástica: uma revisão conceitual. **Revista Engenharia em Ação Unioledo**, Araçatuba, v. 1, n. 1, p.54-71, out. 2016.

PENNAFORT JUNIOR, Luiz C. G.; SILVA, Frederico R.; DEUS, Enio P. de. Avaliação e caracterização de tubos fabricados com PVC Reciclado. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, [s.l.], v. 23, n. 4, p.547-551, 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.4322/polimeros.2013.045>.

PERITO, Eder Dutra. **Estudo de plastificantes alternativos ao dioctilftalato (DOP) para um composto de poli(cloreto de vinila) (PVC)**. 2011. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Materiais, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2011.

RIBEIRO, Simone Rodrigues; PERES, Leila. **Compósitos de PVC com refugos de “release liners”**. 2009. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

ROBINSON, Luiz Carlos. **Desenvolvimento de material polimérico para palmilhas de montagem com resíduos têxteis**. 2016. 162 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Qualidade Ambiental, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, 2016.

RODOLFO JUNIOR, Antonio; MEI, Lúcia Helena I.. Mecanismos de degradação e estabilização térmica do PVC: a review. **Polímeros**, [s.l.], v. 17, n. 3, p.263-275, set. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-14282007000300018>.

SANTOS, Dirceu Pereira dos. **Produção de partículas de poli(acetato de vinila) (PVAc) e poli (acetato de vinila-co-metacrilato de metila) (PVAc-co\_PMMA) para imobilização de L-asparaginase, BSA e lisozima**. 2014. 201 f. Tese (Doutorado) -

Curso de Ciências em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

SANTOS, Rafael dos; MELLO JÚNIOR, Julio Antonio de; CARASCHI, José Cláudio; VENTORIM, Gustavo; PEREIRA, Felipe Augusto. Polpação kraft e kraft/AQ da madeira pré-hidrolisada de híbrido *Eucalyptus urophylla* x *grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 4, p.1281-1290, out. 2016.

SIQUEIRA, Denise Freitas; BRUNS, Roy Edwards; NUNES, Suzana Pereira. Compatibilização e otimização de blendas poliméricas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, Campinas, v. 3, n. 2, p.15-19, jun. 93.

SPINACÉ, Márcia Aparecida da Silva; PAOLI, Marco Aurélio de. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, [s.l.], v. 28, n. 1, p.65-72, fev. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422005000100014>.

TARTU, Institute Of Chemistry University Of. **Database of ATR-FT-IR spectra of various materials**. 2017. Disponível em: <[http://lisa.chem.ut.ee/IR\\_spectra/](http://lisa.chem.ut.ee/IR_spectra/)>. Acesso em: 10 jun. 2017.

TEIXEIRA, Maria Betânia D'heni; OLIVEIRA, R.A.; GATTI, T.H.; SUARES, P.A.Z.. The Paper: A Brief historical review, a description of the industrial production technology and experiments for preparation of handmade sheets. **Revista Virtual de Química**, [s.l.], v. 9, n. 3, p.1364-1380, 2017. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20170079>.

ULIANAS, Alizar; HENG, Lee Yook; AHMAD, Musa. A Biosensor for Urea from Succinimide-Modified Acrylic microspheres based on reflectance transduction. **Sensors**, [s.l.], v. 11, n. 12, p.8323-8338, 26 ago. 2011. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s110908323>.

VARGAS, Daiane Schilling de. **Estudo comparativo das propriedades do policloreto de vinila utilizando plastificantes alternativos ao dioctil ftalato**. 2016. 96 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em

Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

WANG, Han; XIE, Guiyuan; FANG, Minghe; YING, Zhe; TONG, Yu; ZENG, You. Mechanical reinforcement of graphene/poly(vinyl chloride) composites prepared by combining the in-situ suspension polymerization and melt-mixing methods. **Composites Part B: Engineering**, [s.l.], v. 113, p.278-284, mar. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.01.053>.

WANG, Tao; LIU, Dan; XIONG, Chuanxi. Synthesis of EVA-g-MAH and its compatibilization effect to PA11/PVC blends. **Journal Of Materials Science**, [s.l.], v. 42, n. 10, p.3398-3407, 2 dez. 2006. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10853-006-1218-x>.

XIE, Minghui; BAI, Weinan; BAI, Lu; SUN, Xiaoming; LU, Qingzhi; QIAO, Qi. Life cycle assessment of the recycling of Al-PE (a laminated foil made from polyethylene and aluminum foil) composite packaging waste. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 112, p.4430-4434, jan. 2016.

YU, Jie; SUN, Lushi; MA, Chuan; QIAO, Yu; YAO, Hong. Thermal degradation of PVC: A review. **Waste Management**, [s.l.], v. 48, p.300-314, fev. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.041>.

ZANUNCIO, Antônio José Vinha; CARVALHO, Amélia Guimarães; DAMÁSIO, Renato Augusto Pereira; OLIVEIRA, Rubens Chaves de; COLODETTE, Jorge Luiz. Avaliação das propriedades físicas, mecânicas e ópticas da polpa celulósica durante refino. **Revista Ciência da Madeira - RCM**, [s.l.], v. 7, n. 2, p.81-87, 30 ago. 2016. Revista de Ciência de Madeira. <http://dx.doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v7n2p81-87>.