

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

MIRELLA CRISTINA FARES

COMPÓSITO DE POLIPROPILENO REFORÇADO COM TECIDO DE ALGODÃO  
PARA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

São Carlos

2016



MIRELLA CRISTINA FARES

COMPÓSITO DE POLIPROPILENO REFORÇADO COM TECIDO DE  
ALGODÃO PARA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
ao Curso de Engenharia de Materiais e  
Manufatura, da Escola de Engenharia de São  
Carlos da Universidade de São Paulo,

Orientador: Prof. Dr. Antonio José Felix de  
Carvalho

São Carlos  
2016



## FORMULÁRIO PARA RELATÓRIO DE DEFESA DE TCC

Relatório de defesa pública de Trabalho de Conclusão de Curso da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo.

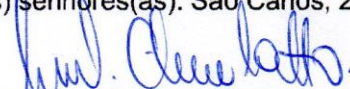
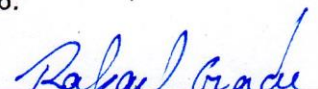
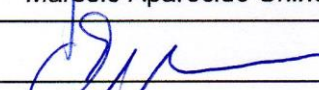
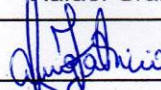
<b>Nome:</b> Mirella Cristina Fares		<b>Nº USP:</b> 7591264
<b>Orientador:</b> Antônio José Felix de Carvalho		<b>Nº USP:</b> 117532
<b>Título do TCC:</b> Compósito de polipropileno reforçado com tecido de algodão para aplicação no setor automobilístico		
<b>Curso:</b> Engenharia de Materiais e Manufatura		
<b>Disciplina:</b> SMM0325 - Trabalho de Conclusão		
<b>Local da defesa:</b>	<b>Data de defesa:</b> 21/11/2016	<b>Hora da defesa:</b> 09:00:00

Após declarada aberta a sessão, o(a) Sr(a) Presidente passou a palavra aos examinadores para as devidas arguições. Em seguida, a Comissão Julgadora proclamou o resultado:

Membros da Comissão Julgadora	Vínculo	Sigla Unidade	Nota
Antônio José Felix de Carvalho	EESC	SMM	9,6
Marcelo Aparecido Chinelatto	EESC	SMM	9,0
Rafael Grande	EESC	SMM	9,0

<b>Média=</b> 9,2		
<b>Resultado final</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado

Eu, Ang Fabricio, Auxiliar Acadêmico, lavrei o presente relatório que assino com os(as) senhores(as). São Carlos, 21/11/2016.

 Marcelo Aparecido Chinelatto	 Rafael Grande
 Antônio José Felix de Carvalho	 Auxiliar Acadêmico



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

F222c Fares, Mirella Cristina  
Compósito de polipropileno reforçado com tecido de algodão para aplicação na indústria automobilística / Mirella Cristina Fares; orientador Antônio José Felix de Carvalho. São Carlos, 2016.

Monografia (Graduação em Engenharia De Materiais e Manufatura) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2016.

1. Compósito. 2. Automobilística. 3. Algodão. 4. Fibras. I. Título.





## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor e orientador Dr. Antônio José Felix de Carvalho pelo apoio, recomendações e por todas palavras de incentivo que contribuíram para desenvolvimento do meu interesse no campo acadêmico.

Ao técnico Ricardo Gomes Pereira por todo suporte, atenção e disposição ao longo dos anos de graduação.

À minha mãe e irmãs a pelo aprendizado constante, por aceitar e entender minha ausência e apoio incondicional.

Ao meu namorado Gustavo de Souza pelo companheirismo, amizade, paciência e longas discussões que contribuíram para o desenvolvimento dos resultados aqui apresentados.

Estendo meus agradecimentos aos funcionários do Departamento de Engenharia de Materiais e Manufatura (SMM - EESC), bem como aos companheiros de turma que tiveram grande participação no desenvolvimento deste projeto: Talita Barbosa, Christopher Bordini e Vinícius Manso.



## RESUMO

FARES, M. C. **Compósito de polipropileno reforçado com tecido de algodão para aplicação na indústria automobilística**. 2016. 57 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Departamento de Engenharia de Materiais e Manufatura, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

A busca por redução de peso dos veículos e aumento da eficiência energética é constante no desenvolvimento de projetos na indústria automotiva. Neste cenário, o emprego de materiais leves e de resistência mecânica moderada, propriedades obtidas em termoplásticos reforçados, para a fabricação de componentes semi-estruturais como painéis internos e de componentes de acabamento como suportes dos faróis e proteções das laterais tem se mostrado altamente vantajoso para esse objetivo. Usualmente, visando tais aplicações, os polímeros empregados são polipropileno ou poliamida reforçados com alto volume de fibras de vidro. Contudo, apesar dos bons resultados mecânicos e diminuição de peso dos componentes alcançados ao longo dos últimos anos em relação aos seus homólogos metálicos, existem limitações associadas ao uso de cargas inorgânicas como reforço, tais como a dificuldade de descarte e reciclagem que motivam a busca contínua pelo desenvolvimento de novos materiais de reforço. Dentre esses materiais as fibras naturais tem se destacado e mostrado cada vez mais atrativas uma vez que são derivadas de fontes renováveis, biodegradáveis e apresentam densidade substancialmente menor que as fibras de vidro. Nesse trabalho foi estudado o potencial da aplicação de tecido torcido de algodão como reforço no polipropileno. Melhoras significativas no módulo elástico do material e no módulo específico foram alcançadas com a incorporação de até 55% de volume de fibra.

Palavras-chave: Compósito. Polipropileno. Algodão. Indústria Automobilística.



## ABSTRACT

FARES, M. C. **Polypropylene composite reinforced with cotton fabric for automotive industry application.** 2016. 57 f. Monograph (Coursework final) – Department of Materials and Manufacturing Engineering, School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2016.

The search for vehicle weight reduction in order to improve energy efficiency is constantly in development in the automotive industry. In this scenario, the use of lightweight materials with suitable mechanical strength, as observed in reinforced thermoplastics used in the manufacture of semi-structural components, such as internal and finishing components panes as carriers of headlamps and side protections has proven highly advantageous for this goal. Usually, glass fiber reinforced polypropylene or polyamides are used for those applications. However, despite the good mechanical properties and weight reduction in relation to their metal counterparts, there are limitations associated with the use of inorganic fillers such as reinforcement, such as the difficulty of disposal and recycling that motivate the continuous search the development of new reinforcing materials. Among these natural fibers materials it has been highlighted and displayed increasingly attractive since they are derived from renewable, biodegradable and have substantially lower density than glass fibers. In this work it was studied the application of twisted cotton fabric as reinforcement in polypropylene. Significant improvements in elastic modulus of the material and the specific modulus were achieved with the incorporation of up to 55% fiber volume.

Keywords: Composite. Polypropylene. Cotton. Automotive Industry.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Estrutura do Polipropileno.....	23
Figura 2. Demanda de plásticos por tipo de resina em 2016.....	24
Figura 3. Classificação dos compósitos de acordo com o tipo de fase de reforço.....	25
Figura 5. Componentes exteriores de um veículo feitos de polipropileno .....	27
Figura 6. Componentes internos de um veículo feitos de polipropileno .....	28
Figura 7. Unidade repetitiva da estrutura da celulose .....	29
Figura 8. Etapas da prensagem do polipropileno.....	31
Figura 9. Etapas de confecção do compósito.....	32
Figura 10. Corpos de prova utilizados no ensaio de ininflamabilidade.....	34
Figura 11. Valores de módulo elástico para os compósitos 1C, 2C, 3C, 4C e 5C. A faixa verde representa o módulo elástico do PP .....	37
Figura 12. Valores de módulo elástico específico para os compósitos 1C, 2C, 3C, 4C e 5C. A faixa verde representa o módulo elástico do PP .....	38
Figura 13. Valores de resistência à tração das amostras de PP, 1C, 2C, 3C, 4C e 5C.....	39
Figura 14. Ensaio de ininflamabilidade do polipropileno puro (PP) .....	40
Figura 15. Ensaio de ininflamabilidade do compósito 3C .....	40
Figura 16. Micrografias dos laminados: (a) 1C, (b) 2C, (c) 3C, (d) 4C e (e) 5C .....	41
Figura 17. Micrografias dos laminados .....	43
Figura 18. Curva módulo de armazenamento ( $E'$ ) versus temperatura para os compósitos laminados 2C, 3C, 4C, 5C e PP Puro.....	44
Figura 19. Tan Delta em função da temperatura dos compósitos laminados de polipropileno e tecido de algodão .....	45
Figura 20. Curva tensão versus deformação do laminado 1C.....	50
Figura 21. Curva tensão versus deformação do laminado 2C.....	50
Figura 22. Curva tensão versus deformação do laminado 3C.....	51
Figura 23. Curva tensão versus deformação do laminado 4C.....	51
Figura 24. Curva tensão versus deformação do laminado 5C.....	52
Figura 25. Curva termogravimétrica do compósito 1C .....	53
Figura 26. Curva termogravimétrica do compósito 2C .....	53
Figura 27. Curva termogravimétrica do compósito 3C .....	54
Figura 28. Curva termogravimétrica do compósito 4C .....	54
Figura 29. Curva termogravimétrica do compósito 5C .....	54





## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Propriedades do polipropileno .....	24
Tabela 2. Identificação dos compósitos laminados .....	32
Tabela 3. Propriedades mecânicas obtidas sob tração dos compósitos fabricados .....	35
Tabela 4. Correlação dos ensaios mecânicos, teor de fibras e densidade obtidos para os compósitos.....	36
Tabela 5. Resultados do Ensaio de Tração do PP Puro .....	48
Tabela 6. Resultados do Ensaio de Tração do Laminado 1C.....	48
Tabela 7. Resultados do Ensaio de Tração do Laminado 2C.....	48
Tabela 8. Resultados do Ensaio de Tração do Laminado 3C.....	49
Tabela 9. Resultados do Ensaio de Tração do Laminado 4C.....	49
Tabela 10. Resultados do Ensaio de Tração do Laminado 5C.....	49



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	–	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	–	American Society for Testing and Materials
$\rho$	–	Densidade
PP	–	Polipropileno
$V_f$	–	Volume de fibras
$\sigma_{\max}$	–	Limite de resistência à tração
$\xi_{\max}$	–	Deformação máxima sob tração
E	–	Módulo elástico
$E^*$	–	Módulo elástico específico
$E'$	–	Módulo de armazenamento
$E''$	–	Módulo de perda



## SUMÁRIO

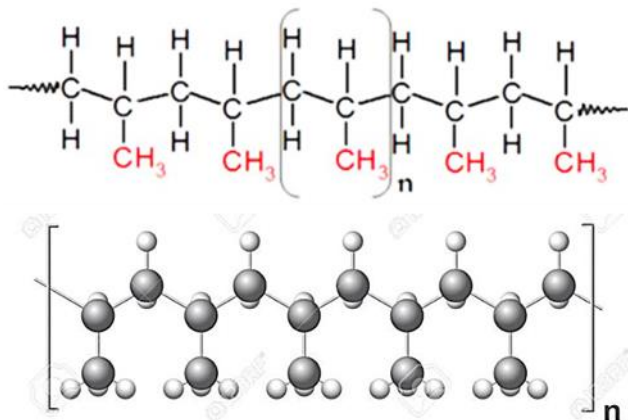
1	INTRODUÇÃO .....	23
1.1	POLIPROPILENO: PROPRIEDADES E APLICAÇÕES .....	23
1.2	MATERIAIS COMPÓSITOS.....	25
1.3	POLIPROPILENO REFORÇADO NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA: VANTAGENS E LIMITAÇÕES .....	26
1.4	POLIPROPILENO REFORÇADO COM FIBRAS DE ALGODÃO.....	28
2	OBJETIVOS.....	30
3	METODOLOGIA .....	30
3.1	MATERIAIS .....	30
3.2	MÉTODOS.....	31
3.2.1	PREPARAÇÃO DOS COMPÓSITOS .....	31
3.2.2	ENSAIO DE TRAÇÃO .....	32
3.2.3	ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA.....	33
3.2.4	INFLAMABILIDADE .....	33
3.2.5	MICROSCOPIA ELETRONICA DE VARREDURA (MEV) .....	34
3.2.6	ANÁLISE TÉRMICA DINÂMICO-MECÂNICA (DMTA).....	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1	TGA, DENSIDADE E ENSAIO DE TRAÇÃO.....	35
4.2	INFLAMABILIDADE.....	39
4.3	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) .....	40
4.4	ANÁLISE TÉRMICA DINÂMICO-MECÂNICA (DMTA) .....	43
5	CONCLUSÕES.....	46
	REFERÊNCIAS .....	47
	APÊNDICE A – Resultados de Tração .....	48
	APÊNDICE B – Curvas Termogravimétricas.....	53
	ANEXO A – Tecido de Algodão .....	55
	ANEXO B – Tecido de Algodão .....	56
	ANEXO C – Ficha Técnica do Polipropileno .....	57



## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 POLIPROPILENO: PROPRIEDADES E APLICAÇÕES

O polipropileno (PP) é uma poliolefina saturada de cadeia linear. É um polímero termoplástico sintético obtido através de polimerização por adição do monômero propileno ( $C_3H_6$ ). A Figura 1 ilustra uma molécula de PP em duas representações distintas.



**Figura 1.** Estrutura do Polipropileno  
Fonte: Fonte: MADDAH, 2016, p. 1.

O Polipropileno foi primeiramente sintetizado pelo Professor Giulio Natta na Espanha em 1954 e em 1957 já estava sendo produzido para venda [1]. Entre as principais propriedades do PP pode-se listar seu baixo custo, baixa densidade ( $0,90-0,91 \text{ g/cm}^3$  - uma das menores entre os termoplásticos commodities), excelente resistência química e elétrica, baixa inflamabilidade, alta resistência a fadiga, boa estabilidade térmica (melhor do que o HDPE), alta rigidez e elevada temperatura de fusão da fase cristalina (quando comparado com outros polímeros commodities) e, no estado borrachoso, flui com facilidade, o que possibilita seu processamento por diversas rotas de moldagem. Tipicamente possui cristalinidade entre 40-60% e pode ser reciclado facilmente, o que o torna ideal em diversas aplicações.

Dentre as limitações do polipropileno estão alto coeficiente de dilatação térmica, susceptibilidade a fluência, baixa resistência à radiação U.V. e queda na resistência ao impacto a  $0^\circ\text{C}$  [1].

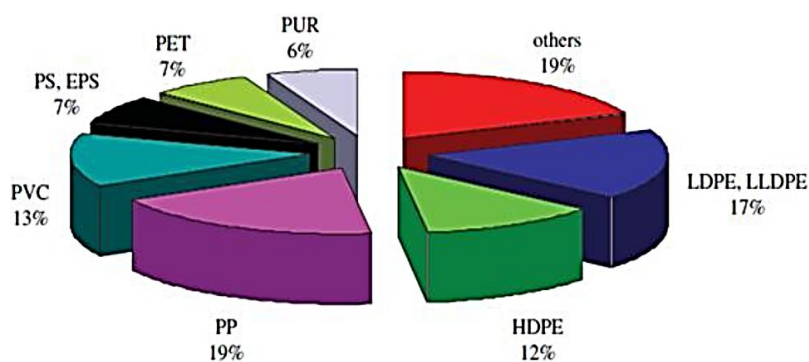
A Tabela 1 resume os valores de algumas propriedades do polipropileno.

Tabela 1. Propriedades do polipropileno

<b>Preço/ Tonelada</b>	£	680
<b>Limite de Resistência à tração</b>	MPa	33
<b>Módulo Elástico</b>	GPa	1.4
<b>Elongação</b>	%	150
<b>Dureza</b>	Rockwell "R"	90
<b>Massa Molecular (<math>M_n</math>)</b>	g/mol	80.000 - 500.00
<b><math>T_g</math> (Temperatura de Transição Vítre)</b>	°C	-18
<b><math>T_m</math> (Temperatura de fusão)</b>	°C	165

O polipropileno é comumente comercializado como homopolímero, onde apresenta melhores propriedades de resistência e rigidez, ou na forma de copolímero em bloco ou aleatório, com 5% - 15% de etileno onde a adição do etileno aumenta a tenacidade e resistência ao impacto do PP [2].

A alta demanda anual de plástico alcançou 245 milhões de toneladas em 2006, cerca de 90% dessa demanda é distribuída entre os cinco principais polímeros commodities, sendo eles: Polipropileno (PP), Polietileno (PE), Poli (cloreto de vinila) (PVC), Poliestireno (PS) e Poli (etileno tereftalato) (PET). O polipropileno ocupa a maior fatia de consumo, com 19% (Figura 2) com aplicações distribuídas principalmente entre moldados por injeção (39%), fibras (32,7%) e filmes (16,5%) [1]



**Figura 2.** Demanda de plásticos por tipo de resina em 2016  
Fonte: MADDAH, 2016, p. 2.

Dentre as aplicações em moldados o PP é utilizado na fabricação de utensílios domésticos, brinquedos, tampas de garrafa, caixa de bateria, tambores de máquina de lavar



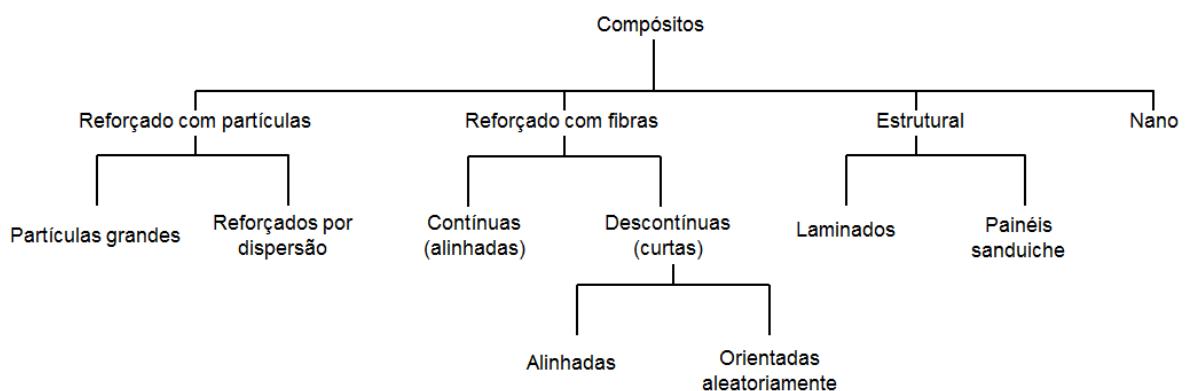
e componentes médicos. O PP é também empregado na produção de fibras carpetes e roupas esportivas e na produção de filmes para embalagens alimentícias [2].

## 1.2 MATERIAIS COMPÓSITOS

Um material compósito é um material multifásico onde as fases constituintes são quimicamente diferentes e separados por uma interface distinta. São comumente constituídos de duas fases, a primeira é contínua e denominada de matriz e recobre a outra fase, que em geral é descontínua e denominada fase de reforço ou carga, sendo que esta última não se altera durante o processamento, no caso dos compósitos [3]. Materiais compósitos podem ocorrer naturalmente na natureza (e.g. madeira, osso). A Figura 3 apresenta uma classificação dos compósitos de acordo com sua fase de reforço.

Contudo no contexto de compósitos tecnológicos, esses são materiais feitos artificialmente, com combinações de propriedades que não são encontradas em nenhum dos constituintes individualmente, que podem ser ligas metálicas, cerâmicas ou polímeros [3].

Entre os materiais monolíticos, materiais resistentes são relativamente densos e um aumento da rigidez ou da resistência geralmente resulta em diminuição da tenacidade. Em materiais compósitos essas limitações podem ser contornadas uma vez que o material exiba uma parcela das propriedades das duas (ou mais) fases constituintes com interface compatível, de tal forma que a melhor combinação das propriedades é alcançada, denominado princípio da ação combinada.



**Figura 3.** Classificação dos compósitos de acordo com o tipo de fase de reforço  
Fonte: Adaptado de CALLISTER, 2007, p. 424.

A categoria mais importante de materiais compósitos é aquela no qual a fase dispersa é em forma de fibra. Compósitos reforçados com fibra (Fiber Reinforced Composites – FRP) usualmente apresentam elevada razão entre resistência e /ou rigidez e peso, ou seja, apresentam alta resistência e módulo específicos, parâmetros que correspondem a tensão máxima de ruptura e ao módulo elástico divididos pela densidade do material [7] .

Nos FRP, as matrizes são geralmente poliméricas, podendo ser termofixas ou termoplásticas. Suas principais funções são manter as fibras unidas nas direções específicas projetadas e transferir a carga aplicada para as fibras por cisalhamento. Temperatura máxima de serviço e resistência à flexão são algumas propriedades dependentes das propriedades da matriz. Enquanto que a resistência máxima do compósito está intimamente ligada às propriedades da fibra de reforço e da adesão entre fibra e matriz. Não raramente outros materiais são adicionados como recobrimento e revestimento das fibras para melhorar as propriedades de interface.

### **1.3 POLIPROPILENO REFORÇADO NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA: VANTAGENS E LIMITAÇÕES**

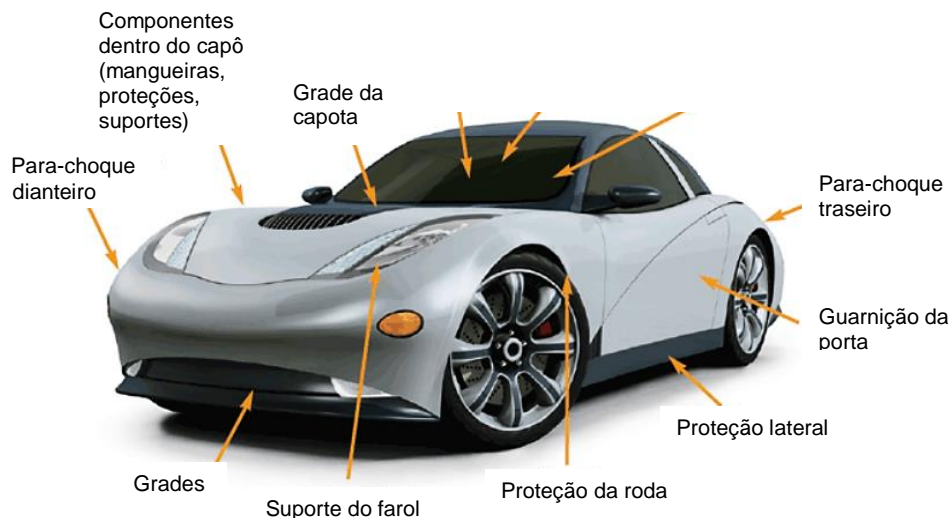
O uso de termoplásticos na indústria automotiva está em crescimento desde a década de 80 devido principalmente a busca por desenvolvimento de projetos de veículos leves, o que resulta em maior eficiência energética e menos emissão de gases poluentes. É estimado que a cada 10% de redução em peso, o veículo se torna de 5-7% mais econômico no consumo de combustível [4] .

Dentre os principais termoplásticos automotivos encontram-se o polipropileno e as poliamidas (PA). Neste cenário o uso do PP já corresponde a cerca de 20% em volume em veículos utilitários, sendo usados aproximadamente 80kg de material por carro produzido [5]

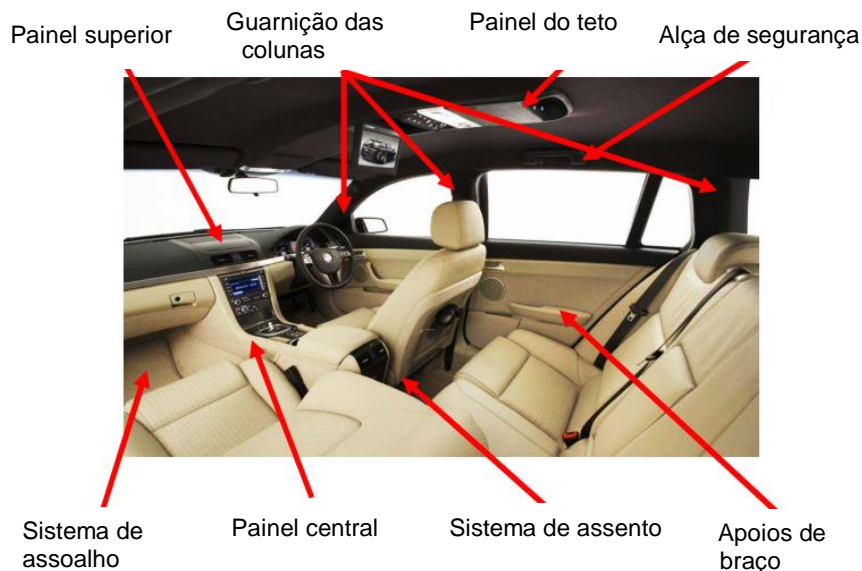
O polipropileno encontra um grande leque de aplicações na indústria automotiva devido principalmente a três características essenciais: baixa densidade, baixo custo e elevada moldabilidade, o que possibilita a fabricação de componentes de geometria complexa[5] . Além disso, o PP apresenta a propriedade intrínseca de amortecimento de vibrações e ruídos. Contudo, na maioria das aplicações o polipropileno não é utilizado puro, em 80% dos casos é misturado com outro material que pode atuar como reforço, melhorando as propriedades do material ou apenas carga, diminuindo o custo de fabricação.

Nos casos mais encontrados, reforço de fibra de vidro picada é incorporado ao polipropileno durante a etapa de processamento do polímero. Essas fibras são adicionadas de 20 a 45% em peso com orientação aleatória e com comprimento de fibra de 10 a 30 mm. A adição da fase de reforço melhora as propriedades mecânicas de resistência (em até 270%), rigidez (em até 320%) e estabilidade térmica (aumento de 10°C). Entretanto, também aumentam a densidade do compósito substancialmente (aumento de 25%) [6] [3] .

As aplicações do polipropileno reforçado com fibra de vidro na indústria automotiva podem ser divididas entre aplicações exteriores e interiores. Nas aplicações exteriores possui função semi-estrutural enquanto que, dentro do automóvel, o uso do PP reforçado é voltado para acabamento. As Figura 4 e 5 ilustram os principais componentes automobilísticos fabricados com esse material.



**Figura 4.** Componentes exteriores de um veículo feitos de polipropileno  
Fonte: <http://polymeradditives.specialchem.com>



**Figura 5.** Componentes internos de um veículo feitos de polipropileno  
 Fonte: DAMANI, 2008.

Apesar das ótimas propriedades do polipropileno reforçado com fibra de vidro, esses materiais encontram limitações no descarte de componentes uma vez que são de difícil reciclagem e reprocessamento, além de não serem biodegradáveis. Quando descartados de maneira incorreta podem se tornar fonte de acúmulo de resíduos sólidos na natureza. É estimado que exista mais de 500 milhões de veículos de passageiros em uso no mundo e aproximadamente 50 milhões de novos carros são produzidos a cada ano. Nesse cenário, a pesquisa e busca por materiais de reforços que possam ser ambientalmente amigáveis (eco-friendly) é promissora [7].

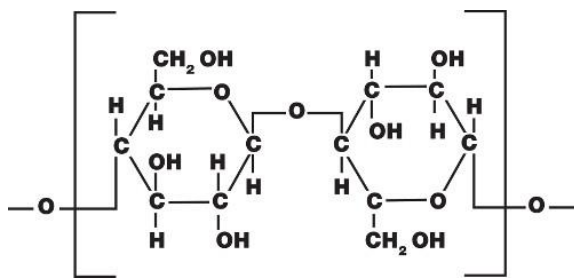
#### 1.4 POLIPROPILENO REFORÇADO COM FIBRAS DE ALGODÃO

Recentemente, devido a elevada procura pelo desenvolvimento de materiais com boas propriedades mecânicas e baixo impacto ambiental, o estudo de materiais alternativos em que são empregadas fibras naturais tem sido motivado. Dentre as principais fibras naturais encontram-se as fibras de sisal, juta, abacaxi, coco, eucalipto, bambu e bagaço de cana. Entretanto pouco tem se estudado o potencial das fibras de algodão como reforço [8].

O algodão é uma fibra branca ou esbranquiçada obtida dos frutos de algumas espécies do gênero *Gossypium hirsutum* L. e é considerada a mais importante das fibras têxteis. Normalmente é constituída de cerca de 90 a 93% de celulose, sendo a maior parte restante constituída por ceras, gorduras ou minerais e pequena porcentagem de impurezas que

incluem ceras naturais, pectina, matéria colorida, compostos de azoto que são removidas por lavagem e branqueamento. [9]

A celulose aparece em longas cadeias de moléculas unidas entre si por ligações de hidrogênio (grau de polimerização de 9000-15000) [10] . Estas longas cadeias estão dispostas nas fibras paralelamente formando uma espiral. Este arranjo estrutural espiralado confere às fibras de algodão grande resistência à tração e estabilidade dimensional. A Figura 6 ilustra uma molécula de celulose.



**Figura 6.** Unidade repetitiva da estrutura da celulose  
Fonte: <http://www.barnhardtcotton.net/technology/cotton-properties/>

A presença de muitos grupamentos OH tornam as fibras de algodão altamente polares e hidrofílicas (o algodão puro tem capacidade de absorção de cerca de 50% do seu peso). Essa característica, que não é atraente no uso de fibras de algodão para reforço em polímeros termoplásticos por conta da queda de propriedades mecânicas devido ao efeito plastificante da água, é altamente minimizada com a utilização de tecidos de algodão trançados [11]

Algumas das propriedades interessantes das fibras de algodão são sua baixa densidade em relação à fibra de vidro (1,54 g/cm<sup>3</sup> contra 2,6g/cm<sup>3</sup>), elevada cristalinidade (73%), elevada biodegradabilidade (perda de 90% de massa em quatro semanas em ensaio conduzido de acordo com a ASTM 6400) [10] , apresentam elevada resistência ao impacto em relação às fibras sintéticas. Além disso, as fibras de algodão mantêm algumas de suas propriedades nas direções transversais, minimizando a possibilidade de falha por delaminação. Apresentam baixo custo e são menos abrasivas, o que diminui o desgaste dos barris e rosca de extrusão durante o processamento [8] [11]

Resultados apresentados na literatura mostram o elevado potencial da fibra de algodão como agente de reforço em polímeros. Contudo, a baixa molhabilidade e a falta de adesão das fibras na matriz poliméricas devido à incompatibilidade na interface fibra/matriz são

fatores ainda desafiam o uso dessas fibras naturais como reforço. Algumas soluções para esses problemas incluem o aprimoramento do processo de manufatura dos compósitos e uso de agentes compatibilizantes tal como o anidrido maleico para melhorar as propriedades na interface.

A diminuição nos custos com gasto combustível está entre os grandes fatores que motivam a utilização de compósitos em veículos de transporte uma vez que uma construção mais leve potencialmente minimiza o consumo. É estimado que uma redução de 25% do peso dos veículos é equivalente a uma economia de 220 milhões de barris de petróleo e uma redução na emissão de dióxido de carbono em aproximadamente 100 bilhões de kilogramas por ano [12]. Compósitos reforçados com elevado volume (maior do que 50%) de fibras naturais orientadas e podem contribuir significativamente para a redução do peso (30%) e do custo dos veículos (20%).

## **2 OBJETIVOS**

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um compósito polimérico obtido pela termoprensagem de filmes de polipropileno alternados com tecido de algodão com fio torcido, com o propósito de melhorar as propriedades mecânicas do polipropileno aplicado em funções semiestruturais na indústria automobilística e outras, como painéis, forração interna e componentes externos.

## **3 METODOLOGIA**

### **3.1 MATERIAIS**

O compósito estudado foi confeccionado por prensagem hidráulica de placas de polipropileno H-503 Braskem (ficha técnica no Anexo C), resina de baixo índice de fluidez (3,5 g/10 min), alternadas com tecido de algodão crú do fabricante Peripan Industrial (Anexos A e B). Os métodos utilizados são apresentados abaixo.

## 3.2 MÉTODOS

A preparação do compósito deu-se inicialmente pela confecção de placas prensadas de polipropileno que, posteriormente, foram dispostas de forma intercalada com o tecido de algodão, originando o laminado. A seguir as etapas são descritas detalhadamente.

### 3.2.1 PREPARAÇÃO DOS COMPÓSITOS

#### A) FILMES DE POLIPROPILENO (PP)

Para confecção do filme de polipropileno 7g do material em formato de pellets foram colocados entre as chapas de aço e o molde. Dois filmes de Kapton foram utilizados sobre as placas superior e inferior para facilitar a remoção do filme prensado.

O molde contendo o material foi levado à presa hidráulica à temperatura de 210°C, e inserido de modo que as placas do molde permanecessem levemente encostadas nas chapas superior e inferior da mesma. Após estabilização da temperatura a 210°C uma pressão de 5 toneladas foi aplicada por 2 minutos e, em seguida, o sistema de resfriamento foi acionado e a pressão mantida constante até que a temperatura das placas atingissem 70°C.

Por fim, quando já resfriado à temperatura ambiente, as placas foram removidas da prensa e o filme destacado do molde, a Figura 7 ilustra as etapas descritas. A região homogênea foi recortada para utilização no compósito.



**Figura 7.** Etapas da prensagem do polipropileno. (a) Material na chapa de aço e molde. (b) Pellets de polipropileno na prensa durante aquecimento, aguardando estabilização. (c) Filme prensado pronto,

#### B) CONFECÇÃO DO LAMINADO

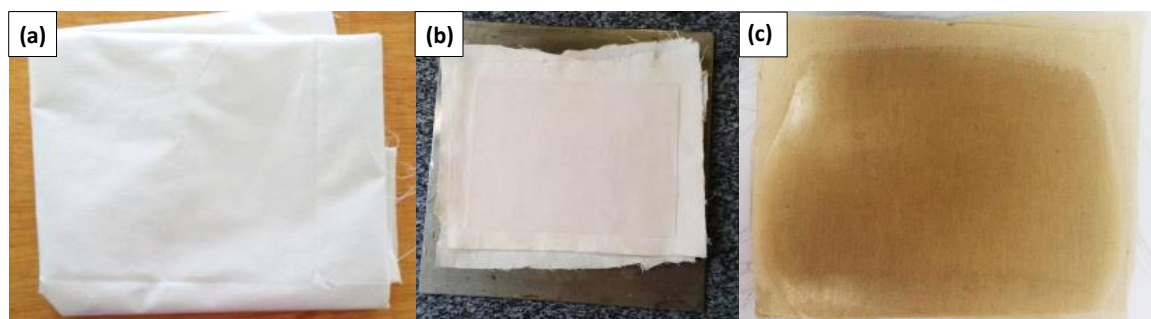
Foram desenvolvidos compósitos contendo uma, duas, três, quatro e cinco camadas de tecido de algodão cru. Os filmes de polipropileno previamente confeccionados foram dispostos sobre as placas do molde de forma a intercalar o tecido a 0° e a 90°.

O laminado, inserido entre as placas de aço, foi levado à prensa hidráulica de forma que suas chapas permanecessem próximas até que a temperatura estabilizasse a 190°C. Após estabilização aguardou-se mais 10 minutos de aquecimento e, passado este tempo, a pressão de 1 tonelada foi aplicada por aproximadamente 5 segundos. Em seguida o sistema de resfriamento foi acionado sob pressão constante de 1 tonelada até 170°C e, ao atingir essa temperatura a pressão foi mantida em 5 toneladas até o resfriamento alcançar a temperatura de 140°C.

Por fim, quando já resfriado à temperatura ambiente, o compósito foi destacado do molde e teve sua região homogênea recortada. As amostras foram identificadas como apresentado na Tabela 2. A Figura 8 ilustra as etapas de confecção do compósito.

**Tabela 2.** Identificação dos compósitos laminados

<b>Amostra</b>	<b>Algodão</b>	<b>PP</b>
PP	-	1 camada
1C	1 camada	2 camadas
2C	2 camadas	3 camadas
3C	3 camadas	4 camadas
4C	4 camadas	5 camadas
5C	5 camadas	6 camadas



**Figura 8.** Etapas de confecção do compósito. (a) Tecido de algodão crú. (b) Montagem do compósito antes da prensagem. (c) Compósito após prensagem.

### 3.2.2 ENSAIO DE TRAÇÃO

Os corpos de prova usados no ensaio de tração foram cortados em guilhotina/tesoura para corte de chapas com dimensões de 15 mm x 110 mm. Para meios de comparação este ensaio foi também realizado com corpos de provas de polipropileno puro.



O ensaio foi conduzido na máquina de ensaio universal da Instron modelo 5969 com velocidade de 2 mm/min até o limite de deformação de 1,5% e 50 mm/min até a ruptura. Foram utilizados 5 corpos de prova por amostra e célula de carga de 5kN.

### **3.2.3 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA**

A análise termogravimétrica das amostras foi realizada para avaliar a porcentagem de massa de algodão presente nos laminados 1C, 2C, 3C, 4C e 5C.

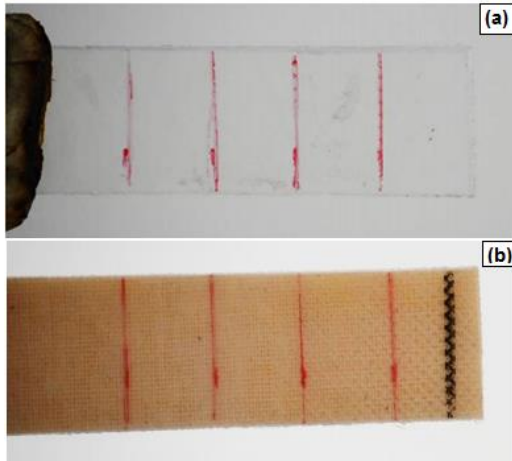
Uma massa de aproximadamente 10 mg da amostra foi colocada no cadinho de platina e inserido na termobalança em uma atmosfera de nitrogênio a 20 ml/min. O experimento foi conduzido a uma taxa de aquecimento de 10 °C/min, iniciando-se em 25°C até atingir a temperatura de 700°C. O procedimento foi identicamente realizado para todas as amostras e os resultados são discutidos a seguir.

O equipamento utilizado para realização do ensaio foi o Pyris 1 TGA, PerkinElmer.

### **3.2.4 INFLAMABILIDADE**

O ensaio de inflamabilidade foi conduzido com o uso de dois corpos de prova: um de polipropileno puro (PP) e o outro do compósito 3C, ambos de dimensões 16 x 200 mm. Foram feitas 4 marcações com espaçamento de 10mm entre si em cada amostra e estas foram fixadas em um suporte, como pode ser observado na Figura 9. Em seguida os corpos de prova tiveram uma de suas extremidades exposta à chama, que foi mantida até que esta se propagasse pelas amostras.

Neste ensaio foi observado o tempo de queima para as amostra PP e 3C e o comportamento do material durante sua combustão, considerando o gotejamento do mesmo.



**Figura 9.** Corpos de prova utilizados no ensaio de inflamabilidade (a) Polipropileno puro. (b) Compósito 3C

### 3.2.5 MICROSCOPIA ELETRONICA DE VARREDURA (MEV)

Para a análise em Microscópio Eletrônico de Varredura, corpos de prova foram fraturados em nitrogênio líquido para obtenção de uma superfície de fratura frágil. O material fraturado foi colado ao porta-amostras com uma fita adesiva de carbono e recoberto com uma fina camada de platina. As análises foram realizadas em um microscópio eletrônico de varredura de alta resolução MEV-FEG Inspect F-50 (FEI).

A análise de MEV foi utilizada para verificar a adesão do tecido de algodão à matriz de polipropileno nas 5 amostras, as micrografias foram comparadas entre si e discutido.

### 3.2.6 ANÁLISE TÉRMICA DINÂMICO-MECÂNICA (DMTA)

O ensaio foi conduzido no equipamento DMA 8000 – Perkin Elmer de acordo com a norma ASTM E1640:2013, modo de flexão dual cantilever, na faixa de  $-70^{\circ}\text{C}$  a  $180^{\circ}\text{C}$ , taxa de aquecimento de  $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$  e frequência de 1 Hz.

Corpos de prova foram cortados das placas dos laminados previamente produzido nas dimensões  $5,5 \times 35$  mm, com o auxílio de uma guilhotina/tesoura para corte de chapas.

O ensaio de DMA foi empregado para o estudo e discussão do efeito do aumento de camadas do laminado sobre o módulo de armazenamento.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 TGA, DENSIDADE E ENSAIO DE TRAÇÃO

Os resultados obtidos sob tração e a análise termogravimétrica podem ser observados nos Apêndices A e B, respectivamente. A Tabela 3 apresenta resumidamente os resultados obtidos sob tração para os compósitos analisados. Os resultados de densidade, TGA e Tração são apresentados e discutos abaixo.

**Tabela 3.** Propriedades mecânicas obtidas sob tração dos compósitos fabricados

	Limite de Resistência à Tração ( $\sigma_{max}$ ) (MPa)	Deformação na Ruptura ( $\xi_{max}$ ) (%)	Módulo Elástico (E) (GPa)
<b>1C</b>	38,94 ± 0,60	8,39 ± 0,97	2,04 ± 0,17
<b>2C</b>	42,60 ± 2,12	8,68 ± 0,45	1,98 ± 0,12
<b>3C</b>	39,09 ± 3,29	5,78 ± 1,13	2,00 ± 0,40
<b>4C</b>	42,90 ± 6,02	6,98 ± 2,12	2,70 ± 0,39
<b>5C</b>	45,22 ± 2,32	6,91 ± 0,64	2,80 ± 0,44
<b>PP</b>	24,13 ± 2,28	6,92 ± 2,04	1,54 ± 0,04

O volume de fibras ( $V_f$ ) foi calculado pela técnica de análise termogravimétrica (TGA) das amostras (curvas no Apêndice B) e os valores de densidade do PP e do tecido de algodão foram calculados por deslocamento de volume (princípio de Arquimedes). A partir dos valores de densidade dos constituintes puros, juntamente com a porcentagem relativa de cada fase nos compósitos, a densidade das diferentes configurações de laminados foi calculada.  $\sigma_{max}$ ,  $\xi_{max}$  e E são os valores médios obtidos através de ensaio de tração em carregamento monotônico e estão apresentados com seus respectivos erros. E\* (módulo específico) é o valor do módulo elástico dividido pela densidade calculado para cada um dos respectivos laminados.

A Tabela 4 apresenta os valores de densidade ( $\rho$ ), volume de fibra ( $V_f$ ), limite de resistência a tração ( $\sigma_{max}$ ), deformação na ruptura ( $\xi_{max}$ ), módulo elástico (E) e módulo elástico específico E\* para as cinco configurações de compósitos fabricadas.

**Tabela 4.** Correlação dos ensaios mecânicos, teor de fibras e densidade obtidos para os compósitos.

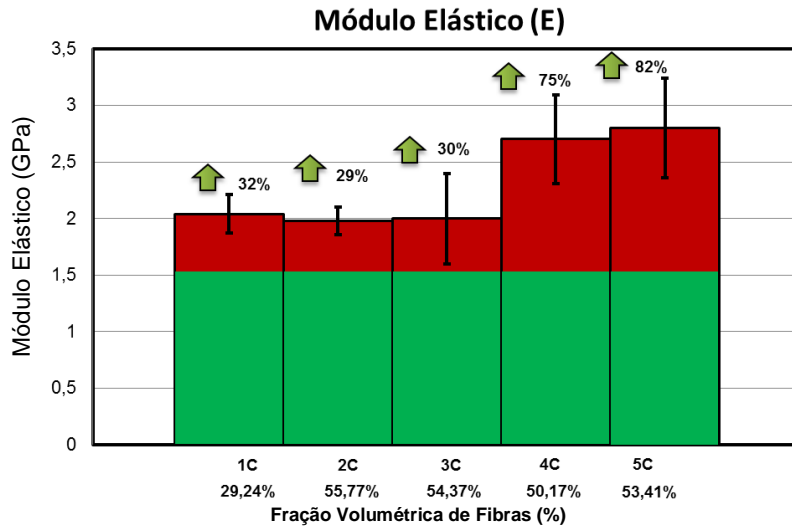
	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$V_f$	$\sigma_{max}$ (MPa)	$\xi_{max}$ (%)	E (GPa)	E* (GPa.cm <sup>3</sup> /g)
<b>1C</b>	0,862	29,24%	38,94 ± 0,60	8,39 ± 0,97	2,04 ± 0,17	2,37
<b>2C</b>	0,780	55,77%	42,60 ± 2,12	8,68 ± 0,45	1,98 ± 0,12	2,54
<b>3C</b>	0,785	54,37%	39,09 ± 3,29	5,78 ± 1,13	2,00 ± 0,40	2,55
<b>4C</b>	0,799	50,17%	42,90 ± 6,02	6,98 ± 2,12	2,70 ± 0,39	3,38
<b>5C</b>	0,788	53,41%	45,22 ± 2,32	6,91 ± 0,64	2,80 ± 0,44	3,55
<b>PP*</b>	0,935	-	24,13 ± 2,28	6,92 ± 2,04*	1,54 ± 0,04	1,65
<b>Algodão</b>	0,421	-	-	-	-	-

\*Obs: O valor de  $\sigma_{max}$  do PP foi obtido no limite de escoamento.

O gráfico de colunas da Figura 10 exibe os valores de módulo elástico apresentados na Tabela 4 para cada uma das cinco configurações de laminados fabricados. Em cada uma das colunas foi sobreposto o valor do módulo elástico do PP puro, facilitando a observação do incremento alcançado com a adição gradativa de camadas de reforço. O valor do volume de fibras em cada configuração foi adicionado abaixo da legenda de cada coluna.

É possível observar no gráfico da Figura 10 que, com exceção do laminado 1C que apresentou  $V_f$  em torno de 30%, todas as outras quatro configurações apresentaram fração volumétrica de fibras bem próximos, com valores entre 50- 56%, o que mostra que a proporção entre fibras e matriz de PP foi razoavelmente mantida nos compósitos fabricados. Entretanto, apesar de apresentarem  $V_f$  similares nota-se que houve diferença significativa entre o aumento médio do módulo proporcionado pela presença do reforço nos laminados 2C e 3C (aumento em torno ~30%) para os laminados 4C e 5C, que apresentaram um incremento de 75% e 82 % respectivamente.

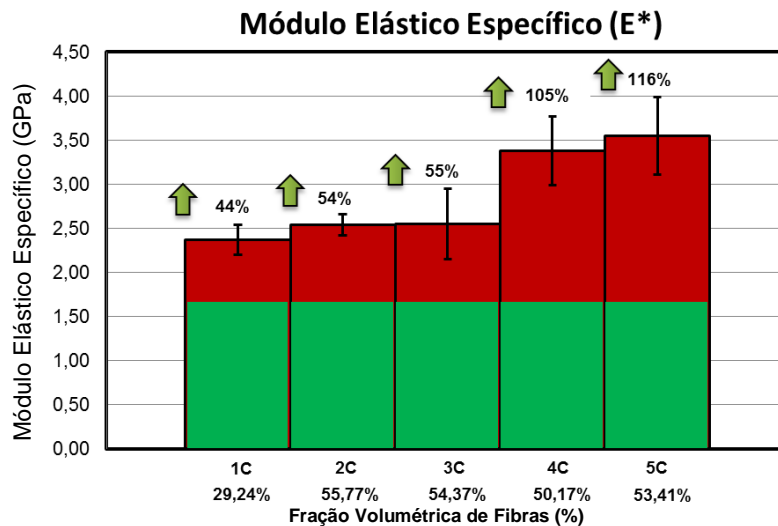
Esse aumento substancial apresentado pelos laminados 4C e 5C pode ser atribuído à necessidade de uma quantidade mínima de reforço para que as propriedades da matriz termoplástica sejam significativamente melhoradas pela incorporação da fase fibrosa.



**Figura 10.** Valores de módulo elástico para os compósitos 1C, 2C, 3C, 4C e 5C. A faixa verde representa o módulo elástico do PP

O gráfico da Figura 11 mostra, no mesmo formato que a Figura 10, os valores de módulo elástico específico  $E^*$  para cada um dos laminados, superpostos aos valores do módulo específico do PP puro. Nota-se que o gráfico da Figura 11 apresenta a mesma tendência do gráfico da Figura 10, onde os laminados com até três camadas de reforço apresentam valores médio de incremento no módulo bem próximos entre si (em torno de 40-50%), enquanto que para os laminados de 4 e 5 camadas de reforço há um grande salto no aumento da propriedade mecânica (100-120%) .

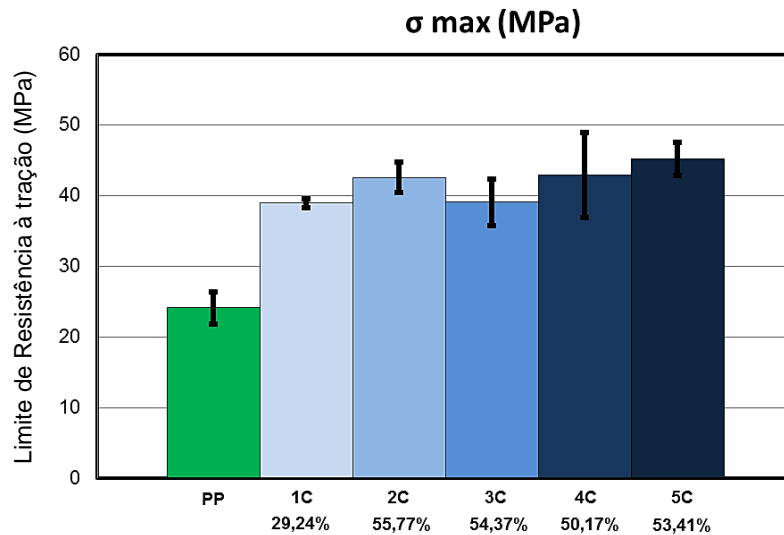
A mesma tendência de comportamento e os valores mais expressivos do módulo específico em relação ao módulo elástico mostram que apesar dos laminados estarem aumentando em dimensões, à medida que uma nova camada de reforço (e uma nova camada de PP) é adicionada, a rigidez do compósito aumenta de modo muito mais significativo. Ou seja, o aumento do módulo não é penalizado por um aumento no peso do compósito.



**Figura 11.** Valores de módulo elástico específico para os compósitos 1C, 2C, 3C, 4C e 5C. A faixa verde representa o módulo elástico do PP

Por fim, o gráfico de colunas da Figura 12 mostra os valores de tensão de escoamento para o PP puro e os valores de limite de resistência a tração ( $\sigma_{max}$ ) para as 5 configurações de laminados. Pro caso dos laminados compósitos, como era de se esperar, os valores de tensão de escoamento e  $\sigma_{max}$  foram bem próximos.

Da análise da Figura 12 observa-se que a adição da fase de reforço proporcionou um aumento de em torno de 65% da tensão máxima de ruptura em relação ao PP puro. Contudo a adição gradativa de camadas não acarretou em um aumento apreciável da tensão máxima de ruptura uma vez que  $\sigma_{max}$  para o laminado 1C foi de 38 MPa enquanto que para o 5C foi de 45 MPa.



**Figura 12.** Valores de resistência à tração das amostras de PP, 1C, 2C, 3C, 4C e 5C

## 4.2 INFLAMABILIDADE

As Figura 13 e Figura 14 foram obtidas durante o ensaio de inflamabilidade. É importante ressaltar, como pode ser observado na Figura 13, que o CP de polipropileno puro (PP) apresentou gotejamento constate durante sua queima. Quando o compósito foi submetido ao mesmo ensaio não foi notado gotejamento algum da amostra, como é possível observar na Figura 14. A taxa de queima linear obtida para o polipropileno puro foi de 14 mm/min e a do compósito 3C foi de 16mm/min.



**Figura 13.** Ensaio de inflamabilidade do polipropileno puro (PP)

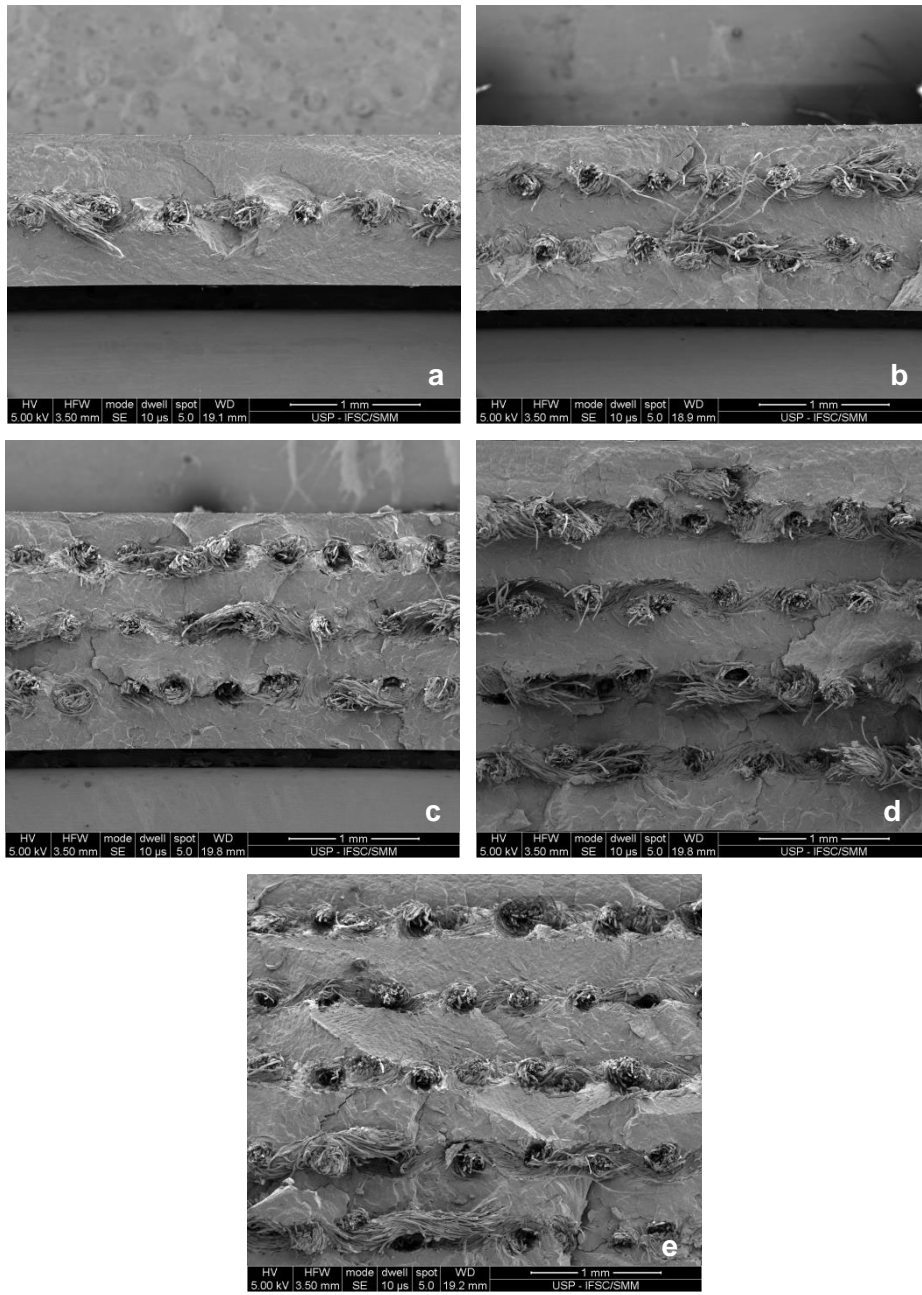


**Figura 14.** Ensaio de inflamabilidade do compósito 3C

### **4.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)**

A sequência de micrografias (a-e) na Figura 15 foram obtidas através de MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) e ilustram as seções transversais após a fratura frágil das cinco configurações de laminados (1C- 5C, respectivamente). É possível observar nas imagens que as mantas de reforço respeitam certa distância de espaçamento entre elas, que se mantém regular na medida em que o número de camadas aumenta. Tal arranjo, que foi obtido pelo empilhamento das camadas alternadas de reforço de algodão e matriz de PP no processo de manufatura dos laminados permitiu um maior molhamento entre as mantas (direção transversal).

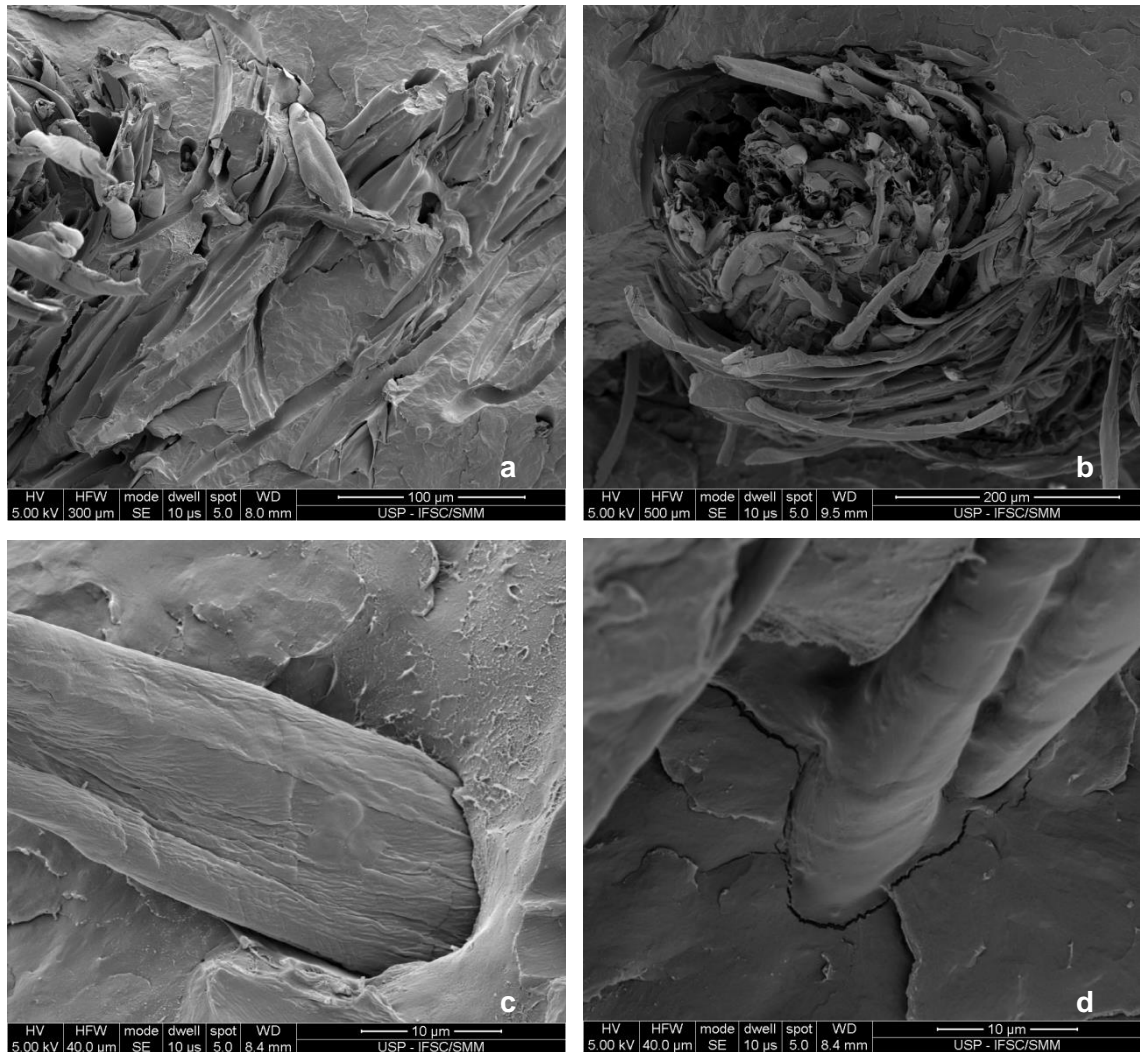




**Figura 15.** Micrografias dos laminados com aresta de 3,5 mm: (a) 1C, (b) 2C, (c) 3C, (d) 4C e (e) 5C.

Devido ao método de fabricação dos fios de tecido de algodão, que envolve principalmente a torção e o dobramento de conjuntos de fibras isoladas, só foi observado boa molhabilidade entre reforço matriz nas regiões externas aos aglomerados de fios de algodão (Figura 16.a). A matriz termoplástica não foi capaz de penetrar no núcleo dos fios devido ao alto empacotamento e emaranhamento das fibras torcidas e portanto nessas regiões houve baixa molhabilidade (Figura 16.b). No entanto, mesmo nas regiões de baixa molhabilidade entre fibra e matriz foi observado que a falha do composto se deu através da fratura das fibras o que mostra que a adesão entre as fases de reforço e matriz, embora pobre em algumas regiões, foi suficiente para romper a resistência coesiva máxima apresentada pelas fibras de algodão.

Por outro lado, nas fibras mais afastadas dos aglomerados i.e. fibras que estavam totalmente molhadas pela matriz termoplástica, foi possível verificar boa adesão das fases na interface através da presença de micro-ondulações e mudança na rugosidade no comprimento fibra, que indica a presença de vestígios de PP e da propagação de uma trinca pela matriz, contornando a fibra de reforço e a região onde ela está imersa (Figura 16.c e Figura 16.d, respectivamente).



**Figura 16.** Micrografias dos laminados (a) aresta de 300 µm. (b) aresta de 500 µm. (c) aresta de 40 µm. (d) aresta de 40 µm

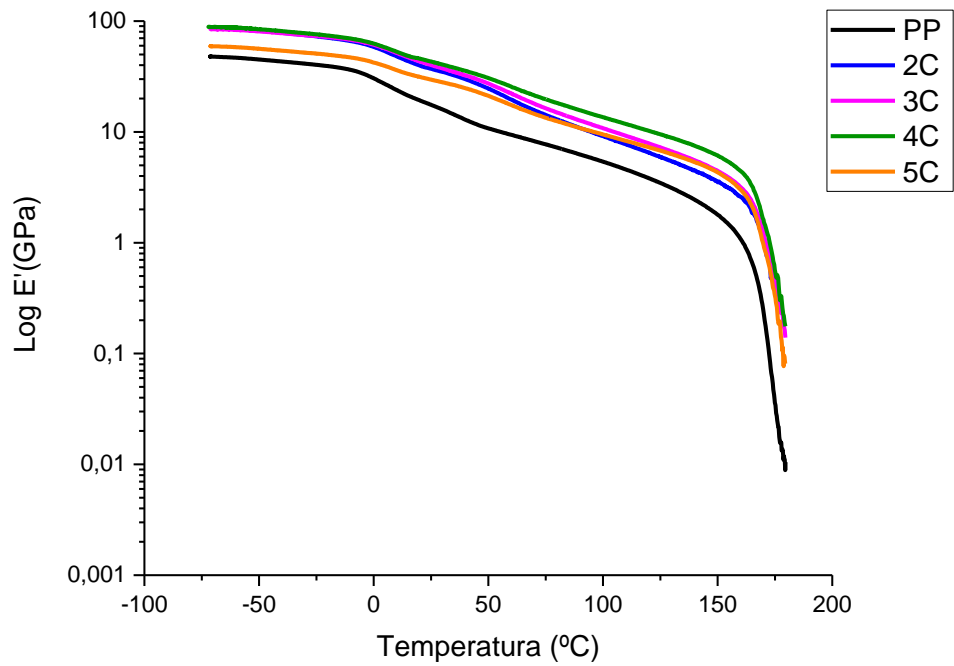
#### 4.4 ANÁLISE TÉRMICA DINÂMICO-MECÂNICA (DMTA)

As curvas de módulo de armazenamento e  $\tan \delta$  versus temperatura são observadas nas Figura 17 e Figura 18 respectivamente.

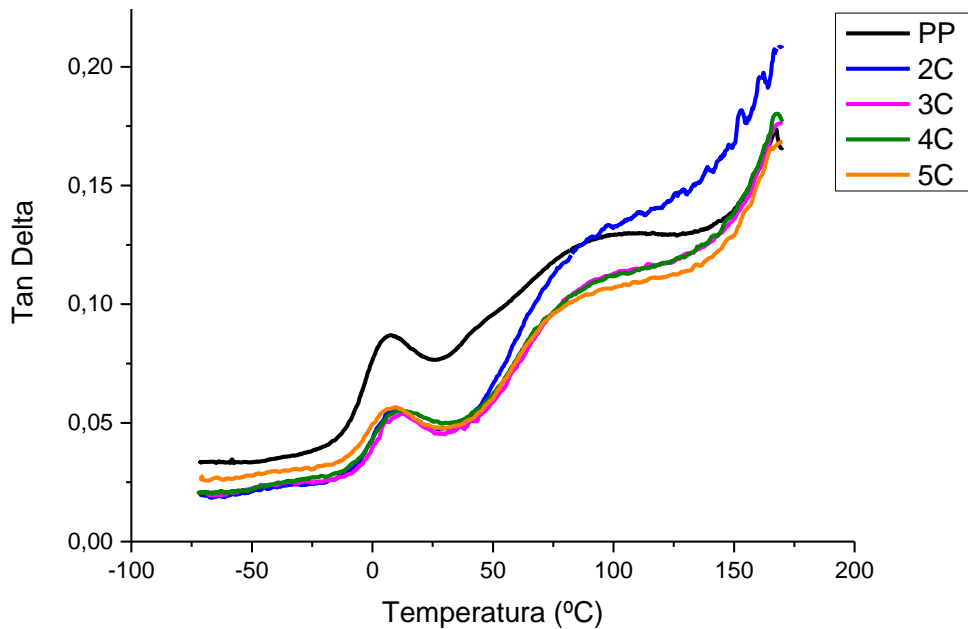
O gráfico da Figura 17 apresenta o log do módulo de armazenamento  $E'$  em função da temperatura para as análises térmicas dinâmico-mecânicas (DMTA) realizadas com amostras dos laminados 2C, 3C, 4C e 5C. Para esse ensaio, o laminado 1C não pode ser analisado devido a sua pequena espessura, o que impediu sua fixação adequada no equipamento de ensaio.

Do gráfico da Figura 17 é possível observar que a incorporação da fase de reforço no PP puro aumento seu módulo de armazenamento em temperaturas inferiores a 0°C. Além

disso, para temperaturas superiores a 0°C a incorporação do algodão proporcionou uma queda menos acentuada no módulo de armazenamento. Ou seja, a fase de reforço contribuiu para o aumento da estabilidade térmica do material.



**Figura 17.** Curva módulo de armazenamento ( $E'$ ) versus temperatura para os compósitos laminados 2C, 3C, 4C, 5C e PP Puro



**Figura 18. Tan Delta em função da temperatura dos compósitos laminados de polipropileno e tecido de algodão**

A incorporação de tecido de algodão trançado como fase de reforço no polipropileno apresentou melhora significativa no módulo elástico do material. Para o módulo elástico específico esse incremento foi ainda mais significativo onde, embora as dimensões do compósito tenham sido aumentadas pela adição gradativa de camadas, essa propriedade mecânica aumentou em ordem muito superior. Isso ocorreu pelo fato das fibras de reforço de algodão serem muito menos densas do que a matriz termoplástica, onde o aumento da rigidez foi alcançado sem a contrapartida do aumento significativo de peso. Tal comportamento não ocorre em compósitos reforçados com fibras mais densas como é o caso da fibra de vidro por exemplo, onde o aumento da rigidez alcançado com a incorporação de um volume de fibras elevado é de certo modo mitigado pelo aumento do peso do componente. Dentre as configurações fabricadas os laminados de 4 e 5 camadas de algodão ( 4C e 5C) foram os que apresentaram as maiores melhoras nas propriedades.

A tensão máxima de ruptura  $\sigma_{max}$  também foi aumentada significativamente com a incorporação do reforço (aumento de aproximadamente 65%). Contudo não foi observado aumento significativo dessa propriedade como o aumento do número de camadas de algodão.

O método de fabricação através do empilhamento de camadas alternadas de tecido de algodão e polipropileno para manufatura dos laminados proporcionou boa molhabilidade entre as superfícies de camadas de reforço o que resultou na ausência de falha dos laminados por delaminação, problema esse muito encontrado na literatura. Contudo, apesar

da boa molhabilidade superficial o termoplástico não foi capaz de penetrar por entre os fios trançados, dificultando a molhabilidade entre as fibras individuais. Entretanto, mesmo sendo baixa em algumas regiões dos laminados a adesão alcançada entre fibra e matriz foi suficiente para que a falha do compósito ocorresse pela ruptura das fibras de reforço.

## 5 CONCLUSÕES

Com relação aos resultados alcançados na realização desse trabalho, pode-se concluir que:

1. A incorporação de uma fração volumétrica de aproximadamente 55% de tecido trançado de algodão na matriz de polipropileno proporcionou um aumento de rigidez significativo (até 116%) sem comprometer a baixa densidade do material.
2. O uso do tecido como reforço permitiu a inibição do gotejamento da matriz mesmo sem o uso de aditivos anti-chamas.
3. O uso do tecido permitiu que houvesse penetração da matriz nas tramas, o que resultou em uma melhora na interface mesmo sem compatibilizantes.
4. A baixa molhabilidade das fibras observada em algumas regiões não resultou em baixa adesão das fases uma vez que a falha dos laminados ocorreu principalmente pela fratura das fibras.
5. Por fim pode-se concluir a partir dos ensaios mecânicos, térmico dinâmico mecânico, inflamabilidade e das análises de falha apresentadas que o polipropileno reforçado com tecido de algodão apresenta potencial para utilização na indústria automotiva. O aumento das pesquisas com esses materiais poderá trazer inúmeros benefícios ao setor tais como: diminuição do peso dos componentes, que resultará em menos emissões e menos consumo de combustível, diminuição nos custos de fabricação, uma vez que o algodão é mais barato que as fibras de reforço convencionais e contribuir para a diminuição do descarte de resíduos sólidos no ambiente, uma vez que o algodão é derivado de fontes renováveis e é biodegradável.

Para trabalhos futuros é sugerido a realização de ensaios mecânicos nos laminados após ensaio de umidade para quantificar o quanto que a absorção de água afeta as propriedades físicas do compósito; realização de ensaios de biodegradabilidade; ajuste das condições de termoprensagem das placas de polipropileno para maior penetração nas

tramas; reprodução do compósito com grades de polipropileno com maior índice de fluidez e o uso de compatibilizantes interfaciais.

## REFERÊNCIAS

- [1] MADDAH, Hisham A. Polypropylene as a Promising Plastic: A Review. **American Journal of Polymer Science**, v. 6, n. 1, p. 1-11, 2016.
- [2] HINDLE, Colin. **British Plastics Federation: Polypropylene**. Disponível em: <<http://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/PP.aspx>>. Acesso em: 05 out. 2016.
- [3] CALLISTER JR, W. D. **Materials science and engineering: an introduction**. 7<sup>a</sup> ed. New York: John Wiley & Sons, 2007. v. 94
- [4] PLASTICS. **Benchmarking Citroën C4 Picasso**. Disponível em: <<http://www.plastics.gl/automotive/benchmarking-citroen-c4-picasso/?polypropylene?in?automotive/>>. Acesso em 05 out. 2016.
- [5] SZETEIOVÁ, Katarína. Automotive materials: plastics in automotive markets today. **Institute of Production Technologies, Machine Technologies and Materials, Faculty of Material Science and Technology in Trnava, Slovak University of Technology Bratislava**, 2010.
- [6] ETCHEVERRY, Mariana; BARBOSA, Silvia E. Glass fiber reinforced polypropylene mechanical properties enhancement by adhesion improvement. **Materials**, v. 5, n. 6, p. 1084-1113, 2012.
- [7] KAMATH, M. G. et al. Cotton fiber nonwovens for automotive composites. **International Nonwovens Journal**, v. 14, n. 1, p. 34-40, 2005.
- [8] RUKMINI, K. et al. Development of Eco-Friendly Cotton Fabric Reinforced Polypropylene Composites: Mechanical, Thermal, and Morphological Properties. **Advances in Polymer Technology**, v. 32, n. 1, 2013.
- [9] SONESSO, Maria Fernanda Carvalho et al. Obtenção e caracterização de nanocristais de celulose a partir de algodão crú e polpa kraft. 2011.
- [10] BARNHARDT NATURAL FIBERS GROUP. **Cotton fiber properties: an extensive technical guide**. Disponível em: <<http://www.barnhardtcotton.net/technology/cotton-properties/>>. Acesso em 03 out. 2016.
- [11] RAFTOYIANNIS, Ioannis G. Experimental testing of composite panels reinforced with cotton fibers. 2012.
- [12] HOLBERY, James; HOUSTON, Dan. Natural-fiber-reinforced polymer composites in automotive applications. **Jom**, v. 58, n. 11, p. 80-86, 2006.

## APÊNDICE A – Resultados de Tração

**Tabela 5.** Resultados do Ensaio de Tração do PP Puro

CP	Tensão no escoamento [MPa]	Deformação no escoamento [%]	Deformação na Ruptura [%]	Tensão na Ruptura [MPa]	Módulo Elástico [Gpa]
1	31,80	8,18	149,42	20,56	1,54
2	-	-	2,68	23,06	1,55
3	27,05	4,02	4,02	27,05	1,51
4	31,86	6,97	7,43	31,14	1,58
5	30,98	8,49	45,45	18,83	1,49
<b>Média</b>	<b>30,42</b>	<b>6,92</b>	<b>41,80</b>	<b>24,13</b>	<b>1,54</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>2,28</b>	<b>2,04</b>	<b>62,72</b>	<b>4,99</b>	<b>0,04</b>

**Tabela 6.** Resultados do Ensaio de Tração do Laminado 1C

CP	Tensão no escoamento [MPa]	Deformação no escoamento [%]	Deformação na Ruptura [%]	Tensão na Ruptura [MPa]	Módulo Elástico [Gpa]
1	40,18	7,64			2,08
2	39,31	7,04	7,37	39,19	2,14
3	39,76	7,50	8,03	39,20	2,06
4	39,46	8,79	9,68	39,04	2,17
5	38,56	8,14	8,46	38,33	1,75
<b>Média</b>	<b>39,45</b>	<b>7,82</b>	<b>8,39</b>	<b>38,94</b>	<b>2,04</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,60</b>	<b>0,67</b>	<b>0,97</b>	<b>0,41</b>	<b>0,17</b>

**Tabela 7.** Resultados do Ensaio de Tração do Laminado 2C

CP	Tensão no escoamento [MPa]	Deformação no escoamento [%]	Deformação na Ruptura [%]	Tensão na Ruptura [MPa]	Módulo Elástico [Gpa]
1	44,20	8,60	8,81	43,67	1,91
2	42,64	8,22	8,50	41,95	1,91
3	45,71	8,50	8,57	45,63	1,90
4	42,57	7,84	8,15	41,80	2,19
5	40,03	9,31	9,37	39,93	1,99
<b>Média</b>	<b>43,03</b>	<b>8,49</b>	<b>8,68</b>	<b>42,60</b>	<b>1,98</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>2,12</b>	<b>0,54</b>	<b>0,45</b>	<b>2,15</b>	<b>0,12</b>



**Tabela 8.** Resultados do Ensaio de Tração do Laminado 3C

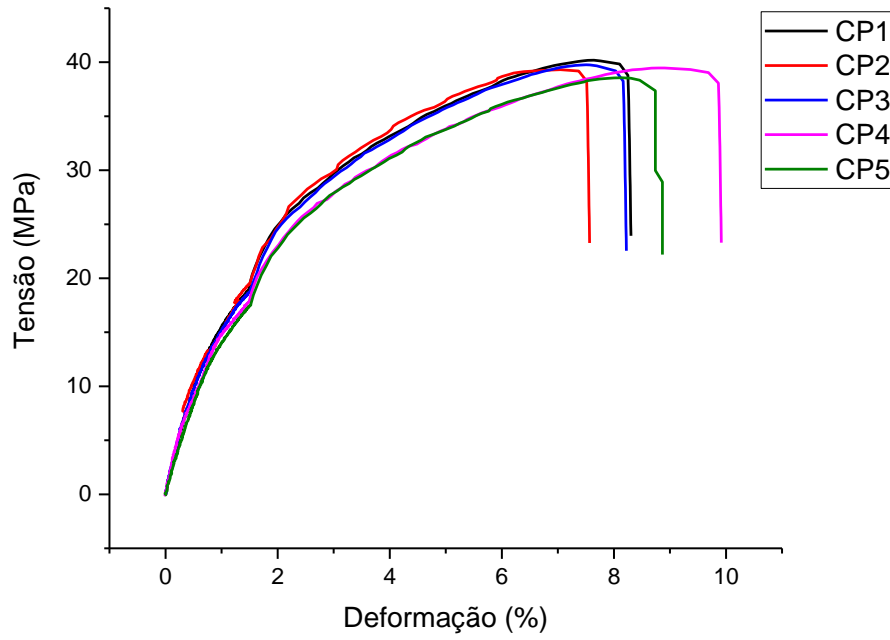
CP	Tensão no escoamento [MPa]	Deformação no escoamento [%]	Deformação na Ruptura [%]	Tensão na Ruptura [MPa]	Módulo Elástico [Gpa]
1	39,42	-	5,77	39,40	2,32
2	41,22	5,82	6,46	41,14	1,48
3	39,55	-	5,76	39,49	2,17
4	42,35	6,62	6,96	41,77	1,66
5	33,80	-	3,97	33,64	2,36
<b>Média</b>	<b>39,27</b>	<b>6,22</b>	<b>5,78</b>	<b>39,09</b>	<b>2,00</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>3,29</b>	<b>0,57</b>	<b>1,13</b>	<b>3,21</b>	<b>0,40</b>

**Tabela 9.** Resultados do Ensaio de Tração do Laminado 4C

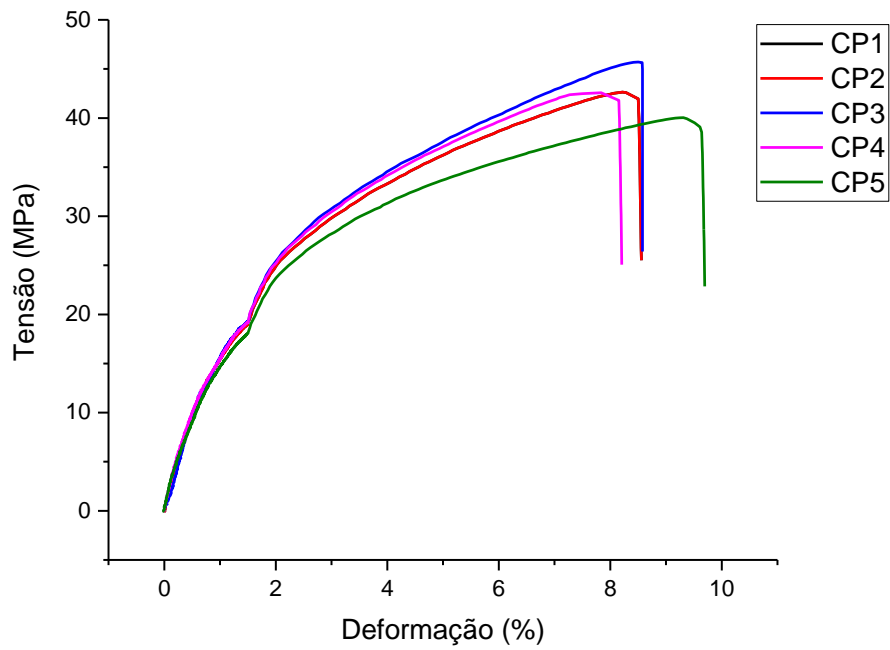
CP	Tensão no escoamento [MPa]	Deformação no escoamento [%]	Deformação na Ruptura [%]	Tensão na Ruptura [MPa]	Módulo Elástico [Gpa]
1	39,03	5,53	5,63	38,69	2,38
2	47,17	8,06	8,38	47,12	3,13
3	48,14	8,99	9,32	48,09	2,91
4	34,46	-	4,07	34,43	2,19
5	46,50	7,43	7,52	46,16	2,87
<b>Média</b>	<b>43,06</b>	<b>7,50</b>	<b>6,98</b>	<b>42,90</b>	<b>2,70</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>6,02</b>	<b>1,46</b>	<b>2,12</b>	<b>6,02</b>	<b>0,39</b>

**Tabela 10.** Resultados do Ensaio de Tração do Laminado 5C

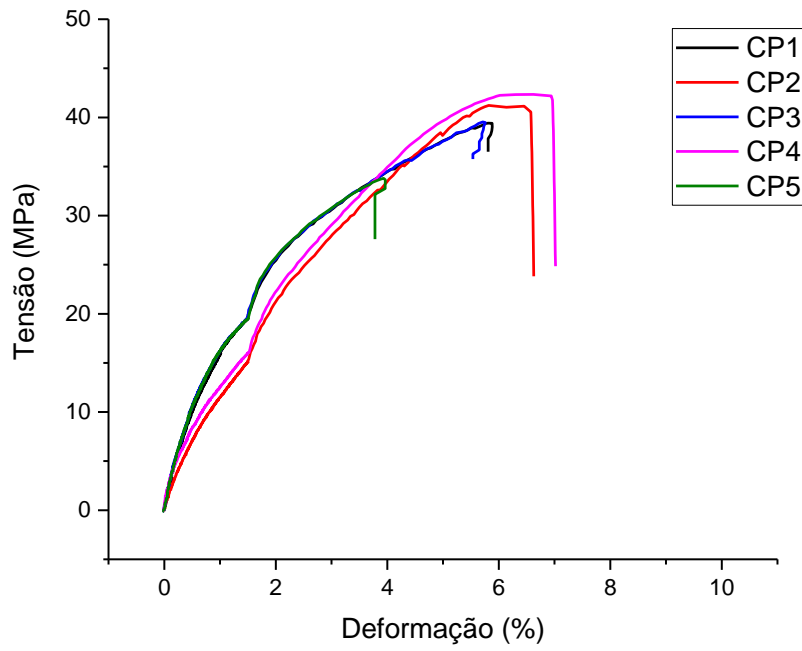
CP	Tensão no escoamento [MPa]	Deformação no escoamento [%]	Deformação na Ruptura [%]	Tensão na Ruptura [MPa]	Módulo Elástico [Gpa]
1	45,86	6,79	6,89	45,45	3,17
2	42,48	5,96	6,04	41,11	2,89
3	46,05	6,49	6,63	45,72	2,86
4	44,94	6,93	7,25	44,91	2,05
5	48,93	7,41	7,74	48,93	3,03
<b>Média</b>	<b>45,65</b>	<b>6,72</b>	<b>6,91</b>	<b>45,22</b>	<b>2,80</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>2,32</b>	<b>0,54</b>	<b>0,64</b>	<b>2,79</b>	<b>0,44</b>



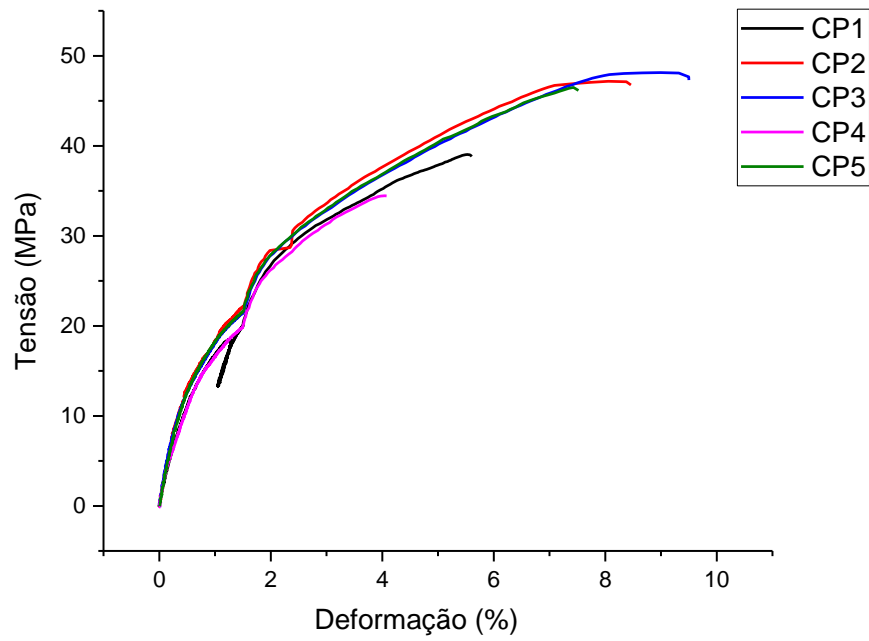
**Figura 19.** Curva tensão versus deformação do laminado 1C



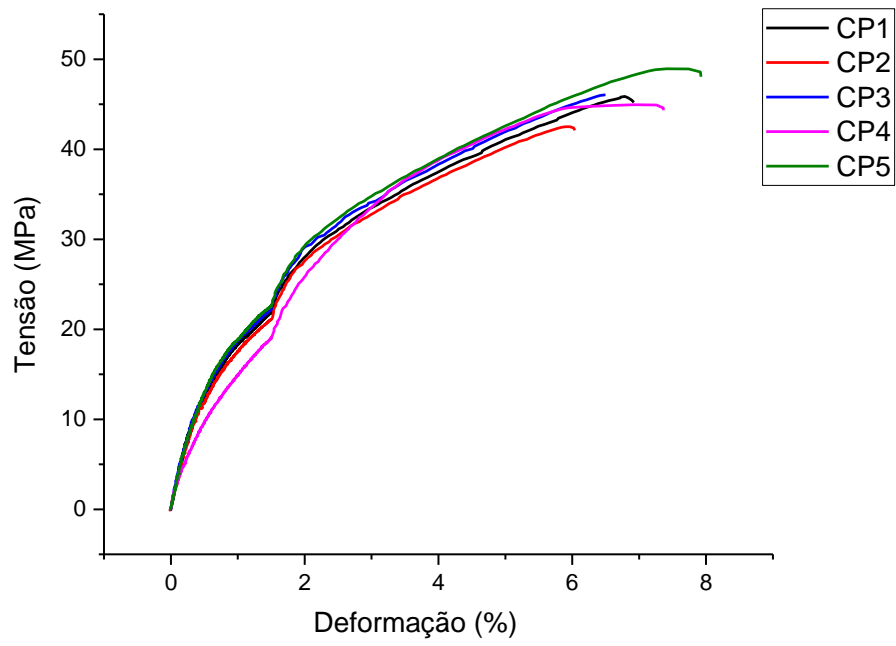
**Figura 20.** Curva tensão versus deformação do laminado 2C



**Figura 21.** Curva tensão versus deformação do laminado 3C

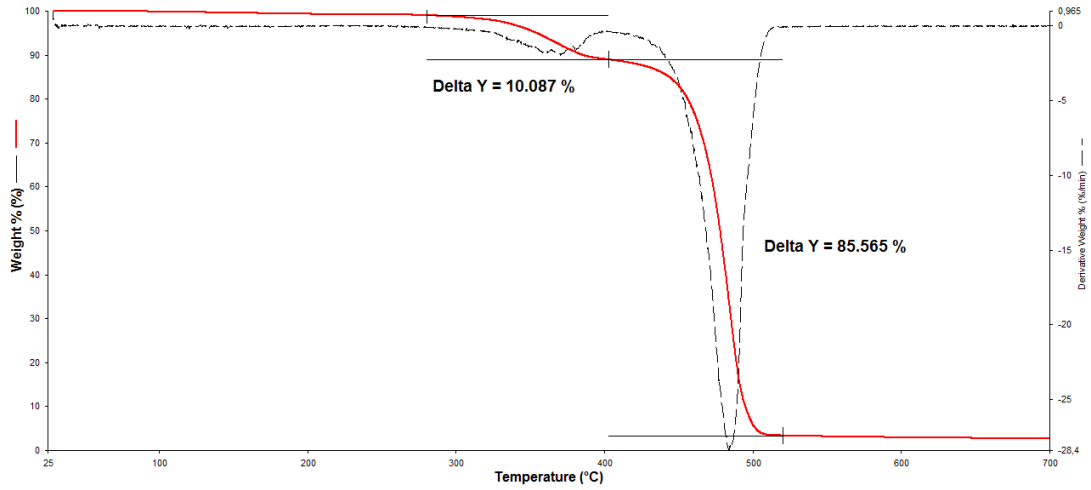


**Figura 22.** Curva tensão versus deformação do laminado 4C

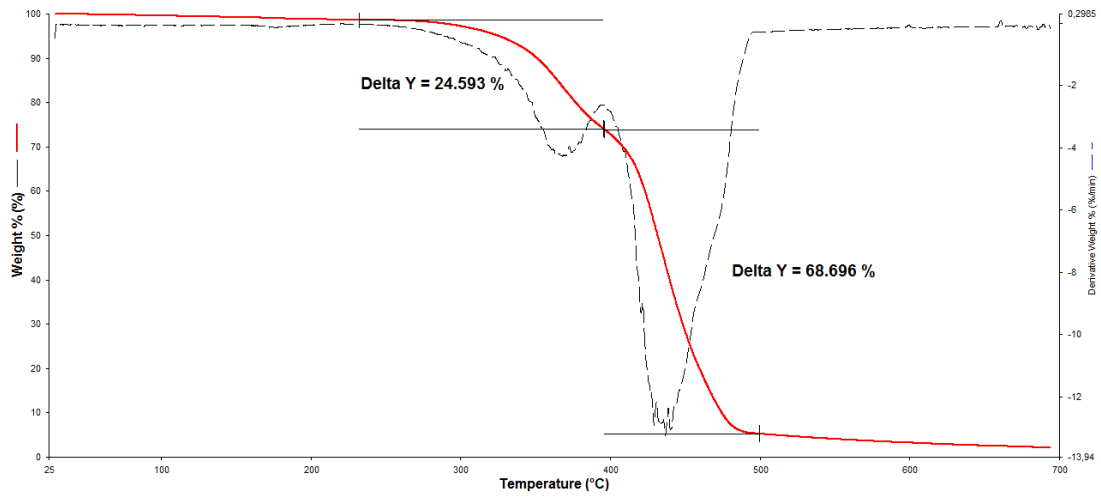


**Figura 23.** Curva tensão versus deformação do laminado 5C

## APÊNDICE B – Curvas Termogravimétricas



**Figura 24.** Curva termogravimétrica do compósito 1C



**Figura 25.** Curva termogravimétrica do compósito 2C

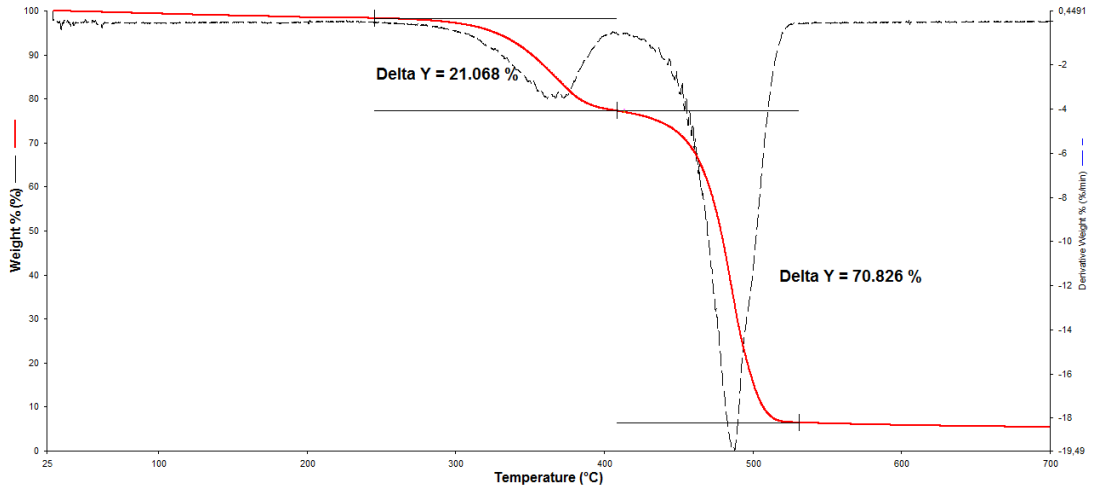


Figura 26. Curva termogravimétrica do compósito 3C

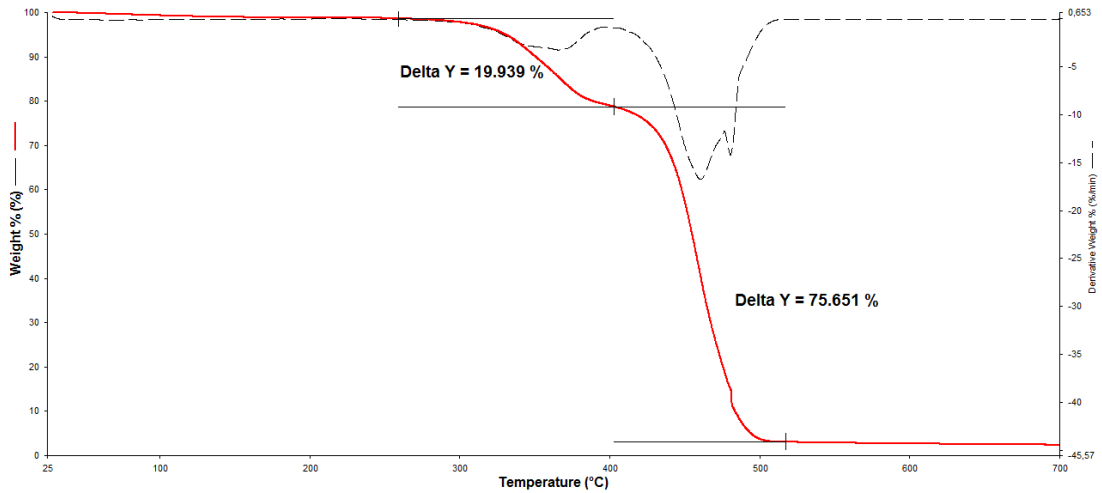


Figura 27. Curva termogravimétrica do compósito 4C

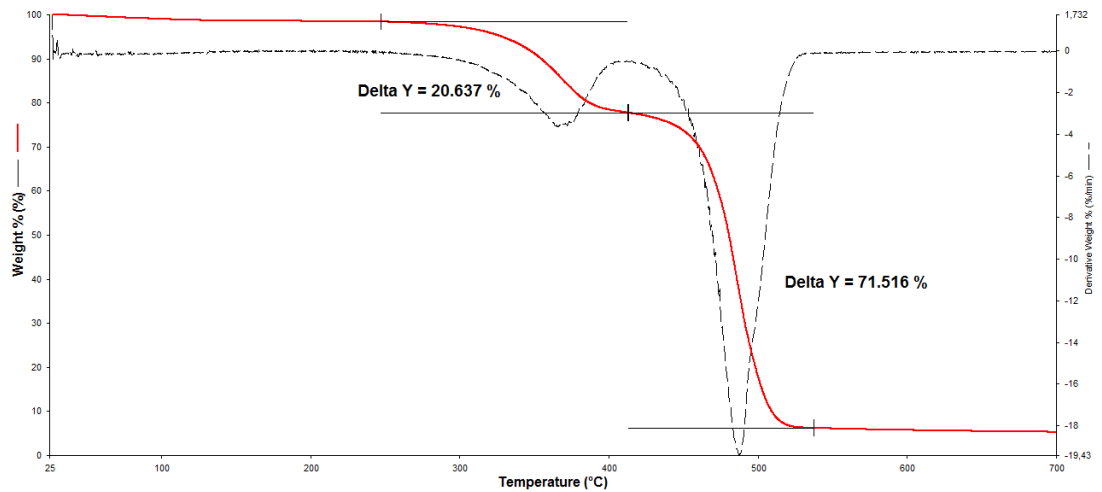


Figura 28. Curva termogravimétrica do compósito 5C

## ANEXO A – Tecido de Algodão



**Peripan Industrial Ltda.**

Rua do Horto, 940 - Distrito Industrial – Telefax: (37) 3249-4200.  
CEP: 35681-779 Itaúna Minas Gerais

**Site: [www.peripan.com.br](http://www.peripan.com.br)**

**Requisitos de Vendas**

**CIRCULAR GERAL N°033/2016**

Itaúna, 29 de Junho de 2016.

Prezados Representantes de Tecidos e Viés,

### **ASSUNTO: ACABAMENTO DE TECIDO TINTO E ESTAMPADO EM PIGMENTO**

O acabamento de um tecido passa por muitos processos, em cada processo exige uma receita, uma máquina diferente e muitas variáveis (temperaturas, velocidades, produtos químicos, etc.).

O tecido sai cru do Tear em rolões que variam de 400 a 800m, e esses rolões são transformados novamente em rolões/cavaletes, que variam de 3.000 a 6.500m, dependendo da gramatura do tecido, isso para o início dos processos de acabamento.

O primeiro processo é a *CHAMUSCAGEM*, ou seja, a queima dos pelos dos fios do Tecido. Em seguida, fazemos a *DESENGOMAGEM*, isto é, retiramos a goma que foi colocada no fio de urdume para melhorar a sua resistência no Tear. Para esse processo usamos o repouso em movimento durante 18 horas em rolão / cavalete, em seguida fazemos a *LAVAGEM*.

Após esse processo fazemos a *MERCEIRIZAÇÃO* a base de soda para melhorarmos a hidrofiliabilidade do Tecido para receber o tingimento. O tecido tinto fica em repouso/movimento no rolão/cavalete num período de 14 a 24 horas. Após o repouso, o tecido é lavado para retirar o excesso de tinta, ou seja, a tinta que superou a capacidade de absorção do Tecido. Uma vez lavado o tecido, ele entra na *RAMA* para acertar a largura e corrigir a trama. Feito esse processo, o tecido vai para a *ESTAMPARIA* servindo de fundo tinto para receber os desenhos. Após receber o desenho, é feita a *POLEMERIZAÇÃO* que é o processo de fixação das cores da estampa no Tecido (NOTA: essa fixação acontece pela reação do ligante ao receber uma temperatura 160°). A polemerização no tecido evita o desbote das cores do desenho por ocasião da lavagem da roupa pronta.

Uma vez estampado e polemerizado o Tecido entra na *RAMA*, máquina onde aplicamos os amaciantes, padronizamos as larguras e corrigimos a trama (fazemos o endireitamento de trama).

Em seguida, o Tecido entra na *CALANDRA* que faz o processo de melhoria do Tecido, toque, brilho e maciez, dali o tecido segue para *SANFORIZAÇÃO*, processo final importante, é nessa etapa que o Tecido é pré-encolhido. Em média, o Tecido de algodão encolhe de 6 a 10%, evitando que a roupa uma vez lavada não altere a sua numeração. O tecido saindo da *SANFORIZADEIRA*, vai direto para *REVISÃO* e *EMBALAGEM*, ficando dessa forma pronto para *EXPEDIÇÃO*.

Para o tecido TINTO os processos são os mesmos, ficando isento por questões óbvias da Estamparia e Polemerização.

Vejam que o acabamento de um Tecido requer o uso de muitas máquinas, muitos produtos químicos, muitas etapas e muitos processos. Finalizando, o Tecido é um produto de primeira necessidade muito barato.

Mateus Lima  
Diretor Presidente

Júlio Morais  
Diretor Comercial

## ANEXO B – Tecido de Algodão

**Peripan**

Industrial Ltda

Tijuca e Destaque

**Informações Técnicas de Tecido**

Impresso: 10/02/2016

Tecido	POP. MONTREAL 1,60		Padrão	68x50x20x20x64		Código	0054
Máquina	TOYOTA	Total Fios	4300	Tipo Ourela	GORGURÃO	N.º Pente	64
Ligamento	TELA	Batidas	50	Ourela	36	Fios/Malha	1
RPM	950	N.º Pistas	1	Fios/Malha	2	Fios/Pua	2
				Fios/Pua	4	Liços	4
Largura no Pente				169	Cm	66,54	Pol.
Largura em Cru				162	Cm	63,78	Pol.
Largura Acabada				150	Cm	59,06	Pol.
Título	Fios/Cm	Fios/Pol	Mistura	Cont. %	Gr. Mts. Linear	Comp. %	
Urdume	20	26,77	68	100% ALGODÃO	7	135,73	58,03
Trama	20	19,69	50	100% ALGODÃO	0	98,16	41,97
				Soma		233,89	100,00
Metros/Kg	4,28	Onças/YD2	4,26	Goma	6	8,14	
Jardas/Lb	2,12	Gramas/M2	144,38	Total	242,03		
Prod. Teórica 24 hs ( Metros )	100% Rend.	694,94	95 % Rend. (Metros)	660,2			

Observações REVISADO POR : JURACI EM 02/02/16



## ANEXO C – Ficha Técnica do Polipropileno



## Folha de Dados

Revisão 14 (Abril/15)

## Polipropileno H 503

**Subfamília:**

Homopolímero

**Descrição:**

O H 503 é uma resina de Polipropileno de baixo índice de fluidez, aditivada para uso geral. Indicada para moldagem por injeção, rafia, filmes biorientados e extrusão geral. O H 503 apresenta excelente processabilidade com boa estabilidade do fundido, bom balanço rigidez/impacto e baixa transferência de odor e sabor.

**Aplicações:**

Tampas *flip-top* e com dobradiças integradas; Peças de parede espessa; Eletrodomésticos; Compostos; Monofilamento para cordas, cabos de amarração, redes de pesca, cerdas para escovas e vassouras; sacarias industriais; cortinas e coberturas para aviário e agricultura.

**Processo:**

Moldagem por Injeção, Extrusão de Fibras, Extrusão de Rafia.

**Propriedades de Controle:**

	Método ASTM	Unidades	Valores
Índice de Fluidez (230°C/2,16 kg)	D 1238	g/10 min	3,5

**Propriedades Típicas:**

	Método ASTM	Unidades	Valores
Densidade	D 792	g/cm <sup>3</sup>	0,905
Módulo de Flexão Secante a 1%	D 790	MPa	1300
Resistência à Tração no Escoamento	D 638	MPa	35
Alongamento no Escoamento	D 638	%	11
Dureza Rockwell (Escala R)	D 785	-	97
Resistência ao Impacto Izod a 23°C	D 256	J/m	30
Temperatura de Deflexão Térmica a 0,455 MPa	D 648	°C	98
Temperatura de Deflexão Térmica a 1,820 MPa	D 648	°C	55
Temperatura de Amolecimento Vicat a 10 N	D 1525	°C	155

a) Ensaios em corpo de prova moldado por injeção conforme ASTM D 4101

**Observações Finais:**

- Esta resina atende à regulamentação FDA (*Food and Drug Administration*) para polímeros olefinicos do CFR 21 seção 177.1520, vigente na data de publicação desta especificação. Os aditivos presentes são sancionados por regulamentação apropriada do FDA.
- As informações aqui contidas são dadas de boa fé, indicando valores típicos obtidos em nossos laboratórios, não devendo ser consideradas como absolutas ou como garantia. Apenas as propriedades e os valores que constam do certificado de qualidade devem ser considerados como garantia do produto.
- Em algumas aplicações a Braskem tem desenvolvido resinas *tailor-made* para alcançar características específicas.
- Em caso de dúvida na utilização ou para discutir outras aplicações, entre em contato com a Área de Serviços Técnicos.
- Para informações de segurança, manuseio, proteção individual, primeiros socorros e disposição de resíduos, consultar a FISPQ – Folha de Informações de Segurança de Produtos Químicos. Número de registro no CAS: 9003-07-0.
- Os valores constantes nesse documento poderão sofrer alterações sem comunicação prévia da Braskem.
- A Braskem não recomenda o uso desse produto para fabricação de embalagens, peças ou qualquer outro tipo de produto, que será utilizado para o armazenamento ou contato com soluções parenterais ou que terá qualquer tipo de contato interno com o corpo humano.
- Esta resina não contém a substância Bisfenol A (BPA, CAS#80-05-7) em sua composição.