

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS  
ENGENHARIA MECÂNICA**

**ICARO HIROSHI ARANTES HIGASKINO**

N. CLASS.....
GUTTER.....
ANO/EDIÇÃO.....

**INSERÇÃO DE FIBRAS NATURAIS EM PRODUTOS PLÁSTICOS COM ÊNFASE  
NO POLIPROPILENO**

**Varginha**

**2013**

**FEPESMIG**

**ICARO HIROSHI ARANTES HIGASKINO**

**INSERÇÃO DE FIBRAS NATURAIS EM PRODUTOS PLÁSTICOS COM ÊNFASE  
NO POLIPROPILENO**

Monografia apresentada como exigência para obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia Mecânica da Centro Universitário Do Sul De Minas, sob orientação do Prof. Rafael Rosa.

**Varginha**

**2013**

**ICARO HIROSHI**

**INSERÇÃO DE FIBRAS NATURAIS EM PRODUTOS PLÁSTICOS COM ÊNFASE  
NO POLIPROPILENO.**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em:        /        /

---

Prof. Ms. Luiz Carlos Vieira Guedes

---

Prof.

---

Prof.

OBS.:

Dedico este trabalho a minha família, por serem os responsáveis diretos por meu êxito em mais esta etapa de minha vida e a todos os amigos que me apoiaram para o cumprimento deste desafio que está sendo conquistado.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus e a todos que colaboram a elaborar este trabalho, principalmente a minha família, aos amigos, colegas de classe, de trabalho e aos professores pelos conhecimentos transmitidos.

Um agradecimento especial ao orientador Rafael rosa.

“Faça, Aja, Resista, Reaja, Insista, Persista e  
Vença!”

Thimer

## RESUMO

Atualmente o mundo depende de forma significativa do material polimerizado sintetizado por causa das suas vantagens econômicas e da sua facilidade extração e materialização. Sem se preocupar com sua decomposição ou descarte esses materiais com base em polímeros vão para o meio ambiente e ficam anos para se decompor. Este trabalho apresenta a viabilidade do uso de fibras vegetais na composição dos materiais poliméricos, visando garantir a leveza e robustez dos produtos e a aceleração do processo de decomposição do polímero. Outras vantagens importantes da inserção de fibras vegetais nos polímeros são a garantia de uma maior resistência mecânica e redução de peso uma vez que as fibras vegetais são mais leves que as fibras convencionais. O trabalho será baseado em pesquisa bibliográfica. Concluindo que é vantajoso o emprego das fibras vegetais para o reforço dos polímeros e tendo consciência que é necessário encontrar uma maneira de utilizar este recurso com facilidade.

**Palavras-chave:** Polímero. Fibra. Materiais.

## **ABSTRACT**

*Nowadays the world depends substantially on the polymerized material synthesized because of its economic advantages and of its easy extraction and materialization. Without worrying about their decomposition or disposal, these materials based on polymers go into the environment and can take years to decompose. This paper presents the viability of using vegetable fibers in the composition of polymeric materials in order to ensure lightness and robustness of the products and the accelerated decomposition of the polymer). (Other important advantages of inserting vegetable fibers in the polymers are the guarantee of higher mechanical strength and of reduced weight since the vegetable fibers are lighter than the conventional ones. The paper will be based on theoretical reference for the development of this paper. Concluding that it is advantageous the employment of vegetable fibers for reinforcement of the polymer and being conscious that it is necessary to find a way to use this feature with ease.*

**Keywords:** Polymer. Fiber. Materials.

## SUMÁRIO

<b>1INTRODUÇÃO.....</b>	<b>06</b>
<b>2DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>10</b>
2.1 Introdução ao polipropileno.....	10
2.2 Aspectos técnicos.....	10
2.3 Fibras Sintéticas .....	11
2.4 Fibras vegetais .....	11
<b>3 FUSÃO DE COMPOSTOS: polipropileno com fibras vegetais.....</b>	<b>14</b>
<b>4 CONCLUSÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>18</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho abordará as vantagens de inserir fibras vegetais em polímero como o polipropileno. Dependemos de forma significativa do material polimerizado sintetizado por causa das suas vantagens econômicas e da sua facilidade extração e materialização. Sem se preocupar com sua decomposição ou descarte esses materiais com base em polímeros vão para o meio ambiente e ficam anos para se decompor. Este trabalho apresenta a viabilidade do uso de fibras vegetais na composição dos materiais poliméricos, visando garantir a leveza e robustez dos produtos e a aceleração do processo de decomposição do polímero. Outras vantagens importantes da inserção de fibras vegetais nos polímeros são a garantia de uma maior resistência mecânica e redução de peso uma vez que as fibras vegetais são mais leves que as fibras convencionais. O trabalho será baseado em pesquisa discursiva, bibliográfica, através da leitura de livros, artigos, monografias, catálogos técnico e sites eletrônicos, buscando assim um referencial teórico para o desenvolvimento deste trabalho. Concluindo que é vantajoso o emprego das fibras vegetais para o reforço dos polímero e tendo consciência que é necessário encontrar uma maneira de utilizar este recurso com facilidade.

A escolha do polipropileno para ser discutida neste trabalho é pela sua abundancia em nosso país, ser de um custo baixo e possuir caracterizas especificas tais como: ser flexível, pode ser soldado, furado a frio. E da utilização das fibras, pois garantem um reforço ao polímero e auxilia na decomposição.

Tendo como intuito de mostrar a melhora de resistência mecânica e os benefícios da biodegradação do produto gerado através de um composto de PP (Polipropileno) adicionado com fibras vegetais.

Tratando de um estudo ainda pouco difundido pelo seu causa de seu custo, uma vez que já encontramos alguns materiais no mercado já com o emprego de fibras vegetais. Porem focado para um marketing apontando o desenvolvimento sustentável e ecológico.

Com isto desenvolvendo esta pesquisa com a intensão de colher dados e informações para que se ache um ponto em comum para que se tenha a melhor aplicação de um material composto de fibras vegetais.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Introdução ao polipropileno

O polipropileno origina-se de uma resina termoplástica produzida à partir do gás propileno que é um subproduto da refinação do petróleo. Em seu estado natural, a resina é semi-translúcida e leitosa e de excelente coloração, podendo posteriormente ser aditivado ou pigmentado. Este produto é usado nos casos onde é necessário uma maior resistência química. Uma das vantagens é que pode ser soldado, permitindo a fabricação de tanques e conexões. A maioria dos polipropilenos é produzida por moldagens, por injeção, por sopro ou extrusão, a partir de compostos reforçados e sem reforços. Outros processos aplicáveis aos polipropilenos são a moldagem de espumas padronizadas reforçadas com fibra de vidro. Tanto as resinas destinadas a moldagens quanto destinadas para extrusões podem ser pigmentadas através de qualquer processo convencional respectivo. (POLIPROPILENO – PP DATASHEET EMPRESA VICK, 2012).

### 2.2 Aspectos técnicos

O polipropileno deve ser visto hoje como um conjunto de três tipos: homopolímero, copolímero alternado e o copolímero estatístico (ou randômico). Cada um desses tem aplicações específicas (vide Quadro 1 a seguir). Os três polímeros - homopolímero, copolímero alternado e o copolímero estatístico - podem ser modificados e adaptados às utilizações específicas através das técnicas de formulação ou compostagem. (MELO *et al.*, 2005, p.)

Quadro 01- Propriedades básicas do polipropileno

Quadro 1 - Propriedades Básicas				
Família de Produtos	Rigidez	Resistência a choques/baixa temperatura	Transparência	Aplicação/Tipo
Homopolímero	+++	+	++	<u>fibras</u>
Copolímero Estatístico	+	++	+++	<u>embalagens</u>
Copolímero Alternado	++	+++	+	<u>automóveis</u>

Fonte: (*Innovation et Organisation - Les Cas de l'Industrie des Polymers* de José Vitor Martins).

O copolímero estatístico de polipropileno se obtém através da adição de eteno ao propeno. O produto é um pouco mais resistente ao impacto do que o homopolímero, mas há uma melhoria acentuada da transparência. O copolímero alternado é fabricado em duas etapas na polimerização. O homopolímero, produzido na primeira etapa, é em seguida copolimerizado com o eteno. A proporção do eteno é bem mais elevada do que na produção do copolímero estatístico. A parte copolimerizada se torna emborrachada, o que permite melhorar a absorção da energia no impacto. O polipropileno também possui a propriedade de "estar-orientado". As pesquisas sobre esta propriedade conduziu ao filme bi-orientado (BOPP) para a produção de fitas adesivas, embalagens para alimentos e cigarros, etc. A bi-orientação melhora as propriedades óticas do material e aumenta sua resistência à ruptura. (MELO *et al.*, 2005, p.)

### 2.3 Fibras Sintéticas

O tipo de fibra mais utilizado em compósitos em matriz polimérica é a fibra de vidro, devido principalmente ao seu baixo custo, alta resistência à tração e grande inércia química. As desvantagens dessa fibra são associadas ao relativo baixo módulo de elasticidade (em relação a outras fibras sintéticas), auto-abrasividade e a baixa resistência à fadiga quando agregada a compósitos (LEVY, F. N.; PARDINI, L. C, 2006). Existem diversos tipos de vidros, mas todos baseados na sílica ( $\text{SiO}_2$ ) que é combinada com outros elementos para criar vidros especiais (BUNSELL, A. R.; RENARD J, 2005). A composição do vidro pode influir significativamente nas propriedades da fibra obtida. A adesão de fibras de vidro a matrizes poliméricas é promovida por meio de agentes de ligação do tipo organossilanos. Estes compostos orgânicos apresentam grupos com afinidade orgânica e inorgânica, sendo os grupos com afinidade inorgânica metóxi ou etóxi, que podem ser convertidos em grupo silanol por meio de hidrólise. Esta reação química forma ligações covalentes estáveis com grupos óxidos presentes no vidro. Os grupos com afinidade orgânica reativa podem ser do tipo amina, epóxi, metacrilato e estireno, que reagem com o polímero que irá aderir ao substrato (LEVY, F. N.; PARDINI, L. C, 2006).

### 2.4 Fibras vegetais

As fibras naturais são classificadas quanto a sua origem em: vegetal, mineral e animal. O uso de fibras lignocelulósicas como reforço para materiais poliméricos aumentou durante os últimos anos, substituindo as fibras sintéticas, especialmente a fibras de vidro, em compósitos utilizados em diferentes setores industriais como o automobilístico e a construção civil, apresentando diversas vantagens quando comparados a materiais tradicionais (BEG, M.

D. H.; PICKERING, K. L.2008, MOHANTY, S.; VERMA, S. K.; NAYAK, S. K., 2006).

Algumas dessas vantagens são:

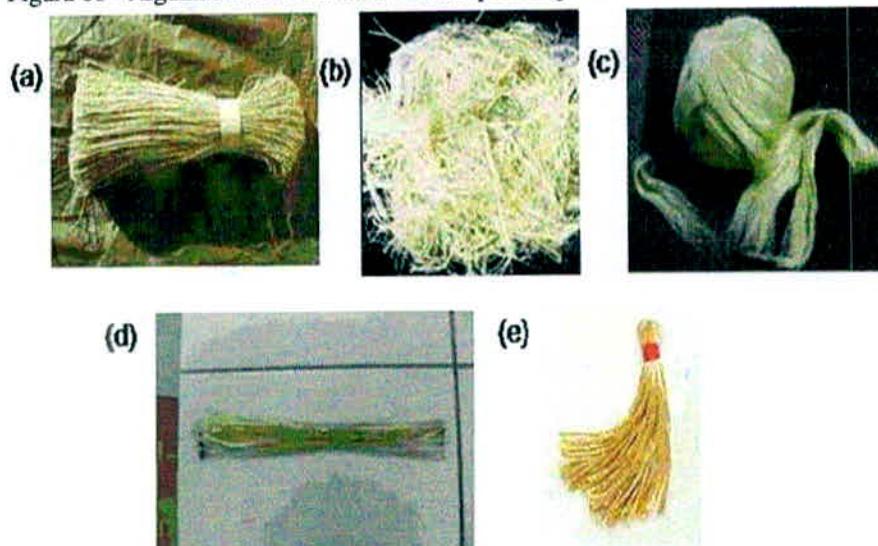
- ser proveniente de fontes renováveis;
- disponibilidade contínua;
- biodegradabilidade;
- baixo custo;
- baixa densidade;
- propriedades específicas interessantes;
- a natureza abrasiva das fibras vegetais é muito menor do que a da fibra de vidro, oferecendo vantagens quanto ao processamento e a reciclagem.

As fibras vegetais podem ser classificadas segundo a parte do vegetal da qual são extraídas. As fibras oriundas do caule ou das folhas da planta são as mais usadas como fase dispersa em compósitos poliméricos.

Diversas fibras vegetais tais como rami, cânhamo, juta, sisal, bambu, banana são usadas como reforços substituindo fibras convencionais, como as fibras de vidro. Linho, kenaf, cânhamo e farinha de madeira são relatados como adequados para aplicação em situações de carregamento e componentes de absorção de impacto em veículos. Algumas destas fibras são apresentadas na Figura 1 (HERRERA-FRANCO, P.J.; VALADEZ-GONZÁLEZ, A.2005; A, BOURMAUD, A.; BAILEY, C., 2009).

Logo abaixo temos alguns exemplos das fibras sendo: a) rami b) Kenaf c) cânhamo d) bananeira e e) juta.

Figura 01 - Algumas fibras utilizadas em compósitos poliméricos



Fonte: (PIGATTO, 2009, p.).

Como uma das funções da matriz em compósitos reforçados com fibra é transferir a carga para as fibras através do cisalhamento da interface, este processo requer uma boa ligação entre a matriz polimérica e as fibras. Uma pobre adesão na interface significa que a capacidade total do compósito não pode ser explorada, tornando-o vulnerável a ataques ambientais e reduzindo seu tempo de uso (WAMBUA, P.; IVENS, J.; VERPOEST, I. , 2003).

A pobre adesão está relacionada com o caráter hidrofílico da fibra fazendo com que ocorra uma baixa compatibilidade com a matriz polimérica hidrofóbica, além da tendência de formar agregados durante o processamento e uma baixa resistência à umidade, reduzindo as propriedades mecânicas em geral (ARAÚJO, J. R.; WALDMAN, W. R.; DE PAOLI, M. A.2008, BOURMAUD, A.; BALEY, C., 2007). Estas dificuldades podem ser minimizadas por tratamentos físicos com plasma e corona ou tratamentos químicos com anidrido maleico, organossilanos, isocianatos, hidróxido de sódio, permanganatos, peróxido entre outros (WANG, W.; TANG, L.; QU, B.2003, MARCONCINI, J. M.; ITO, E. N.; JR, E. H.; MATTOSO, L. H. C., WAMBUA, P.; IVENS, J.; VERPOEST, I., 2003).

### **3 FUSÃO DE COMPOSTOS: POLIPROPILENO COM FIBRAS VEGETAIS**

Com grande ascensão hoje no cenário mundial, as fibras vegetais vem cada vez mais dominando pesquisa, e a indústria procura cada vez mais formas de emprego desse material para redução dos custos, resistência e reciclagem.

É muito difundido a extração das fibras dos seguintes vegetais: coco, sisal, bananeira, algodão. Temos as citações:

A importância das fibras naturais como reforço para plásticos vem aumentando significativamente nas últimas décadas devido a fatores como o alto preço das fibras sintéticas e a busca crescente por materiais de baixo custo, provenientes de fontes renováveis de matérias-primas, que não causem danos ao meio ambiente e possam competir com os materiais tradicionais. As fibras naturais estão sendo bastante estudadas para substituir parcialmente e até totalmente as fibras sintéticas em muitas aplicações, especialmente aquelas cujas condições de uso são menos severas (Lee et al, 1989; Silva et al, 1999).

Termoplásticos reforçados com fibras vegetais vêm sendo bastante estudados nas duas últimas décadas com algumas aplicações já bem estabelecidas, principalmente no setor automotivo. No entanto, suas aplicações são limitadas pelo seu desempenho mecânico e alta absorção de umidade, comparado aos compósitos de fibras sintéticas (DA SILVA, R. V.;

AQUINO, E. M. F.; RODRIGUES, L. P. S.; BARROS, A. R. F., 2008).

A busca de novos materiais que atendam as tendências mundiais que objetivam a viabilidade econômica e ao mesmo tempo a preocupação com o meio ambiente leva à alternativa de se fazer uso dos recursos naturais renováveis. Devido a isto, vários pesquisadores têm demonstrado interesse na utilização de materiais poliméricos reforçados com fibras naturais (MATHUR, V. K.2006, KHALID, M.; RATNAM, C. T.; CHUAH, T. G.; ALI, S.; CHOONG, T. S. Y., 2006).

Fibras vegetais apresentam um papel importante no desenvolvimento de compósitos “verdes”, com uma matriz biodegradável e de bom desempenho, podendo ser um material chave para minimizar os problemas ecológicos e ambientais atuais. O que se espera que ocorra com a introdução de compósitos “verdes” no mercado é a redução de problemas de controle de resíduos na agricultura, poluição ambiental, entre outros. Além disso, este tipo de material pode encontrar várias aplicações nos campos da engenharia, eletrônica e automotiva. Baixo peso, diminuição do desgaste de máquinas, baixa abrasividade, baixo risco à saúde durante o processamento, são outras vantagens dos compósitos “verdes” (GODA, K.; SREEKALA, M. S.; GOMES, A.; KAJI, T.; OHGI, J., 2006).

A tabela 02 abaixo mostra um comparativo entre as fibras naturais e de vidro.

Quadro 02 - Tabela comparativo fibras naturais com fibra de vidro

<b>Propriedade</b>	<b>Fibras Naturais</b>	<b>Fibra de Vidro</b>
Densidade	Menor	O dobro das fibras naturais
Custo	Menor	Baixo, mas maior que das fibras naturais
Renovabilidade	Sim	Não
Reciclagem	Sim	Não
Consumo de energia	Menor	Alto
Distribuição	Ampla	Ampla
CO <sub>2</sub> neutro	Sim	Não
Abrasividade às máquinas	Não	Sim
Alto risco ao inalar	Menor	Sim
Biodegradável	Sim	Não

Fonte: (WAMBUA, IVENS, VERPOEST, 2003 apud LARBIG et al., 1998).

A tabela 03 mostra dados técnicos do polipropileno com fibra de vidro com 20% e 30% de adição

Tabela03 - Propriedades do compósito

PROPRIEDADES	NORMA	UNIDADE	PP20%FV	PP30%FV
Índice de Fluidez (230°C/ 2,16 kg)	ISO 1133	g/10 min	5,0	2,9
Teor de carga	ISO 3451-1	%	20,0	30,0
Densidade	ISO 1183	g/cm <sup>3</sup>	1,05	1,13
Módulo de flexão	ISO 178	MPa	3900	5800
Resistência à tração no escoamento	ISO 527-2	MPa	70	80
Impacto CHARPY sem entalhe a 23°C	ISO 179/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	26	27
Temperatura de deflexão térmica - HDT (1,82 MPa)	ISO 75-2/A	°C	130	145
Temperatura de deflexão térmica - HDT (0,45 MPa)	ISO 75-2/B	°C	145	155
Vicat (5kg)	ISO 306- VS/B/50	°C	152	130
Resistência Termo-Oxidação a 150°C	ISO 4577	horas	1000	1000

Fonte: (OTA, 2004, p.).

A tabela 04 mostra dados técnicos em relação a testes de impacto do polipropileno com fibras vegetais.

Tabela 04 - resultado de teste de impacto a amostras de polipropileno com fibra.

Amostras	Resistência (KJ.m <sup>-2</sup> )
PP	36,1 ± 0,3
PP/Fibra in natura 10% m/m	58,7 ± 17,8
PP/Fibra in natura 20% m/m	92,9 ± 16,5
PP/Fibra modificada 10% m/m	38,2 ± 12,6
PP/Fibra modificada 20% m/m	42,2 ± 18,4

Fonte: (MULINARI3; ROCHA2; SOUSA1, 2012, p.).

## CONCLUSÃO

A elaboração deste trabalho junto com todas pesquisas que foram feitas, tem-se a uma conclusão que, as fibras naturais em um futuro próximo vão sim substituir as convencionais, possui muitas vantagens para sua utilização. Pois como já foi visto seu emprego gera uma adaptação de maquinas e estoque. Atualmente não há nada que obrigue as indústrias utilizarem de fibras vegetais, porem vem aumentando a busca por recursos renováveis para a produção de matéria prima,

Um assunto de grande interesse comercial, partindo do ponto que agrada os produtores, uma vez que passa a ser de fontes renováveis sua matéria prima, e que o produto poderá ser de um custo menor em relação a produtos que utilizam de fibras sintéticas. Concluindo que é provável a substituição das fibras sintéticas por fibras naturais, uma vez que elas conseguem uma boa resistência mecânica, junto com redução de peso, melhoria a forças de impacto e tornar um produto de rápido decomposição.

Um assunto com limitações referenciais, sendo que, algo interessante para seu desenvolvimento era, confeccionar corpos de prova do material compósito e assim efetuar os testes de cisalhamento, tração, compressão.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J. R.; WALDMAN, W. R.; DE PAOLI, M. A. **Thermal properties of high density polyethylene composites with natural fibres: coupling agent effect.** *Polymer Degradation and Stability*, v 93, p 1770-1775, 2008.
- BEG, M. D. H.; PICKERING, K. L. **Reprocessing of wood fibre reinforced polypropylene composites. Part II: Hygrothermal ageing and its effects.** *Composites: Part A*, v 39, p 1565-1571, 2008.
- BOURMAUD, A.; BALEY, C. **Investigations on the recycling of hemp and sisal reinforced polypropylene composites.** *Polymer Degradation and Stability*, v 92, p 1034-1045, 2007.
- BOURMAUD, A.; BALEY, C. **Rigidity analysis of polypropylene/vegetal fibre composites after recycling.** *Polymer Degradation and Stability*, v. 94, p 295-305, 2009.
- BUNSELL, A. R.; RENARD J. **Fundamentals of fibre reinforced composites materials.** IOP Publishing Ltda, London, 2005.
- DA SILVA, R. V.; AQUINO, E. M. F.; RODRIGUES, L. P. S.; BARROS, A. R. F. **Desenvolvimento de um compósito laminado híbrido com fibras natural e sintética.** *Revista Matéria*, v 13, p 154-161, 2008.
- GODA, K.; SREEKALA, M. S.; GOMES, A.; KAJI, T.; OHGI, J. **Improvement of plant based natural fibers for toughening green composites-Effect of load application during mercerization of ramie fibers.** *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v 37, p 2213-2220, 2006.
- HERRERA-FRANCO, P.J.; VALADEZ-GONZÁLEZ, A. **A study of the mechanical properties of short natural-fiber reinforced composites.** *Composites Part B: Engineering*, v. 36, n. 8, p. 597-608, 2005.
- KHALID, M.; RATNAM, C. T.; CHUAH, T. G.; ALI, S.; CHOONG, T. S. Y. **Comparative study of polypropylene composites reinforced with oil palm empty fruit bunch fiber and oil palm derived cellulose.** *Materials and Design*, v 29, p 173-178, 2008.
- LEVY, F. N.; PARDINI, L. C. **Compósitos Estruturais.** Editora Edgard Blücher, São Paulo, 2006.
- MARCONCINI, J. M.; ITO, E. N.; JR, E. H.; MATTOSO, L. H. C. **Studies on polypropylene/cellulose microfiber composites.** 6th International Symposium on Natural Polymers and Composites, 2007.
- MARTINS, José Vitor Bomtempo. *Innovation et organisation: lescas de l'industriedes polymeres.* Paris: L'Ecole Nationale Superieure des Mines de Paris. (Tese de Doutorado). 1994
- MATHUR, V. K. **Composite materials from local resources.** *Construction and Building Materials*, v 20, p 470-477, 2006.

MELO *et al.* **Apostila polipropileno**. São paulo: Autoria Propia, 2005. 27p.

MOHANTY, S.; VERMA, S. K.; NAYAK, S. K. **Rheological characterization of PP/jute composite melts**. Journal of Applied Polymer Science, v 99, p 1476-1484, 2006.

MULINARI<sup>3</sup>, D. R.; ROCHA<sup>2</sup>, G. J. M.; SOUSA<sup>1</sup>, T. A. **Avaliação da resistência ao impacto de compósitos reforçados com fibras naturais. Avaliação da resistência ao impacto de compósitos reforçados com fibras naturais**, Volta Redonda, v.1, n.19, p.21-29, 2012.

OTA, W. N. **Análise de compósitos de polipropileno e fibras de vidro utilizados pela indústria automotiva nacional**. 2004. 106f. Monografia (Especialização em Ciência e Tecnologia de Materiais) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, PARANÁ, 2004.

PIGATTO, C. **POLIPROPILENO E BLENDDAS PP/EPDM REFORÇADAS**. 2009. 99f. Dissertação (Mestrado em Química Industrial) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre, 2009.

POLIPROPILENO – PP DATASHEET EMPRESA VICK Revisão: 2.1 13/Setembro/2012  
Pág. 1 / 8

WAMBUA, IVENS, VERPOEST, 2003 apud LARBIG *et al.*, 1998

WAMBUA, P.; IVENS, J.; VERPOEST, I. **Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics**. *Composites Science and Technology*, v 63, p 1259-1264, 2003.

WANG, W.; TANG, L.; QU, B. **Mechanical properties and morphological structures of short glass fiber reinforced PP/EPDM composite**. *European Polymer Journal*, v 39, p 2129-2134, 2003.