

República Federativa do Brasil  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria  
e do Comércio Exterior  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI0903094-8 A2**

(22) Data de Depósito: 04/08/2009  
(43) Data da Publicação: 12/04/2011  
(RPI 2101)



\* B R P I 0 9 0 3 0 9 4 A 2 \*

(51) *Int.Cl.:*  
B29C 43/02  
C08J 5/04

---

(54) Título: **PROCESSO DE PRODUÇÃO DE MANTAS E USO DE FIBRAS VEGETAIS COMO PROMOTOR DE FLUXO**

(73) Titular(es): Universidade Federal do Rio Grande do Sul

(72) Inventor(es): Sandro Campos Amico, Thiago Marcon Goss, Tiago de Medeiros Schmidt

(57) Resumo: PROCESSO DE PRODUÇÃO DE MANTAS E USO DE FIBRAS VEGETAIS COMO PROMOTOR DE FLUXO. A presente invenção descreve mantas compreendendo fibras vegetais com a função de promotores de fluxo, processo de produção das mesmas e uso de fibras vegetais como promotores de fluxo biodegradável.



## Relatório Descritivo de Patente de Invenção

### PROCESSO DE PRODUÇÃO DE MANTAS E USO DE FIBRAS VEGETAIS COMO PROMOTOR DE FLUXO.

#### 5 Campo da Invenção

A presente invenção descreve fibras vegetais com a função de promotores de fluxo, processo de produção das mesmas e uso destas fibras como promotores biodegradáveis de fluxo. A presente invenção se situa no campo da engenharia, especialmente engenharia de materiais.

10

#### Antecedentes da Invenção

Com a tendência mundial de valorização dos produtos biodegradáveis e com apelo ecológico, as fibras vegetais são vistas como alternativas viáveis na substituição de fibras sintéticas como reforço fibroso na produção de compósitos poliméricos. Nesse contexto, destaca-se a utilização da fibra de sisal da qual o Brasil é o maior produtor e exportador, fato que justifica o grande interesse no seu aproveitamento. O reforço de fibra vegetal em questão constitui-se de uma manta com fibras de sisal cortadas em comprimento determinado as quais são distribuídas aleatoriamente e uniformemente. Esta manta de sisal é colocada entre as mantas de fibra de vidro (FV) do tipo E, formando um "sanduíche".

A permeabilidade é uma propriedade importante do reforço fibroso e representa uma indicação da facilidade do fluxo do fluido durante a impregnação do reforço. Esta propriedade está associada ao tempo de preenchimento do molde e, por conseqüência, à produtividade do processo. Dessa forma, verificou-se a real contribuição da manta de sisal entre mantas de FV (i.e. reforço híbrido 1 = mantas FV + manta sisal + mantas FV) na melhora da permeabilidade em relação a reforços de FV somente e também a reforços híbridos com promotor de fluxo comercial (i.e. reforço híbrido 2 = mantas FV + promotor de fluxo comercial + mantas FV), onde o material comercial pode ser

30

núcleo de não-tecido de polipropileno - PP, espuma de cloreto de polivinila - PVC, poliuretano - PU ou polimetilacrilamida - PMI.

No âmbito patentário, foram localizados alguns documentos relevantes que serão descritos a seguir.

5 O documento WO 01/10637 revela um método para revestir a parte interior de um veículo, compreendendo as etapas de: empilhamento de uma espuma de poliuretano, fibras vegetais, um termorrígido adesivo e, opcionalmente, uma superfície para decoração. O método inclui as etapas de colocar em um molde laminado com uma temperatura de 80 a 150°C, ajustar  
10 as fibras vegetais para que tenham diâmetro máximo de 1,0 mm e um comprimento de 10 a 100 mm. A presente invenção difere deste documento pelo fato de compreender fibras vegetais com a função de promotores de fluxo, fato não citado no referido documento.

O documento US 6,720,068 revela um laminado fino para absorção de som compreendendo uma camada de fibras e uma camada de espuma plástica  
15 ultra-leve. A presente invenção difere desse documento por não compreender espuma plástica e pelas fibras da presente invenção terem a função de promotores de fluxo, fato não citado no referido documento.

O documento US 7,211,321 descreve um laminado de reforço  
20 compreendendo duas camadas de polímeros, sendo que uma delas contem espuma menos rígida e a outra camada é formada por uma espuma rígida, formando um padrão de células através da espuma. Esse laminado pode ser utilizado em portas, tetos de veículos, entre outros. A presente invenção difere desse documento por não compreender espumas e por compreender fibras  
25 vegetais com a função de promotores de fluxo.

O documento WO 05/123840 descreve um compósito contendo fibras vegetais, resíduos industriais e cargas minerais associados a uma resina termoplástica, provendo um material de alta resistência. Ainda, a presente invenção diz respeito a um processo de fabricação de um compósito que  
30 compreende as etapas de trituração das fibras vegetais ou moagem dos resíduos industriais, a mistura da resina termoplástica, a introdução da mistura

na extrusora a uma temperatura compreendida entre 80 e 300°C e a  
conformação da mistura em uma câmara a uma pressão compreendida entre  
05 a 1500 kg/cm<sup>2</sup>. A presente invenção difere desse documento por não  
compreender resina termoplástica e a presente invenção compreende fibras  
5 vegetais com a função de promotores de fluxo.

Do que se depreende da literatura pesquisada, não foram encontrados  
documentos antecipando ou sugerindo os ensinamentos da presente invenção,  
de forma que a solução aqui proposta possui novidade e atividade inventiva  
frente ao estado da técnica.

10

### **Sumário da Invenção**

Em um aspecto, a presente invenção descreve mantas compreendendo  
fibras vegetais com a função de promotores de fluxo, processo de produção  
das mesmas e uso de fibras vegetais como promotores biodegradáveis de  
15 fluxo.

É um dos objetos adicionais da presente invenção, o processo de  
produção de mantas híbridas compreendendo as etapas de:

- a) preparação das mantas contendo fibras vegetais com função  
de promotores de fluxo;
- 20 b) preparação do reforço estrutural;
- c) ordenação das mantas de (a) e do reforço de (b).

É um objeto da presente invenção as mantas obtidas compreendendo:

- a) fibras vegetais com função de promotores de fluxo;
- 25 b) reforço estrutural;

Em especial, as mantas e/ou as fibras vegetais podem ser usadas na  
moldagem de compostos poliméricos.

Estes e outros objetos da invenção serão imediatamente valorizados  
pelos versados na arte e pelas empresas com interesses no segmento, e serão  
descritos em detalhes suficientes para sua reprodução na descrição a seguir.

30

### **Breve Descrição das Figuras**

A Figura 1 mostra Curvas de  $x_{ff}^2$  (posição) versus tempo para os experimentos com reforços homogêneos de fibra de vidro, núcleo de PP e sisal com  $\%V_f = 20\%$  (linhas de tendência representam ajustes lineares) onde (A) compreende sisal  $y=1,10E-03x - 1,08E-02$   $R^2=9,99E-01$ ; (B) núcleo de PP  $y=4,30E-04x - 9,31E-03$   $R^2=9,98E-01$ ; (C) fibra de vidro  $y = 2,41E-04x - 5,84E-03$   $R^2=9,99E-01$ .

### **Descrição Detalhada da Invenção**

Os exemplos aqui mostrados têm o intuito somente de exemplificar uma das inúmeras maneiras de se realizar a invenção, contudo sem limitar, o escopo da mesma.

#### **Promotores de fluxo**

Os promotores de fluxo da presente invenção são materiais desenvolvidos com a finalidade básica de maximizar a eficiência da impregnação de reforços fibrosos, particularmente em altos teores de fibras, visto que a permeabilidade do reforço é relativamente baixa em elevado empacotamento. Os promotores de fluxo, com geometrias variadas, usualmente criam canais para permitir o fluxo de resina e a fuga de gases. Outros são capazes de auxiliar na impregnação por apresentarem maior molhabilidade com a resina líquida. Também quando se usa uma baixa pressão de injeção (normalmente menor que 1 atm para RTM light), o promotor de fluxo torna-se importante, sendo freqüentemente incorporado ao reforço como uma camada de alta permeabilidade que contém "caminhos livres" de baixa resistência para o fluxo da resina. Os promotores de fluxo, quando posicionados estrategicamente, ajudam a distribuir resina ao longo da peça a fim de evitar áreas secas ou mal impregnadas. Alguns podem ser removidos e outros podem permanecer como parte da estrutura da peça, conferindo propriedades adicionais ao compósito moldado. A escolha do material dependerá do tipo de processo e da aplicação do componente moldado mas, na presente invenção, os promotores de fluxo utilizados serão fibras vegetais.

### Fibras vegetais

As fibras vegetais da presente invenção compreendem fibras obtidas a partir de diversos materiais vegetais, preferencialmente após o processamento dos mesmos. Em especial, podem ser utilizados quaisquer materiais vegetais viáveis para a substituição de fibras sintéticas como reforço fibroso na produção de compósitos poliméricos. Em especial, podem ser utilizadas fibras de sisal.

### Reforço Estrutural

O reforço estrutural da presente invenção compreende materiais comumente utilizados para a construção de reforços híbridos que podem ser exemplificados por, mas não se limitam a, fibras de vidro comerciais.

### Processo de produção de mantas híbridas compreendendo fibra vegetal

É um dos objetos adicionais da presente invenção, o processo de produção compreendendo as etapas de:

- a) preparação das mantas contendo fibras vegetais com a função de promotores de fluxo;
- b) preparação do reforço estrutural;
- c) ordenação das mantas de a) e do reforço de b).

Em especial, a preparação das mantas contendo fibras vegetais é realizada utilizando fibras de sisal. A fibra de sisal, adquirida na forma de corda torcida, é cortada de forma que as fibras tenham o comprimento desejado (aproximadamente 40 mm de comprimento). As fibras cortadas são imersas em água destilada por 1 hora para eliminar impurezas superficiais devido a sua origem natural, ao processo de fabricação, ao transporte e ao armazenamento da fibra. Posteriormente, as fibras são secas em estufa com ventilação a 105°C por 30 minutos. As fibras secas são distribuídas manualmente e de modo aleatório e conformadas no formato da cavidade do molde do equipamento de RTM, formando a manta não-compactada. Finalmente, a manta não-compactada passa por uma etapa de compressão em uma prensa a 80°C por 30 minutos sob 4 toneladas, o que a torna mais adequada para utilização no processo de moldagem por RTM.

Para a construção dos reforços híbridos as mantas de sisal fabricadas são posicionadas entre mantas empilhadas de fibra de vidro comerciais, formando uma estrutura laminada.

Em especial, a sequência das mantas de fibra vegetal e reforço estrutural pode ser simétrica ou não simétrica, formando os laminados híbridos, também chamados aqui de reforço fibroso híbrido.

#### Mantas híbridas compreendendo fibra vegetal

É um objeto da presente invenção reforços híbridos compreendendo:

a) fibras vegetais com a função de promotores de fluxo;

b) reforço estrutural.

#### Uso das fibras vegetais

O uso de fibras vegetais na presente invenção tem a função de promotor de fluxo. Em especial, as fibras vegetais são utilizadas na forma de manta, opcionalmente organizadas com outras mantas, podendo ser utilizadas na moldagem de compósitos poliméricos.

Estes e outros objetos da invenção serão imediatamente valorizados pelos versados na arte e pelas empresas com interesses no segmento, e serão descritos em detalhes suficientes para sua reprodução na descrição a seguir.

#### Exemplo 1. Realização Preferencial

O presente invento refere-se a uma nova funcionalidade de fibras vegetais. O invento visa a utilização de mantas de fibra vegetal (e.g. sisal) como um promotor de fluxo de resina líquida em processos de fabricação de materiais compósitos poliméricos conhecidos por moldagem líquida, especificamente a moldagem por transferência de resina (RTM) e processos afins (e.g. RTM *light*, VARTM, infusão). Quando a manta de fibra vegetal é posicionada entre o reforço fibroso estrutural (e.g. mantas e tecidos de fibra de vidro), este material, de alta porosidade intrínseca, facilita a impregnação do reforço ao longo do molde, i.e. aumenta a permeabilidade do conjunto fibroso e diminui, conseqüentemente, o tempo de preenchimento da cavidade do molde (i.e. o tempo de processo), com isso aumentando a produtividade.

Com a tendência mundial de valorização dos produtos biodegradáveis e com apelo ecológico, as fibras vegetais são vistas como alternativas viáveis na substituição de fibras sintéticas como reforço fibroso na produção de compósitos poliméricos. Nesse contexto, destaca-se a utilização da fibra de sisal da qual o Brasil é o maior produtor e exportador, fato que justifica o grande interesse no seu aproveitamento. O reforço de fibra vegetal em questão constitui-se de uma manta com fibras de sisal cortadas em determinado comprimento as quais são distribuídas aleatoriamente e uniformemente. Esta manta de sisal é colocada entre as mantas de fibra de vidro (FV) do tipo E, formando um "sanduíche".

A permeabilidade é uma propriedade importante do reforço fibroso, representando a facilidade do fluxo do fluido durante a impregnação do reforço. Esta propriedade está associada ao tempo de preenchimento do molde e, por conseqüência, à produtividade do processo. Dessa forma, verificou-se a real contribuição da manta de sisal entre mantas de FV (i.e. reforço híbrido 1 = mantas FV + manta sisal + mantas FV) na melhora da permeabilidade em relação a reforços de FV somente e também a reforços híbridos com promotor de fluxo comercial (i.e. reforço híbrido 2 = mantas FV + promotor de fluxo comercial + mantas FV), onde o material comercial pode ser núcleo de não-tecido de polipropileno - PP, espuma de cloreto de polivinila - PVC, poliuretano - PU ou polimetilacrilamida - PMI.

A descrição de fabricação da manta de sisal bem como a utilização desta entre mantas de FV para aumentar a permeabilidade durante o processo de RTM estão descritas abaixo:

- Preparo da manta de sisal:

A fibra de sisal, adquirida na forma de corda torcida, é cortada de modo que as fibras tenham o comprimento desejado (aproximadamente 40 mm de comprimento). As fibras cortadas são imersas em água destilada por 1 hora para eliminar impurezas superficiais devido a sua origem natural, ao processo de fabricação, ao transporte e ao armazenamento da fibra. Posteriormente, as fibras são secas em estufa com ventilação a 105°C por 30 minutos. As fibras

secas são distribuídas manualmente e de modo aleatório e conformadas no formato da cavidade do molde do equipamento de RTM, formando a manta não-compactada. Finalmente, a manta não-compactada passa por uma etapa de compressão em uma prensa a 80°C por 30 minutos sob 4 toneladas, o que  
5 a torna mais adequada para utilização no processo de moldagem por RTM.

- Preparo do reforço fibroso híbrido:

Para a construção dos reforços híbridos, as mantas de sisal fabricadas são posicionadas entre mantas empilhadas de fibra de vidro comerciais, formando uma estrutura laminada.

10 - Promotores de fluxo:

Promotores de fluxo são materiais desenvolvidos com a finalidade básica de maximizar a eficiência da impregnação de reforços fibrosos, particularmente em altos teores de fibras, visto que a permeabilidade do reforço é particularmente baixa em elevado empacotamento. Os promotores de fluxo,  
15 com geometrias variadas, usualmente criam canais para permitir o fluxo de resina e a fuga de gases. Outros são capazes de auxiliar na impregnação por apresentarem maior molhabilidade com a resina líquida. Também quando se usa uma baixa pressão de injeção (normalmente menor que 1 atm para RTM light), o promotor de fluxo torna-se importante, sendo freqüentemente  
20 incorporado ao reforço como uma camada de alta permeabilidade que contém "caminhos livres" de baixa resistência para o fluxo da resina.

Os promotores de fluxo, quando posicionados estrategicamente, ajudam a distribuir resina ao longo da peça a fim de evitar áreas secas ou mal impregnadas. Alguns podem ser removidos e outros podem permanecer como  
25 parte da estrutura da peça, conferindo propriedades adicionais ao compósito moldado. A escolha do material dependerá do tipo de processo e da aplicação do componente moldado. Exemplos mais comuns destes materiais são: não-tecido de PP, espuma de PU, espuma de PVC e espuma de PMI.

A espuma de PU, por exemplo, é muito utilizada em componentes  
30 industriais, produtos esportivos e estofamento de aeronaves. A espuma linear de PVC é amplamente empregada em compósitos para cascos de botes de

alto desempenho devido a sua habilidade de absorver impacto de ondas, enquanto a espuma de PMI é utilizada em aplicações aeroespaciais.

O reforço amplamente utilizado na indústria automotiva é aquele constituído de um núcleo de não-tecido de polipropileno, costurado com fio de poliéster ou poliamida, entre mantas de fibra de vidro. O núcleo de polipropileno proporciona um fluxo de resina superior, enquanto as fibras de vidro conferem as propriedades mecânicas necessárias ao componente moldado.

Nos experimentos realizados, primeiramente, determinou-se a permeabilidade de diferentes reforços fibrosos homogêneos, i.e. somente de um tipo de fibra no reforço. O fluido impregnante (e.g. óleo de soja) de baixa viscosidade é injetado na cavidade do molde sob pressão constante, de modo a impregnar o reforço fibroso seco. Simultaneamente, os transdutores de pressão fazem as leituras da pressão em pontos da cavidade do molde.

As medidas de permeabilidade podem ser obtidas de acordo com a Lei de Darcy que governa o fluxo de um fluido através de um sólido poroso, no caso, um reforço fibroso. A lei estabelece que a velocidade do fluido através do meio fibroso é proporcional ao gradiente de pressão e inversamente proporcional à viscosidade do fluido. O coeficiente de proporcionalidade é conhecido como permeabilidade ( $K$ ). Na infiltração retilínea, se a pressão de injeção ( $P_{inj}$ ) é constante, então o tempo ( $t_{ff}$ ) requerido para a frente de fluxo do fluido alcançar uma posição ( $x_{ff}$ ) particular dentro do molde pode ser obtido pela Equação 1:

$$t_{ff} = \frac{\varepsilon \cdot \mu}{2 \cdot K \cdot P_{inj}} \cdot x_{ff}^2 \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:  $\varepsilon$  ( $\varepsilon = 1 - V_f$ , sendo  $V_f$  a fração volumétrica de fibras) é a porosidade do meio poroso fibroso e  $\mu$  é a viscosidade dinâmica do fluido.

A Figura 1 mostra a variação do quadrado da posição da frente de fluxo ( $x_{ff}^2$ ) com o tempo para o reforço com mantas de fibra de vidro (VIDRO - chamado de "C"), núcleo de não-tecido de polipropileno (NÚCLEO PP -

chamado de "B") e manta de sisal (SISAL – chamado de "A"), todos com mesmo teor de fibra  $\%V_f$  (20%), de onde a inclinação do ajuste linear da curva é usada para determinar a permeabilidade. Como os parâmetros de processo os mesmos, então a maior inclinação corresponde à maior permeabilidade do reforço. Dessa forma, pode-se dizer que o reforço SISAL é o que apresenta a maior permeabilidade, seguido pelo NÚCLEO PP e pelo VIDRO (i.e.  $K_{\text{SISAL}} > K_{\text{NÚCLEO PP}} > K_{\text{VIDRO}}$ ). Os valores de permeabilidade bem como os tempos do processo (para um molde com 30 cm de comprimento) podem ser vistos na Tabela 1.

10

Tabela 1

Reforço fibroso homogêneo	K (m <sup>2</sup> )	K/K <sub>Fibra de vidro</sub>	Tempo de preenchimento médio (s)	Redução no tempo de preenchimento (mesmo %V <sub>f</sub> )
Fibra de Vidro	1,28 × 10 <sup>-9</sup> (± 1,46 × 10 <sup>-10</sup> )	—	350	—
Núcleo de PP	1,86 × 10 <sup>-9</sup> (± 2,28 × 10 <sup>-10</sup> )	1,45	211	40%
Fibra de Sisal (L = 40 mm)	3,82 × 10 <sup>-9</sup> (± 2,04 × 10 <sup>-10</sup> )	2,98	106	70%

Tendo-se verificado que a manta de fibra de sisal apresenta maior permeabilidade que o promotor de fluxo comercial (núcleo de PP), avaliou-se o desempenho da manta de sisal como promotor de fluxo em comparação com o núcleo de PP comercial em reforços híbridos.

Nos reforços híbridos comerciais, a camada mais permeável, correspondente ao NÚCLEO PP (chamada de "P"), é colocada entre mantas de fibra de vidro (chamada de "V"). Assim, mimetizaram-se no LAPOL/UFRGS estes reforços híbridos (FV com NÚCLEO PP) que foram chamados de VVPVV (simétrico) e VVVVP (não-simétrico), que se diferenciam apenas pela posição da camada mais permeável do NÚCLEO PP. Similarmente, foram produzidos reforços híbridos com promotores de fluxo de fibra vegetal (SISAL) (chamada

20

de "S") como uma alternativa àqueles presentes no mercado, os quais foram chamados de VVSVV (simétrico) e VVVVS (não-simétrico).

Os valores de permeabilidade dos reforços híbridos VVPVV, VVVVP, VVSVV e VVVVS podem vistos na Tabela 2. O valor de permeabilidade encontrado para o reforço VVPVV (similar ao produto comercial) foi  $1,93 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup> enquanto que para o reforço VVSVV, onde o NÚCLEO PP foi substituído pelo SISAL na mesma fração volumétrica de fibra, a permeabilidade aumentou para  $2,87 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup> (um aumento de 48%), com uma correspondente diminuição de 28% no tempo de preenchimento.

Assim, foi possível verificar que o reforço híbrido de sisal apresenta permeabilidade até 1,5 vez maior em relação ao reforço híbrido com o facilitador de fluxo comercial (*flow medium*), fabricado nas mesmas condições e com a mesma %V<sub>f</sub>. Este resultado representa uma faixa de diminuição de 30-55% no tempo de preenchimento do molde. Assim, a manta de sisal utilizada no processo atuou como um facilitador de fluxo uma vez que aumentou a permeabilidade e, por conseguinte, diminuiu o tempo final do processo de moldagem.

O desempenho dos reforços híbridos pode ser otimizado pela mudança na seqüência de empilhamento das camadas. Se a camada mais permeável é colocada na parte inferior do reforço (VVVVP ou VVVVS, ou seja, não-simétricos), a permeabilidade aumenta para  $2,35 \times 10^{-9}$  e  $3,47 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>, respectivamente, com as respectivas diminuições nos tempos de preenchimento de 16% e 37% em comparação com o reforço híbrido VVPVV (ver Tabela 2). Portanto, colocando-se o promotor de fluxo na parte inferior da seqüência de empilhamento, mais próximo da porta de injeção, a impregnação é promovida. Este resultado abre ainda outra possibilidade de utilização da manta de sisal proposta, em um processo chamado de infusão, onde o promotor de fluxo é colocado externamente ao reforço (não se incorpora à peça final) para acelerar o processo de infiltração.

Reforço fibroso híbrido	$K (m^2)$	$K/K_{VVPV}$	Tempo de Preenchimento (s)	Redução no tempo de preenchimento
VVPV	$1,93 \times 10^{-9}$	1,00	252	—
VVVP	$2,35 \times 10^{-9}$	1,22	212	16%
VVSV	$2,87 \times 10^{-9}$	1,49	182	28%
VVVS	$3,47 \times 10^{-9}$	1,80	159	37%

O melhor desempenho do sisal comparado ao núcleo de PP nos testes de permeabilidade ocorre devido à possibilidade do sisal desenvolver canais mais largos (espaços vazios) para o fluido impregnar com menor tortuosidade.

5 Tortuosidade, isto é, a sinuosidade do caminho que deve ser atravessado pelo fluido ao impregnar o reforço é influenciada pela forma do reforço, anisotropia do material e teor de fibras, e quanto menor a tortuosidade, maior a permeabilidade.

10 A diferença nos tempos de preenchimento é notada mesmo em moldes pequenos (30 cm de comprimento). Usando a lei de Darcy, estimou-se o tempo de preenchimento dos reforços híbridos VVSV e VVPV de um molde com 1 m de comprimento: 1747 s (29 minutos) e 2417 s (40 minutos), respectivamente, ou seja, a utilização do sisal se tornará ainda mais favorável no processamento de grandes componentes nessas condições.

15 Outro fator a se analisar é se o comprimento da fibra influencia a permeabilidade. A Tabela 3 mostra os valores de permeabilidade para mantas de sisal com fibras de diferentes comprimentos ( $L = 1$  a 100 mm), porém mantendo o mesmo  $\%V_f = 20\%$ . Observa-se que houve um aumento da permeabilidade com o comprimento da fibra, até que se atingiu um platô de  
20 valores em torno de  $K \approx 3,9 \times 10^{-9} m^2$  para um comprimento acima de 30 mm. O comportamento oposto foi notado para os tempos de preenchimento. Estes resultados são esperados visto que quanto maior o comprimento da fibra, mais difícil é o empacotamento da camada e, portanto, maior o teor de fibra efetivo da camada, e também menor a tortuosidade.

Tabela 3:

Comprimento da fibra	K (m <sup>2</sup> )	Desvio padrão	Tempo de preenchimento (s)
1 mm	$0,84 \times 10^{-9}$	$3,15 \times 10^{-11}$	398
10 mm	$3,16 \times 10^{-9}$	$3,56 \times 10^{-10}$	122
20 mm	$3,61 \times 10^{-9}$	$6,86 \times 10^{-11}$	110
30 mm	$4,00 \times 10^{-9}$	$1,97 \times 10^{-10}$	104
40 mm	$3,82 \times 10^{-9}$	$2,04 \times 10^{-10}$	106
50 mm	$3,78 \times 10^{-9}$	$1,42 \times 10^{-10}$	104
100 mm	$3,88 \times 10^{-9}$	$1,69 \times 10^{-9}$	102

É importante ressaltar que, se por um lado a utilização da camada de alta permeabilidade ajuda o processamento, por outro pode prejudicar as propriedades mecânicas do compósito moldado, pois a contribuição dessa camada às propriedades mecânicas da peça não é tão eficiente comparada à camada de fibra de vidro. Neste contexto, foram avaliadas as propriedades mecânicas (tração, flexão, impacto e *short-beam*) de compósitos moldados com resina poliéster ortoftálica utilizando reforço híbrido VVSVV ou VVPVV.

Ensaio de tração foram realizados usando uma máquina universal EMIC DL2000 com uma célula de carga de 2000 kgf. Cinco corpos-de-prova (dimensões: 150 × 25 × 3,5 mm) foram testados sob velocidade constante de 1,5 mm/min de acordo com a norma ASTM D3039-07, e o valor médio e o desvio padrão estão relatados.

Ensaio de flexão em 3 pontos foram usados para se determinar a resistência e o módulo em flexão de acordo com a norma ASTM D790-03. Os testes foram conduzidos sob velocidade constante de 1,5 mm/min e cinco corpos-de-prova (dimensões: 127 × 12,7 × 3,5 mm) foram testados para cada compósito. Ensaio de *short-beam strength*, anteriormente conhecido como resistência ao cisalhamento interlaminar (ILSS), foram realizados em corpos-de-prova de compósitos simétricos de acordo com a norma ASTM D2344-00. O comprimento e a largura são dependentes da espessura. Os testes foram feitos

sob velocidade constante de 1,0 mm/min e cerca de dez corpos-de-prova foram testados para cada tipo de compósito. Os ensaios de *short beam* e de flexão foram realizados no mesmo equipamento EMIC descrito anteriormente.

Ensaio de impacto Izod foram realizados em corpos-de-prova sem entalhe usando um equipamento CEAST com um martelo de 5,5 J, que impacta a 3,46 m/s, seguindo a norma ASTM D256-00. Seis amostras (dimensões: 60 × 11 × 3,5 mm) foram testadas para cada compósito.

Os resultados dos testes mecânicos realizados nos compósitos híbridos poliéster/VVPVV e poliéster/VVSVV estão mostrados na Tabela 4.

10 Tabela 4

Propriedade mecânica		Poliéster/VVPVV	Poliéster/VVSVV
Tração	Resistência (MPa)	58,9 ± 9,3	62,6 ± 3,6
	Módulo (MPa)	1113 ± 73	1327 ± 199
	Deformação na ruptura (%)	4,7 ± 0,4	4,2 ± 0,5
Flexão	Resistência (MPa)	172,6 ± 17,8	181,1 ± 17,7
	Módulo (MPa)	8746 ± 575	8613 ± 719
	Deformação na ruptura (%)	2,5 ± 0,3	2,6 ± 0,2
Impacto	Resistência (kJ/m <sup>2</sup> )	59,9 ± 12,6	68,6 ± 10,7
Cisalhamento interlaminar	Resistência (MPa)	19,2 ± 4,4	14,5 ± 4,7

A resistência média em tração do compósito híbrido poliéster/VVSVV foi similar ao do poliéster/VVPVV (62,6 e 58,9 MPa, respectivamente). Os resultados também mostram que a fibra de sisal conferiu um leve aumento da rigidez comparado ao núcleo de PP, e uma leve diminuição na deformação na ruptura. Para as propriedades em flexão, a resistência e a deformação na ruptura do compósito com sisal foram levemente superiores em comparação ao compósito com núcleo de PP, entretanto o módulo em flexão foi um pouco menor.

20 Foi observado que a resistência ao impacto do compósito poliéster/VVSVV foi também levemente maior do que o compósito poliéster/VVPVV. Isto poderia ser esperado uma vez que as fibras de sisal

conferem boas propriedades em impacto nos seus compósitos, provavelmente devido à natureza porosa da fibra de sisal, seu ângulo microfibrilar e tamanho do lúmen. A resistência ao cisalhamento interlaminar do compósito com sisal, por outro lado, foi menor.

5 Em resumo, as incorporações das fibras de sisal proporcionam propriedades mecânicas similares ao conjunto compósito em relação à incorporação de um promotor de fluxo comercial, portanto não comprometendo esta importante característica.

10 A manta de fibra de sisal colocada entre mantas de fibra de vidro atua como facilitador de fluxo quando utilizada no processo de RTM e afins, uma vez que aumenta a permeabilidade e diminuiu o tempo de preenchimento do molde e, conseqüentemente, o tempo final do processo. Além disso, atua de modo similar ao núcleo de polipropileno comercial, muito utilizado como promotor de fluxo, em termos de propriedades mecânicas.

15 O presente invento aumenta a produtividade do processo, pois a duração da etapa de infiltração, que é muitas vezes crítica, é diminuída. Além disso, apresenta um baixo custo de aquisição e fabricação, pois se trata de um produto natural, que satisfaz a crescente demanda por tecnologias que não agridam ao meio ambiente. Além disso, o sisal é um material biodegradável e  
20 proveniente de fonte renovável, diferentemente do polipropileno, e não compromete as propriedades mecânicas a curto prazo do material produzido.

Atualmente, os reforços utilizados são compostos de um núcleo de não-tecido sintético costurado entre duas camadas de fibras de vidro picadas. O núcleo sintético proporciona uma melhora no fluxo de resina, enquanto as  
25 fibras de vidro conferem as propriedades mecânicas ao compósito moldado.

No reforço híbrido (mantas de fibra de vidro + manta de sisal), a manta de sisal tem função análoga a do núcleo de não-tecido sintético comercial com a ressalva de que a manta de sisal foi mais eficiente em facilitar a impregnação do fluido no reforço fibroso (ou seja, aumentou a permeabilidade do reforço  
30 fibroso), reduzindo o tempo de preenchimento do molde e melhorando a produtividade. Além disso, a incorporação do sisal melhorou levemente as

propriedades mecânicas do compósito final. Destaca-se também que a manta de sisal tem menor custo que o núcleo sintético comercial atualmente utilizado e que o sisal é encontrado abundantemente no Brasil, e constitui-se em um recurso renovável e biodegradável, portanto diminuindo o impacto ambiental do processo e das peças produzidas.

Devido à habilidade da manta de sisal em melhorar a impregnação do reforço fibroso no processo de moldagem por transferência de resina (RTM), é possível reduzir o tempo de processamento e minimizar falhas de impregnação, como a formação de vazios, por exemplo, produzindo-se assim compósitos com ótimas propriedades mecânicas. Além disso, a combinação da manta de sisal com mantas de fibra de vidro resulta em um reforço híbrido de boa conformabilidade.

Dessa forma, o reforço fibroso constituído da manta de sisal e das fibras de vidro pode ser utilizado em diferentes setores, especialmente cita-se a indústria automotiva e a infra-estrutura.

O processo manual de fabricação da manta a partir da fibra de sisal descrito aqui é demorado e trabalhoso, mas pode ser facilmente adaptado para um processo automatizado. A fibra de sisal, por ser um produto natural, apresenta elevada absorção de água, o que exige um tratamento químico superficial antes da sua utilização no processo de RTM. A absorção de água é prejudicial às propriedades mecânicas a longo prazo. Neste caso, as fibras de sisal estão encapsuladas por camadas de vidro e isto diminui a absorção de água global da peça. Caso o sisal seja usado como promotor de fluxo externo, que não é incorporado ao componente durante a moldagem, como no processo de infusão, esta característica negativa é irrelevante.

A manta de sisal atua como facilitador de fluxo no processo de RTM e afins, podendo atuar também como reforço estrutural moderado para o compósito. O potencial de redução de custo é evidente, além do seu apelo ecológico, já que se trata de um produto natural. Ou seja, todos fatores importantes para a disseminação futura do seu uso.

A diferença principal é que o material empregado como promotor de fluxo nesta proposta é uma fibra natural vegetal, enquanto que todos os produtos comerciais utilizam um material polimérico sintético. As características morfológicas do material empregado também são distintas.

- 5 Os versados na arte valorizarão os conhecimentos aqui apresentados e poderão reproduzir a invenção nas modalidades apresentadas e em outras variantes, abrangidos no escopo das reivindicações anexas.

**Reivindicações**

**PROCESSO DE PRODUÇÃO DE MANTAS E USO DE FIBRAS VEGETAIS  
COMO PROMOTOR DE FLUXO.**

- 5           1. Processo de produção de mantas caracterizado por compreender as etapas de:
- a) preparação das mantas contendo fibras vegetais com a função de promotores de fluxo;
  - b) utilização do reforço estrutural;
  - 10           c) ordenação das mantas de a) e do reforço de b).
2. Processo de produção, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelas fibras vegetais serem fibras de sisal.
3. Processo de produção, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela fibra vegetal ser cortada de forma que as fibras tenham o  
15           comprimento de aproximadamente 40 mm de comprimento.
4. Processo de produção, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelas fibras vegetais cortadas serem imersas em água destilada por cerca de 1 hora para eliminar impurezas superficiais.
5. Processo de produção, de acordo com a reivindicação 1,  
20           caracterizado pelas fibras serem secas em estufa com ventilação.
6. Processo de produção, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelas fibras serem distribuídas de modo aleatório e conformadas no formato da cavidade do molde do equipamento de moldagem, formando a manta não-compactada.
- 25           7. Processo de produção, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelas fibras serem secas a aproximadamente 105°C por cerca de 30 minutos.
8. Processo de produção, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por utilizar moldagem por transferência de resina (RTM).

9. Processo de produção, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela manta não-compactada passar por uma etapa de compressão.

10. Processo de produção, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pela compressão ocorrer em uma prensa a aproximadamente 80°C por cerca de 30 minutos sob cerca de 4 toneladas.

11. Processo de produção, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender a construção de reforços híbridos através do posicionamento das mantas de sisal fabricadas entre mantas empilhadas de fibra de vidro comerciais, formando uma estrutura laminada.

12. Processo de produção, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pela ordenação das mantas de fibra vegetal e reforço estrutural formarem laminados simétricos ou assimétricos.

13. Processo de produção, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelos promotores de fluxo compreendendo fibras vegetais exercerem a função de maximizar a eficiência da impregnação de reforços fibrosos criando camadas de alta permeabilidade que permitem o fluxo de resina e a fuga de gases e/ou apresentar maior molhabilidade com a resina líquida e/ou distribuir resina ao longo da peça a fim de evitar áreas secas ou mal impregnadas.

14. Processo de produção, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por permitir a obtenção de mantas compreendendo fibras vegetais com a função de promotores de fluxo.

15. Uso das fibras vegetais caracterizado por serem utilizadas como promotores de fluxo biodegradáveis.

16. Uso das fibras, de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelas fibras vegetais serem utilizadas na forma de manta.

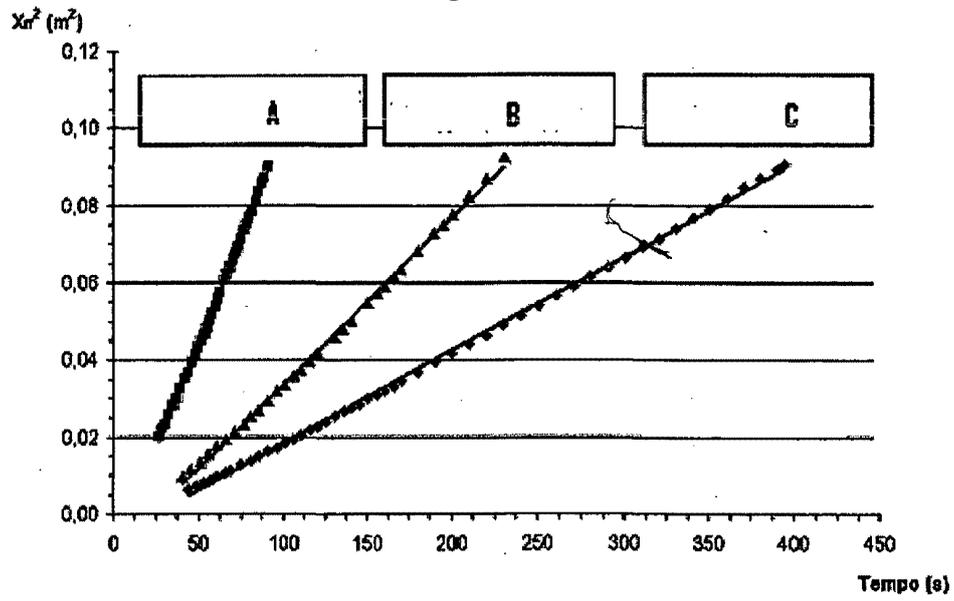
17. Uso das fibras, de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelas mantas compreendendo fibras vegetais estarem adicionalmente organizadas com outros tipos de mantas.

18. Uso das fibras, de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelas mantas compreendendo fibras vegetais serem utilizadas para a moldagem de compósitos poliméricos.

5 19. Uso das fibras, de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelos promotores de fluxo compreendendo fibras vegetais exercerem atividade de maximizar a eficiência da impregnação de reforços fibrosos criando camadas de alta permeabilidade que permitem o fluxo de resina e a fuga de gases e/ou apresentar maior molhabilidade com a resina líquida e/ou distribuir resina ao longo da peça a fim de evitar áreas secas ou mal impregnadas.

## FIGURAS

Figura 1



**Resumo**

**PROCESSO DE PRODUÇÃO DE MANTAS E USO DE FIBRAS VEGETAIS  
COMO PROMOTOR DE FLUXO.**

- 5 A presente invenção descreve mantas compreendendo fibras vegetais com a função de promotores de fluxo, processo de produção das mesmas e uso de fibras vegetais como promotores de fluxo biodegradável.