

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE CONFORMAÇÃO DE COMPÓSITOS POR INFUSÃO A VÁCUO DE BAIXO CUSTO

R. F. Carvalho; M. F. E. Silva; G. S. Marques; L. O. B. de Jesus.

Universidade Federal da Bahia – Departamento de Construção e Estruturas

Rua Prof. Aristídes Novis – Salvador/BA. E-mail: luma.oborges@gmail.com

Existem diversos métodos de conformação de compósitos, entre eles o método chamado de Resin Transfer Molding (RTM), que consiste em um processo baseado na injeção de resina. A resina é aplicada sob vácuo e pressão e controlada por dispositivos e válvulas interligados a um molde, e, geralmente demanda altos investimentos e tecnologias avançadas. A proposta do trabalho visa o desenvolvimento de um sistema de infusão a vácuo de baixo custo quando comparado a outros métodos de moldagem fechada. A ideia propõe o uso de materiais alternativos na produção dos compósitos reforçados com sisal, considerando a economicidade dos recursos, desempenho da placa produzida e diminuição de resíduos. Foram avaliados os princípios de funcionamento do novo sistema, as limitações, sobretudo o custo do desenvolvimento e produção das peças. Os resultados mostram um novo sistema alternativo, de fácil montagem e trabalhabilidade, economicamente viável, produzindo compósitos com baixo índice de vazios, atendendo finalidades específicas.

Palavras-chave: Materiais Compósitos, Infusão à Vácuo, Baixo custo.

I. INTRODUÇÃO

O constante desenvolvimento de novas tecnologias levou o campo da engenharia a produzir materiais mais versáteis e com propriedades mecânicas específicas e rigorosas, dentre eles os materiais compósitos. Os compósitos possuem diversas aplicações finalidades, seja na indústria náutica, civil ou aeronáutica, e, são comumente utilizados na combinação de propriedades, desenvolvendo um terceiro material com propriedades superiores ⁽¹⁾. O uso de fibras naturais como reforço em compósitos tem ampliado nos últimos anos devido as vantagens como biodegradabilidade, abundância, custo atrativo e baixa densidade, além de outros ⁽²⁾.

Entretanto, o desempenho dos materiais compósitos não depende apenas do tipo de reforço e da matriz empregada, mas principalmente na escolha apropriada da técnica de processamento e conformação. Aliado a isso, há uma crescente tendência na evolução de técnicas que promovam um custo competitivo, sejam menos insalubre e ecologicamente correto durante processamento e fabricação das peças. O processo de RTM é uma das tecnologias mais promissórias da atualidade, capaz de desenvolver peças tridimensionais com alto desempenho mecânico, devido à uma melhor molhabilidade da matriz com o reforço, reduzindo o teor de vazios ⁽³⁾.

O RTM *light* é considerado uma tecnologia que completa o RTM, consiste em duas fases lisas com o material de reforço em seu interior, para onde é injetada a resina por meio de pressão hidrostática, e, para que possibilite a injeção da resina, por meio da pressão hidrostática, é utilizado o vácuo em todo o sistema ⁽⁴⁾.

Quando comparado à outras técnicas convencionais de moldagem aberta, o RTM e o RTM *light* apresentam um ciclo de produção mais curto, além da não volatilização de compostos nocivos à saúde e ao meio ambiente, pois utiliza moldes fechados ⁽¹⁾. Além disso, o sistema garante a fabricação de materiais compósitos de melhor acabamento e com menos vazios, aumentando a qualidade do produto final em relação a outros métodos de conformação ⁽⁵⁾. Por outro lado, existe uma limitação associada ao custo das peças e componentes. Durante a montagem dos equipamentos há uma demanda por compressores de alta pressão para injeção de

resina, dispositivos e moldes metálicos pesados e complexos, ambos tornando o custo de produção elevado ⁽⁶⁾.

Portanto, o trabalho em destaque orienta-se no desenvolvimento de um sistema de conformação de compósitos por infusão à vácuo de baixo custo, no intuito de obter placas para finalidades específicas, utilizando menos material e energia, conseqüentemente reduzindo a geração de resíduos.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Como material reforço para fabricação dos compósitos foi utilizado uma manta de sisal com dimensões (30x30) cm² fornecidas pela Hamilton Rios Ltda, conforme Figura 1.



Figura 1 - Manta de sisal.

A matriz utilizada foi a poliéster ortoftálica de baixa viscosidade do tipo AROPOL L50500 T-10. As propriedades da resina encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Especificações da resina AROPOL L 50500 T-10

Propriedades	Valores	Unidades
Viscosidade, 25 °C	250 – 350	cPs
Tixotropia	mín. 1,30	-
Pico Exotérmico	180-190	°C
Gel Time, 25°C	10´- 15´	Minutos
Teor de Sólidos	55-57	%
Densidade	1,10	g/cm ³

Fonte: Ashland, 2013.

Para montagem do novo sistema de infusão foram utilizados os seguintes materiais:

- a) 1 Bomba de Vácuo e Compressor Prismatéc de Modelo: 131;
- b) 2 Placas de vidro temperado 500mm x500mm x10mm;
- c) 8 Espigões de latão: espigão 1/4", rosca 1/4"; 1 Luva de latão 1/4"; 2 Válvulas esfera;
- d) 10 metros de Mangueira transparente de 10mm x 2mm;
- e) 2 Tubos de PVC 100mm x 250mm; 4 CAPs de PVC 100mm; 4 Anéis para CAP 100mm;
- f) 1 kg de borracha de silicone para molde;
- g) Fita veda rosca;
- h) Placa luminosa.

As placas de vidro dispõem de dois furos de 10mm de diâmetro passando pela diagonal, com um afastamento de 15 cm em cada extremidade. O tamanho de 10mm foi necessário para a fixação direta das mangueiras, sem o uso de dispositivos de acoplamento. Na confecção dos reservatórios foram usados dois tubos de PVC de 100 mm de diâmetro e 25 cm de comprimento, além de dois CAPs para encaixe e isolamento. Os furos foram realizados na região central dos CAPs, para que as mangueiras pudessem ser interligadas pelos espigões. De modo a prevenir qualquer tipo de vazamento no sistema, foi utilizado veda rosca em todos os dispositivos. Os componentes do sistema de infusão apresentam-se na Figura 2.

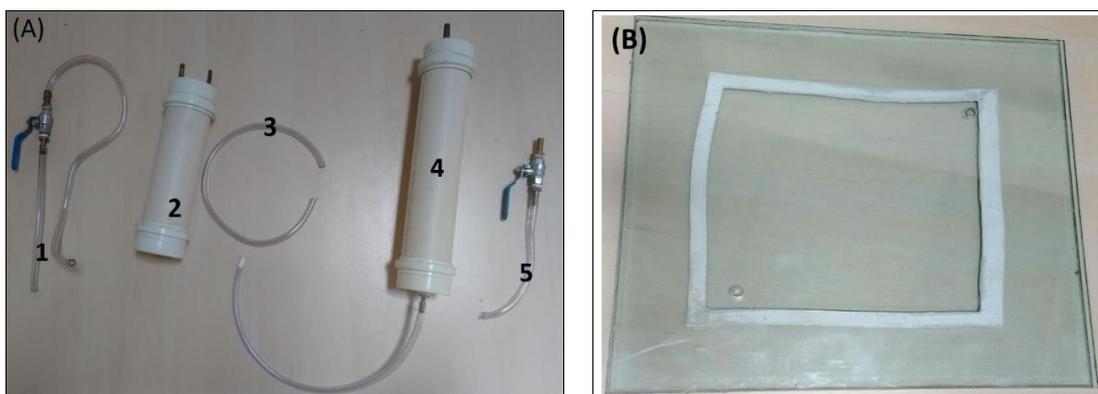


Figura 2. (a) Peças e componentes do sistema. (b) Placas de vidro e o molde de silicone.

O molde de silicone foi produzido com a finalidade de servir como estrutura interna para alocação do reforço e impedir a entrada de ar. O molde foi feito com duas molduras de PVC, uma de 32 cm² e outra com 30 cm², obtendo um comprimento interno de 30 cm, espessura de 0,5 cm e 3 cm de largura. Foram

realizados ensaios de compressão uniaxial em corpos de provas de silicone com diâmetro de 5 cm, de modo a determinar a deformação máxima em função da quantidade de catalisador, conforme pode ser observado na figura abaixo.

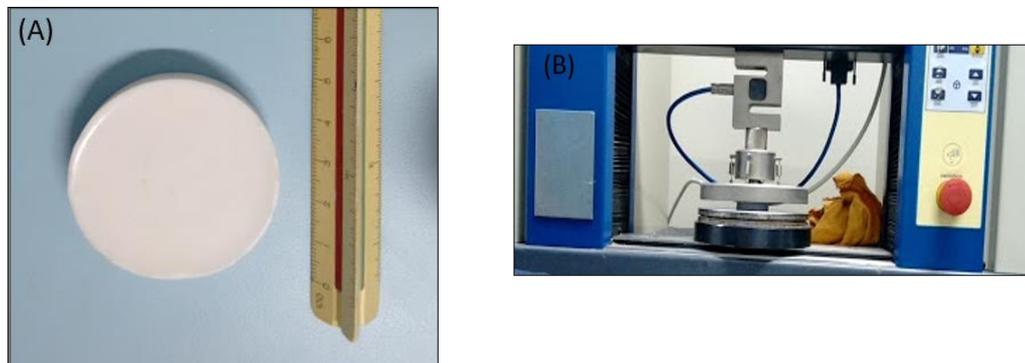


Figura 3. Corpo de prova de silicone (A), Ensaio de Compressão do corpo de prova (B).

Para a execução da placa luminosa foram cortadas duas placas de MDF 50x50 cm² e quatro placas de 50x10 cm², para montagem uma caixa. Em uma das placas foram feitos 16 furos equidistantes para a colocação das lâmpadas dicróicas. Dentro da caixa são conectados, em série, os fios condutores às lâmpadas, estendendo o fio para fora da caixa e dando o acabamento com uma tomada macho. A execução da placa pode ser observada na figura abaixo.



Figura 4. Execução da Placa Luminosa.

Uma câmera térmica de modelo Termovisor de Bolso C2 Flir, foi utilizado para obter imagens da temperatura local em toda placa luminosa. O conhecimento da temperatura é uma variável relevante, no momento em que esta tem relação com o tempo de cura dos materiais compósitos.

A configuração do sistema inicia com o reservatório superior, responsável pelo armazenamento e injeção da resina. Este, por sua vez, apresenta uma válvula que permite o controle de entrada da pressão atmosférica. As placas de vidro apresentam conexões, através de mangueiras, com o reservatório superior e inferior. O reservatório inferior tem o papel de armazenar a resina excedente e interligar o sistema à bomba de vácuo com pressão máxima de 760 mmHg. As peças e componentes montadas apresentam-se na Figura 5.

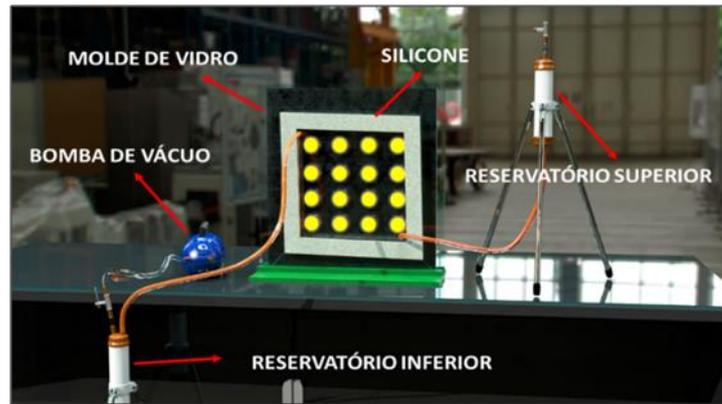


Figura 5 - Esquema de montagem do sistema de infusão.

A fim de avaliar a qualidade das placas produzidas no novo sistema de infusão, foram realizados ensaios para caracterização da fração de fibras e resina, além do índice de vazios dos compósitos através da ASTM D3171, utilizando cálculos teóricos ⁽⁷⁾.

$$WF = W * F * L * N \quad (A)$$

Sendo, WF o peso da fibra (g), W largura da amostra (cm), L comprimento da amostra (cm), F a gramatura da manta (g/cm²), N o número de camadas.

$$VF = \frac{WF * \rho_{compósito}}{\rho_{fibra} * a} * 100 \quad (B)$$

Sendo, VF o volume de fibra (%), $\rho_{compósito}$ a massa específica do compósito

(g/cm³), ρ_{fibra} a massa específica da fibra (g/cm³), a a massa da amostra em (g).

$$WR = \alpha - WF \quad (C)$$

Sendo, WR o peso da resina (g).

$$VR = \frac{WR * \rho_{Compósito}}{\rho_{resina} * \alpha} * 100 \quad (D)$$

Sendo, VR o volume de resina (%).

$$PV = 100 - (VF + VR) \quad (E)$$

Sendo, PV a porcentagem de vazios (%).

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela abaixo consta o orçamento estimado de todas as peças componentes do sistema de infusão. Todos os materiais podem ser adquiridos comercialmente e foram orçados no Google shopping, isto é, podem ser adquiridos independente do mercado local, com exceção das placas de vidro. O equipamento completo custa, em média, R\$ 1454,00, desse valor, aproximadamente 61% do total é a bomba de vácuo e 39% relacionado as demais peças e componentes do sistema, como pode ser visto na tabela abaixo.

Tabela 2. Orçamento estimado total do equipamento.

Peça	Preço (R\$)		Qtd.	Valor da Compra (R\$)	
	Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo
Bomba de Vácuo e Compress or Primatec, modelo 131, tipo 2v	500,00	1312,37	1	500,00	1312,37
Espigão de latão 1/4"	3,40	5,40	8	27,20	43,20
Luva de latão 1/4"	7,86	7,86	1	7,86	7,86
Placa de vidro temperado de 50x50 cm ² com 10 mm de espessura	75,00	150,00	2	150,00	300,00
Válvula esférica	19,90	28,68	2	39,80	57,36
Mangueira Cristal transparent e de 10mm x 2mm (metro)	1,86	2,95	10	18,60	29,50
Tubo de PVC 100mm	29,30	29,30	0,5	14,65	14,65

Peça	Preço (R\$)		Qtd.	Valor da Compra (R\$)	
	Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo
Cap de PVC 100mm	12,74	12,74	4	50,96	50,96
Anel para Cap 100mm	0,70	1,50	4	2,80	6,00
Borracha de silicone	16,60	22,99	1	16,60	22,99
Fita veda rosca	0,80	3,30	1	0,80	3,30
Fio condutor elétrico 4mm (m)	1,10	2,29	4	4,40	9,16
Lâmpada dicroica 12v 50 w	3,00	5,50	16	48,00	88,00
MDF 3 mm (m ²)	40,00	59,60	0,7	28,00	41,72
Tomada Macho	4,82	6,90	1	4,82	6,90
Valor total entre (R\$):				914,49	1993,97

Fonte: Google Shopping, 2016.

O equipamento completo pode ser montado em, aproximadamente, 5 horas, considerando-se a aquisição de todas as peças e montagem em tempo contínuo. O tempo de conformação pode variar de acordo com as dimensões da placa desejada e com o material trabalhado. Trabalhando-se com resinas menos viscosas, o tempo de preenchimento e impregnação pode permanecer entre 5 a 10 minutos. O tempo de desmolde variou entre 40 e 60 minutos.

O molde utilizado entre as placas de vidro varia de acordo com a exigência para cada compósito. Na produção dos corpos de prova de silicone foi verificado que a quantidade de catalisador pode interferir na flexibilidade do silicone. Desta forma, foi realizado um ensaio de compressão axial para verificar a influência da quantidade de catalisador de deformação das amostras. No gráfico abaixo é possível identificar a deformação máxima em função da porcentagem de catalisador. Todos os corpos de prova foram submetidos a uma tensão de 5 MPa durante o ensaio (Figura 6).

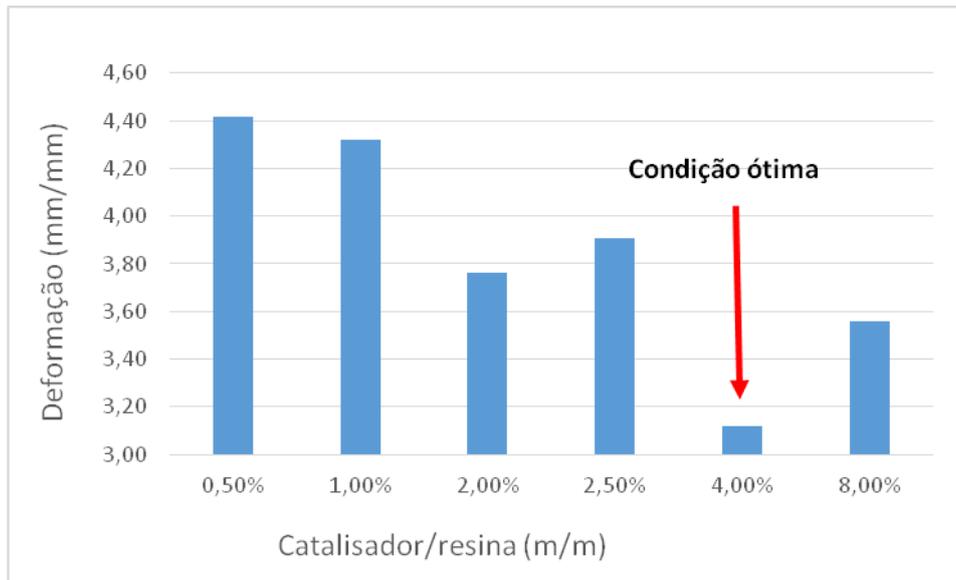


Figura 6. Gráfico da deformação em função da porcentagem de catalisador.

A porcentagem de 4% indicou para uma mesma tensão aplicada, uma deformação do corpo de prova de (3,15). Esse nível mínimo de deformação é relevante para confecção das placas mais uniformes, no momento em que o vácuo causa uma compressão no silicone, reduzindo a espessura dos compósitos.

Para este trabalho, o tempo de conformação foi aproximadamente 90 minutos, utilizando as placas de aquecimento como acelerador de cura da resina. Com a utilização da câmera térmica foi possível obter a temperatura média das lâmpadas que atingiam uma temperatura média de 113°C, como pode ser visto na Figura 7.

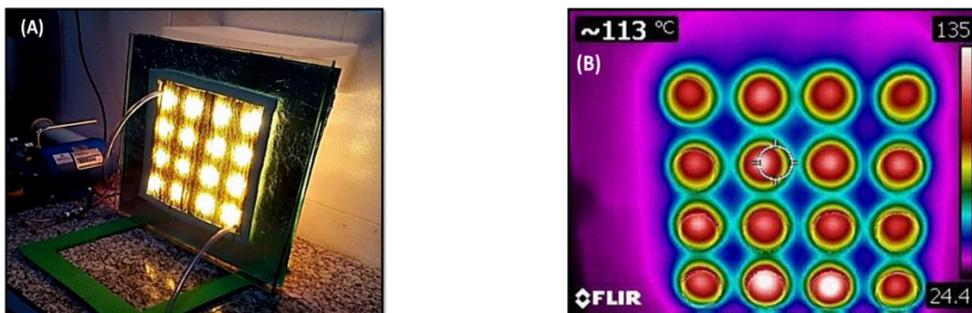


Figura 7. Placas de aquecimento (A), Imagens térmicas locais (B).

Na Figura 8 A é possível perceber o fluxo ascendente na diagonal da impregnação da resina no reforço de manta, e, na Figura 8 B, o produto final do compósito produzido com homogeneidade na espessura e bom acabamento superficial. O tempo de impregnação foi de 15 a 20 minutos.

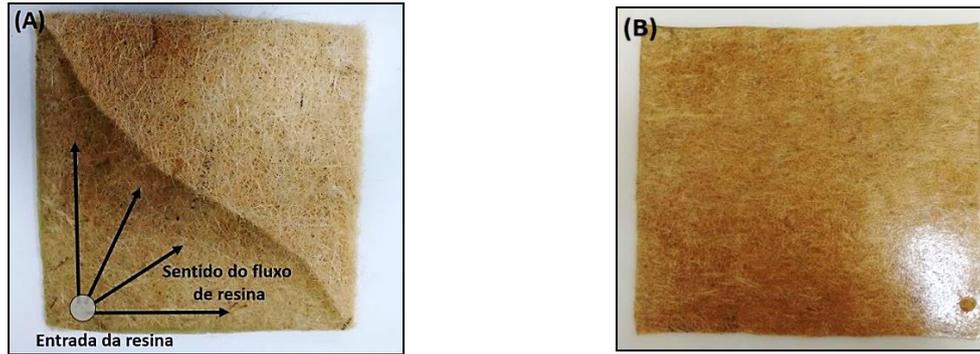


Figura 8 - Molde de silicone.

O ensaio de volume de vazios foi realizado em 6 corpos de prova e retirados em partes diferentes da placa. Os resultados podem ser observados no gráfico abaixo.



Figura 9. Caracterização do compósito.

O compósito produzido pelo sistema de infusão apresentou um volume de vazios médio de 2,90% para uma fração de fibra de 14,60%. Outros autores que utilizaram o processo de conformação por infusão (RTM) obtiveram para o compósito poliéster reforçado com volume de fibras fracionadas de sisal de 19%, um valor de 4,16% de volume de vazios ⁽³⁾.

IV. CONCLUSÕES

O trabalho de desenvolvimento do equipamento de infusão à vácuo tem como objetivo produzir placas, principalmente voltado para fins específicos e acadêmicos, no momento em que há uma limitação no tamanho e no formato dos compósitos. É possível concluir que em todo sistema houve uma utilização mínima de recursos, seja material e/ou energia, com 61% do total relacionado à bomba de vácuo.

O equipamento completo não demanda mão de obra especializada, sendo completamente montada por estudantes universitários e apresenta fácil manutenção e reutilização de peças, necessitando apenas da troca de mangueiras e a limpeza das conexões.

Tratando-se da placa luminosa, utilizada com o objetivo de aumentar a temperatura de processamento, o resultado foi satisfatório. A temperatura máxima apresentada pela câmera térmica Termovisor de Bolso C2 Flir, pode chegar à 135°C nos pontos mais quentes, o que pode ser controlada através da instalação de um potenciômetro.

Portanto, o desenvolvimento do sistema de infusão à vácuo de baixo custo apresenta-se vantajoso em termos técnico e econômico. As placas produzidas apresentaram um índice de vazios baixo, o que reforça o bom funcionamento e operação do novo sistema de infusão. Embora ainda em processo de aperfeiçoamento, é possível obter materiais compósitos de boa qualidade sem demandar altos investimentos iniciais.

V. AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Construção e Estrutura S. P. Timoshenko da Escola Politécnica da UFBA e a CAPES pelo apoio científico e financeiro.

A empresa JKCM Indústria e Comércio, pelo fornecimento das placas de vidro.

VI. REFERÊNCIAS

(1) VENTURA, Ana Mafalda F.M.. **Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas**. C.Tecn. Mat., Lisboa, v. 21, n. 3-4, p. 10-19, jul/2009. Disponível em <http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0870-83122009000200003&lng=pt&nrm=iso>. Acessos em: jul/2016.

(2) VIEIRA, C. A. B. et al. Interferência da Lavagem de Fibras Sobre o desempenho do sizing nas propriedades mecânicas em compósitos híbridos (vidro/sisal). **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 10, n. 4, p. 222–234, 2009.

- (3) SREEKUMAR, P. A. et al. **A comparative study on mechanical properties of sisal-leaf fibre-reinforced polyester composites prepared by resin transfer and compression moulding techniques**. Composites Science and Technology, v. 67, n. 3–4, p. 453–461, 2007.
- (4) GARAY, A. C.. **Efeito da Adição de Carbonato de Cálcio em Compósitos Poliméricos Moldados por RTM e RTM Light**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM, Escola de Engenharia. Universidade Federal Do Rio Grande do Sul. p. 92, 2010.
- (5) POTTER, Kevin. **Resin Transfer Moulding**. Springer Science & Business Media, 2012. 264 p.
- (6) CALDAS, B. G. S.. **Estrutura Sanduíche de Matriz Poliéster Reforçado com Tecido de Sisal Conformado por Infusão a Vácuo**. Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana – Universidade Federal da Bahia, Salvador – BA, p. 121, 2014.
- (6) ASHLAND. **Especificações da resina AROPOL L 50500 T-10**. Disponível em: <<http://www.ashland.com/?BU=Beverage>>. Acesso em: set/2016.
- (7) **American Society for Testing Materials. ASTM D3171**; standard test method for constituent content of composite materials. Washington, DC, 2006.
- (8) Google Shopping. Disponível em: <<http://www.google.com>>. Acesso em: set/2016.

DEVELOPMENT OF COMPOSITES CONFORMATION SYSTEM BY VACUM INFUSION OF LOW COST

Abstract

There are several methods of composites conformation, among them the method called Resin Transfer Moldin (RTM), which consists in a process based on resin injection. The resin is applied under vacuum and pressure and controlled by devices and valves intertconnected in a mold, and, usually demands high investments and

advanced technology. The work proposal aims the development of a vacuum infusion system of low cost when compared to others methods of closed molding. The idea proposes the use of alternative materials that can ensure the composites production, considering the economic viability of the resources, as well as reduction in waste generation. Therefore, the operation principles of the new system, the limitations, and mostly the cost of the development and parts should be evaluated. The results will allow to contribute on the development of a new alternative system, of easy assembling and workability, economically viable, making possible to meet especifics purposes.

Key-words: Composites materials, Vacuum Infusion, Low cost.