

ESTUDO COMPARATIVO DO DESEMPENHO DE PAINÉIS COMPÓSITOS À BASE DE RESÍDUOS POLIMÉRICOS ⁽¹⁾

Sergio Neves Monteiro⁽²⁾
José Roberto Moraes d'Almeida⁽³⁾
Lúcio José Terra Petrucci⁽⁴⁾

Resumo

Avaliou-se o desempenho de painéis compósitos fabricados por prensagem de diferentes resíduos poliméricos. Esta avaliação estendeu-se, comparativamente, com painéis de outros materiais convencionais utilizados na construção civil. Painéis retangulares foram fabricados com aparas de polietileno, polipropileno e poliestireno, obtidas de uma empresa separadora de lixo urbano. Após prensagem a 230°C, os painéis foram cortados em corpos de prova e ensaiados para obtenção da tensão de ruptura em flexão. De forma similar, foram ensaiados painéis de cimento, madeira, gesso e sanduíche para fins comparativos. Os corpos de prova de resíduos poliméricos sofreram tratamento superficial antichama para atender norma da construção civil. Os resultados obtidos indicam que, dentro de limites estatísticos, os painéis compósitos de resíduos poliméricos prensados a quente apresentam características mecânicas combinadas com densidade superiores às dos outros painéis convencionais.

Palavras-chave: Compósitos; Resíduos poliméricos; Estudo comparativo; Painéis para construção civil.

(1) *Submetido ao 60º Congresso Anual – ABM, Belo Horizonte, MG, 25-28 de julho de 2005.*

(2) *Laboratório de Materiais Avançados, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, UENF, Av. Alberto Lamego, 2000, 28015-620, Campos dos Goytacazes, RJ – Brasil.*

(3) *Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio, Rua Marques de São Vicente, 225, 22453-900, Rio de Janeiro, RJ – Brasil.*

(4) *Laboratório de Ciência da Matemática, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, UENF, Av. Alberto Lamego, 2000, 28015-620, Campos dos Goytacazes, RJ – Brasil.*

INTRODUÇÃO

Em todo o mundo o emprego de materiais poliméricos nas suas diversas formas: plásticos, elastômeros, fibras e espumas, vem gerando uma quantidade crescente de resíduos. Grande parte desses resíduos é hoje incinerada ou simplesmente lançada como lixo ao meio ambiente (ABIQUIM, 1997). A reciclagem tem sido uma promissora rota para desviar estes rejeitos poliméricos dos lixões ou aterros sanitários. Isto vem permitindo substituir de forma econômica a matéria prima virgem, geralmente derivada de petróleo, por materiais já utilizados, diminuindo, assim, o custo de produção (WIGOTSKY, 1992; BONELLI, 1994).

Outra alternativa para os resíduos poliméricos é o reaproveitamento em aglomerados e compósitos para uso em diferentes produtos, que podem ir de embalagens a móveis. Trabalhos recentes (PETRUCCI, 1998; PETRUCCI et alli, 1999) mostraram a viabilidade de fabricação de peças extrudadas e prensadas a quente. Em princípio, estes resultados permitiriam a fabricação de produtos como telhas, vigotas, portas e painéis para construção civil. Uma outra etapa importante, mas que ainda não foi devidamente investigada, seria um estudo comparativo das propriedades de materiais produzidos com resíduos poliméricos em confronto com aqueles convencionais. Tendo em vista que existe sempre uma demanda considerável por materiais para construção civil e levando-se em conta que o uso de alguns materiais convencionais, como a madeira e o gesso, estão associados a problemas ambientais, o objetivo do presente trabalho foi realizar um estudo comparativo do desempenho de painéis de vedação, prensados a quente como compósitos à base de resíduos poliméricos. A escolha de painéis para vedação de baixo custo em construção de casas populares deve-se ao fato de qualquer resina polimérica virgem ser relativamente mais cara que os materiais convencionais como madeira, tijolos e concreto. Além disso, os painéis de resíduos poliméricos podem ser obtidos por prensagem a quente, evitando-se técnicas de extrusão que envolvem alto custo de investimento.

MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado neste trabalho consistiu de três tipos comuns de resíduos poliméricos: polietileno (PE), polipropileno (PP) e poliestireno (PS), adquiridos na forma de cavacos, já devidamente selecionados, de uma empresa de limpeza urbana da Prefeitura de Lorena, SP. Estes resíduos foram misturados em diferentes composições para fabricação de compósitos. A Tabela 1 apresenta as diferentes composições investigadas em associação com a legenda abreviada para cada uma delas.

As diferentes misturas foram processadas por prensagem em matriz retangular com dimensões de 114 X 25 mm, resultando em painéis com 10 mm de espessura. A prensagem foi realizada a 230°C sob pressão de compactação de 7 MPa. Para cada composição investigada foi confeccionado um mínimo de sete corpos de prova de flexão. Esses corpos de prova foram ensaiados através do método de apoio em três pontos, utilizando-se uma máquina universal Instron, modelo 5582, de 100kN de capacidade.

Tabela 1. Diferentes composições investigadas e correspondentes abreviaturas.

Legenda do Compósito	Polietileno (% em peso)	Polipropileno (% em peso)	Poliestireno (% em peso)
25PP75PE	75	25	0
50PP50PE	50	50	0
75PP25PE	25	75	0
75PE25PS	75	0	25
50PE50PS	50	0	50
25PE75PS	25	0	75
75PP25PS	0	75	25
50PP50PS	0	50	50
25PP75PS	0	25	75
33PP33PS33PE	33	33	33
50PP25PS25PE	25	50	25
50PE25PS25PP	50	25	25
50PS25PPS5PE	25	25	50

A Figura 1 ilustra um corpo de prova sendo ensaiado em flexão. Na análise dos resultados foi utilizada a estatística de Weibull para obtenção das tensões de ruptura. Através de métodos estatísticos convencionais obteve-se também a média e os desvios padrão dos resultados dos ensaios de flexão.

A proteção antichama (UL94, 1991) aos compósitos foi conseguida por recobrimento superficial com hidróxido de magnésio ($Mg(OH)_2$). Tentativas de misturar o $Mg(OH)_2$ diretamente à mistura em proporções de até 15% em peso não haviam sido aprovadas em testes padrão de inflamabilidade (PETRUCCI et alli, 2002 E 2004; MONTEIRO et alli, 2004). Além disto, a adição de $Mg(OH)_2$ reduziu significativamente a resistência do material. Observações por microscopia ótica da estrutura dos compósitos revelou que as diferentes fases poliméricas resultantes da prensagem e aquecimento em cada mistura formavam interface bem definidas.



Figura 1. Exemplo de corpo de prova retirado de um painel compósito de resíduo polimérico sendo ensaiado em flexão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra uma curva típica da estatística de Weibull para o compósito 33PP33PS33PE. Segundo a interpretação de um único segmento linear associado ao gráfico da Figura 2, os compósitos obtidos apresentam uniformidade na sua resposta ao ensaio de flexão. Ou seja, a tensão de ruptura pode ser obtida diretamente pela média e desvio padrão sem o risco de grandes dispersões nos valores dos ensaios. Assim, a Tabela 2 apresenta os resultados da tensão de ruptura obtida tanto pela estatística de Weibull, σ_w , quanto por uma simples média, σ_m , com respectivo desvio padrão, Δ , para todos os compósitos investigados.

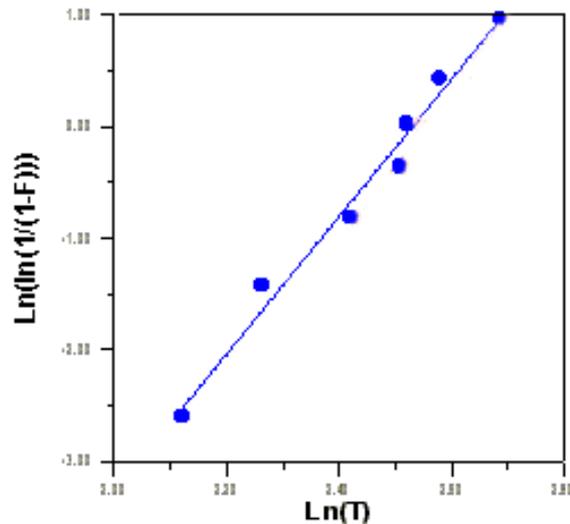


Figura 2. Curva típica da estatística de Weibull para o compósito 33PP33PS33PE.

Tabela 2. Tensão de ruptura em flexão para os diversos compósitos.

Compósito	Tensão de ruptura (MPa)		Densidade - ρ (10^3 kg/m ³)	σ_m / ρ
	σ_w	$\sigma_m \pm \Delta$		
25PP75PE	17,00	16,24 \pm 1,74	0,931	17,46
50PP50PE	117,28	16,30 \pm 2,35	1,017	16,03
75PP25PE	19,42	18,68 \pm 1,62	1,111	16,81
75PE25PS	13,13	12,22 \pm 2,22	1,029	11,88
50PE50PS	13,95	12,80 \pm 2,92	1,151	11,12
25PE75PS	11,72	10,75 \pm 2,47	0,986	10,90
75PP25PS	16,82	15,85 \pm 2,36	0,891	17,79
50PP50PS	12,30	12,64 \pm 1,20	0,926	13,65
25PP75PS	12,62	11,87 \pm 1,75	0,840	14,13
33PP33PS33PE	12,81	12,00 \pm 2,01	0,937	12,81
50PP25PS25PE	16,41	15,21 \pm 2,95	0,952	15,98
50PE25PS25PP	12,91	12,20 \pm 1,69	0,965	12,64
50PS25PPS5PE	12,39	11,75 \pm 1,56	0,890	12,20

Na Tabela 2 também estão apresentados os valores das respectivas densidades obtidos por simples medida da massa dividida pelo volume dos corpos de prova. Na última coluna da tabela está calculada a tensão específica obtida pela razão σ_m / ρ .

A Tabela 3 apresenta os dados da resistência à flexão de painéis retangulares, similares aos dos compósitos de resíduos poliméricos, confeccionados a partir de materiais convencionalmente utilizados na construção civil. Vale mencionar que o painel sanduíche corresponde ao compósito estrutural comumente empregado em divisórias para escritórios. Nos painéis compósitos de *cimento com tela* e de *gesso com tela*, a tela que serve de reforço é uma simples malha de arame de aço conhecida vulgarmente com “tela de galinheiro”. Nesta tabela também estão apresentados os correspondentes valores da densidade, ρ , e da tensão específica, σ_m / ρ , obtidos de forma similar aos da Tabela 2.

Tabela 3. Tensão de ruptura em flexão de painéis em materiais convencionais.

Material empregado como painel	Tensão de ruptura $\sigma_m \pm \Delta$ (MPa)	Densidade (10^3 kg/m^3)	σ_m / ρ
Cimento	7,47 ± 0,51	2,21	3,38 ± 0,23
Cimento c/ tela	14,81 ± 5,56	2,36	6,29 ± 2,36
Gesso	8,69 ± 0,82	2,06	4,22 ± 0,40
Gesso c/ tela	10,46 ± 0,87	2,45	4,27 ± 0,36
Madeira	9,71 ± 2,28	0,66	14,73 ± 3,45
Sanduíche	1,68 ± 0,69	0,22	7,57 ± 3,14

Com base nos dados das Tabelas 2 e 3, foi construído o gráfico da Figura 3. Neste gráfico, o eixo vertical corresponde à tensão de ruptura. Os valores indicados pelas duas retas horizontais na Figura 3 correspondem à maior ($18,68 + 1,62 = 20,30 \text{ MPa}$ para o compósito 75PP25PE) e à menor ($10,75 - 2,47 = 8,28 \text{ MPa}$ para o compósito 25PE75PS) médias com desvio padrão da Tabela II. No eixo horizontal estão indicados, em simples seqüência alfabética, os materiais usados nos outros painéis convencionais para efeito de comparação.

Os resultados apresentados no gráfico da Figura 3 mostram que os painéis compósitos fabricados por prensagem a quente de resíduos poliméricos possuem resistência mecânica em média superior à de outros painéis convencionalmente usados em construção civil. Este fato tecnicamente recomenda o uso dos painéis de resíduos poliméricos como fortes concorrentes aos convencionais, a não ser pela questão da inflamabilidade que será discutida mais adiante.

Mais interessante ainda é o gráfico das tensões específicas, ou seja, da razão entre a tensão de ruptura e a densidade, conforme apresentado na Figura 4. Deve ser lembrado que a tensão específica, no caso de peças com alguma responsabilidade

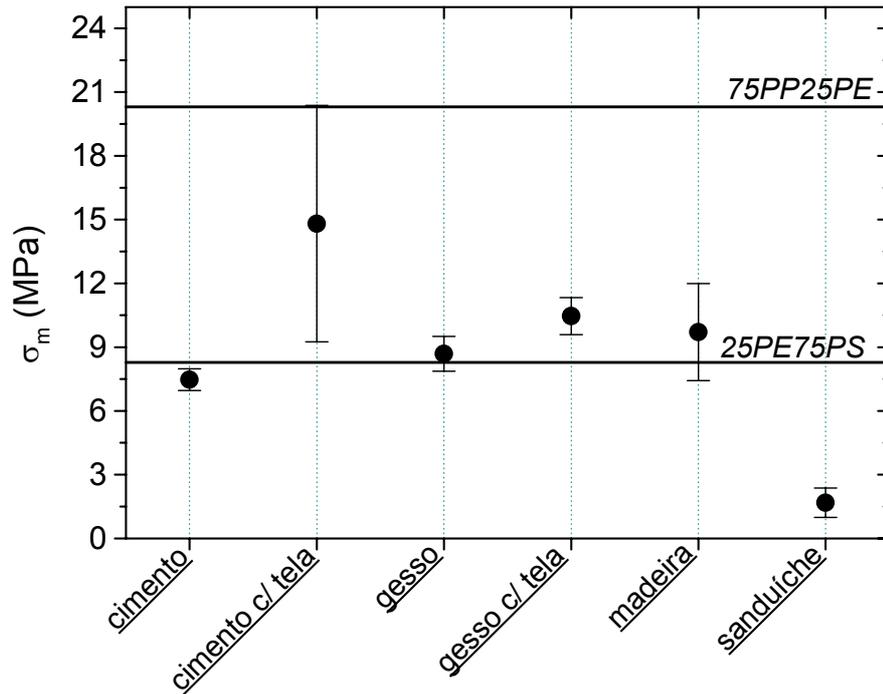


Figura 3. Gráfico comparativo das tensões de ruptura de painéis convencionais.

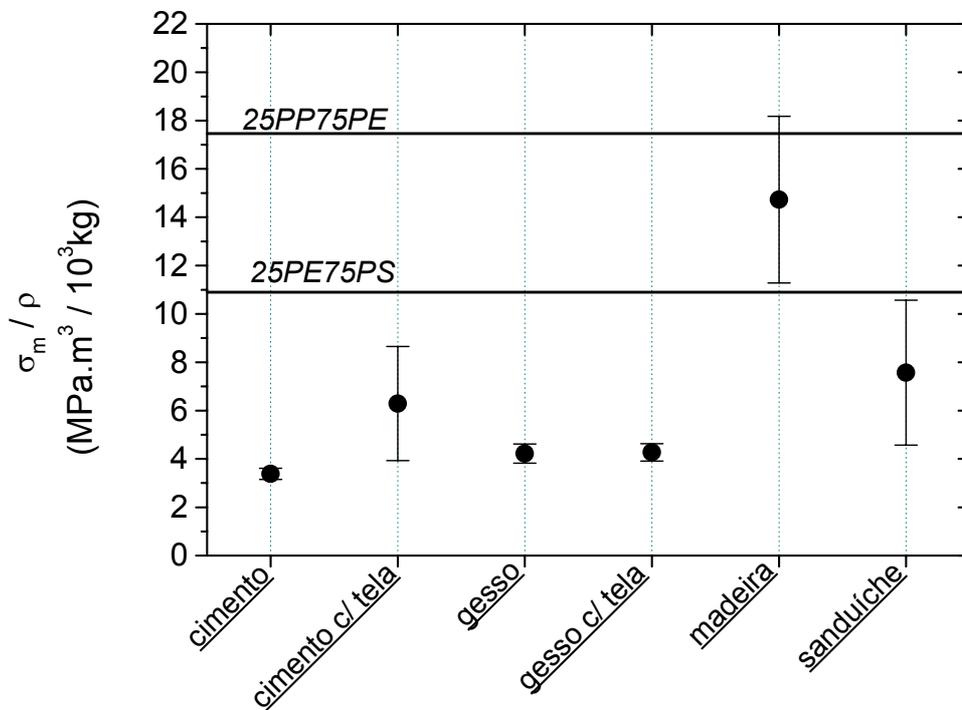


Figura 4. Gráfico comparativo das tensões específicas de painéis convencionais

estrutural, é mais importante do que a simples tensão pois combina a resistência com o peso específico. Assim, materiais com maior tensão específica são comparativamente mais leves e resistentes. No gráfico da Figura 4 os níveis de máximo e mínimo, Tabela 2, da tensão específica dos painéis de resíduos poliméricos é comparado com os valores, Tabela 3, das tensões específicas de materiais convencionais. Verifica-se neste gráfico que, com exceção da madeira, os painéis de resíduos poliméricos são significativamente superiores aos dos outros materiais. Na realidade, o painel de madeira tem seus limites estatísticos praticamente coincidentes com os dos compósitos de resíduos poliméricos. Este fato é de grande importância tanto tecnológica quanto ambiental pois mostra ser possível substituir a madeira por resíduos poliméricos prensados a quente. Sob o ponto de vista tecnológico, os polímeros são mais resistentes à deterioração atmosférica e marítima do que a madeira comum. Ambientalmente, além de se resolver o destino de resíduos poliméricos, poder-se ia evitar tanto o desmatamento quanto a mobilização de áreas de reflorestamento artificial que substituam áreas de plantio de alimentos.

Um aspecto sensível em relação aos polímeros comuns, como PE, PP e PS, é a inflamabilidade em contato com chama e calor. Como foi mencionado, trabalhos recentes (PETRUCCI et alli, 2002 E 2004; MONTEIRO et alli, 2004) mostraram não ser possível tornar resistente à chama os compósitos de resíduos poliméricos pela adição de retardantes como o $Mg(OH)_2$. Adições até o limite de 15% em peso, acima do qual compromete-se a resistência mecânica do compósito, não conferiram resistência à chama. Entretanto, foi possível se conseguir esta resistência através da simples cobertura superficial com uma camada de $Mg(OH)_2$. Esta camada foi obtida aderindo-se o $Mg(OH)_2$ à superfície com uma cola comum de madeira. Os resultados de testes padrão de inflamabilidade, como ilustra a Figura 5, indicaram uma efetiva proteção antichama da cobertura de $Mg(OH)_2$. Deve ser enfatizado que, os painéis de madeira que competem com os de resíduos poliméricos, Figura 4, também são sensíveis à chama.

Finalmente, vale mencionar que, por se tratarem de rejeitos de baixo valor comercial, os resíduos poliméricos competem também em preço com os materiais convencionais. Apesar do processamento a quente, estudos anteriores (PETRUCCI, 1998; PETRUCCI et alli, 1999) mostraram ser economicamente viável o emprego de painéis prensados de resíduos poliméricos em elementos para construção civil.

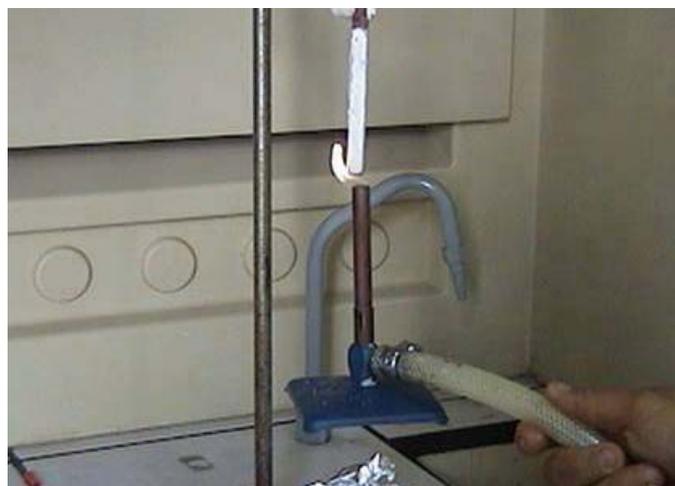


Figura 5. Teste padrão de inflamabilidade em um compósito de resíduo polimérico.

CONCLUSÕES

Painéis prensados a quente, 230°C, fabricados em compósitos de resíduos poliméricos: polietileno, polipropileno e poliestireno, apresentaram, em média, resistência mecânica à flexão superior à correspondente de outros materiais convencionalmente utilizados na construção civil.

Quando a tensão de ruptura à flexão é dividida pela densidade, somente o painel de madeira apresenta resistência específica comparável à dos painéis de resíduos poliméricos. Os outros painéis convencionais são significativamente inferiores.

Uma cobertura superficial dos painéis de resíduos poliméricos com hidróxido de magnésio tornou-os resistentes à chama e adequados ao emprego como elementos de vedação na construção civil.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio a esta pesquisa concedido pelo CNPq, CAPES e FAPERJ. É também motivo de agradecimento a colaboração do Prof. Eduardo A. de Carvalho (LAMAV/UENF) e da Prof. Regina Sandra V. Nascimento (IQ/UFRJ) bem como do bolsista IC Rafael Viga Coelho.

REFERÊNCIAS

- 1 ABIQUIM, Associação Brasileira da Indústria Química e de Produtos Derivados, “Plásticos em Foco”, publicação de 1997.
- 2 BONELLI, C. M. “Perfil de Recicladora de Plástico”, **Reciclagem & Negócios – PLÁSTICO GRANULADO**, pub. CEMPRE, 1994.
- 3 MONTEIRO, S. N., PETRUCCI, L. J. T., CARVALHO, E. A., D’ALMEIDA, J. R. M. “A Study on the Influence of Incorporation of Additives into Mixtures of Recycled Polymeric Composites”, PROCEEDINGS OF THE POLYMER PROCESSING SOCIETY AMERICAS REGIONAL MEETING, PPS 2004, p. 539-540, Florianópolis, SC, novembro de 2004.
- 4 PETRUCCI, L. J. T. “Painéis de Plástico Reciclado para Utilização na Construção Civil”, **Tese de Mestrado em Ciência dos Materiais**, Laboratório de Materiais Avançados, Universidade Estadual do Norte Fluminense, UENF, Campos dos Goytacazes (RJ), outubro de 1998.
- 5 PETRUCCI, L. J. T., MONTEIRO, S. N., PINATTI, D. G. “Panels for Civil Construction from Recycled Polymeric Wastes”, vol 1, p. 889-898, PROCEEDINGS OF THE GLOBAL SYMPOSIUM ON RECYCLING, WASTE TREATMENT AND CLEAN TECHNOLOGY – REWAS’ 99, pub. INASMET, San Sebastian, Espanha, setembro de 1999.
- 6 PETRUCCI, L. J. T., MONTEIRO, S. N., CARVALHO, E. A. “Estudo da Incorporação de Aditivos em Compósitos de Rejeitos Poliméricos”, **Revista Metalurgia e Materiais** (ABM), vol 58, 2002, p. 10-13.
- 7 PETRUCCI, L. J. T. “Estudo da Influência da Incorporação de Aditivos em Compósitos Poliméricos Reciclados”, **Tese de Doutor em Ciência dos Materiais**, Laboratório de Materiais Avançados, Universidade Estadual do Norte Fluminense, UENF, Campos dos Goytacazes (RJ), março de 2004.
- 8 UL94, “Tests for Flammability of Plastic Materials”, UNDERWRITERS LABORATORY, 1991.
- 9 WIGOTSKY, V. “Recycling Making Headway”, **Plastic Engineering**, 1992 p. 20-24.

A COMPARATIVE STUDY ON THE PERFORMANCE OF POLYMERIC WASTES BASED COMPOSITE PANELS ⁽¹⁾

Sergio Neves Monteiro⁽²⁾
José Roberto Moraes d'Almeida⁽³⁾
Lúcio José Terra Petrucci⁽⁴⁾

Abstract

The performance of composite panels press molded with different polymeric wastes has been evaluated. This evaluation was comparatively extended to other panels made of conventional materials used in civil construction. Rectangular panels were fabricated with polyethylene, polypropylene and polystyrene shreds obtained from an urban garbage collecting firm. After a 230°C press molding, the panels were cut into specimens and bend tested for the flexural rupture stress. Similar panels made of cement, wood, gypsum and sandwich were also tested. The polymeric waste composites suffered a surface ant flame treatment in order to attend the norm for civil construction. The results indicated that, within the statistic error, the hot pressed polymeric waste composite panels presented mechanical characteristics combined with density that were superior than the other conventional panels.

Key-words: Composites; Polymeric wastes; Comparative study; Panels for civil construction.

(1) Submitted for the 60th Annual Congress – ABM, Belo Horizonte, MG, July 25-28, 2005.

(2) Laboratory for Advanced Materials, Center of Science and Technology, State University of the Northern Rio de Janeiro, UENF, Av. Alberto Lamego, 2000, 28015-620, Campos dos Goytacazes, RJ – Brazil.

(3) Department of Materials Science and Metallurgy, Catholic University of Rio de Janeiro, PUC-Rio, Rua Marques de São Vicente, 225, 22453-900, Rio de Janeiro, RJ – Brazil.

(4) Laboratory for Mathematics Science, Center of Science and Technology, State University of the Northern Rio de Janeiro, UENF, Av. Alberto Lamego, 2000, 28015-620, Campos dos Goytacazes, RJ – Brazil.