

ANÁLISE COMPARATIVA DAS PROPRIEDADES FÍSICO - MECÂNICAS DE COMPÓSITOS DE MATRIZ CERÂMICA DESENVOLVIDOS EM LABORATÓRIO COM O INDUSTRIALIZADO

J.L.Sales¹, C.R.S.Morais¹, L.M.R. Lima¹, P. A. Rodrigues¹

Av. Aprígio Veloso – 882, Bodocongó, 58109-970, Campina Grande - PB, Brasil
Fone: (83) 8801 7520

josyanne27@yahoo.com.br

¹Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar as propriedades físico-mecânicas de compósitos formulados utilizando resíduos provenientes do corte de rochas de mármore, granito e do beneficiamento do caulim em comparação com as placas industrializadas Silestone® pelas técnicas de: absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e resistência á flexão em três pontos. Os resíduos foram beneficiados através do processo de moagem a seco em moinho de galgas e passados em peneira 0,074mm (ABNT nº 200). Os compósitos foram formulados utilizando proporções iguais de resíduos e uma resina preparada previamente. Foi observado neste estudo que os compósitos apresentaram absorção de água $\leq 0,5$ havendo relação direta com a porosidade aparente. Os resultados de resistência mecânica dos compósitos encontram-se dentro do exigido pelas normas da ABNT para placas de revestimento (NBR 13.816, 1997), indicando a possibilidade do reaproveitamento dos resíduos neste tipo de produto, além de contribuir para a redução dos impactos ambientais.

Palavras-chave: Compósitos, Resíduos, Propriedades mecânicas

INTRODUÇÃO

A destinação final dos resíduos industriais, líquidos e sólidos, é motivo de crescente preocupação das empresas e dos órgãos ambientais que, através de rigorosa fiscalização, têm obrigado as empresas a cuidados minuciosos com seus resíduos, durante todo o processo produtivo, desde a sua correta classificação, tratamento, coleta e transporte, até sua destinação final. Na busca de novas alternativas de destinação nobre a esses resíduos, muitas pesquisas e trabalhos vêm sendo desenvolvidos em todo o mundo, principalmente por pesquisadores das áreas de engenharia civil, materiais, mecânica e química, propondo alternativas ao descarte desses materiais no meio ambiente, visando seu reaproveitamento como matéria prima na fabricação de diversos produtos.

A contínua necessidade, por parte do mercado, de novos produtos dotados de propriedades funcionais sempre melhores, também tem estimulado a pesquisa para a aplicação de materiais de baixo custo. Nos últimos anos, foram muitos os estudos que analisaram a possibilidade de reciclagem de uma vasta gama de resíduos industriais, como o granito e o mármore. A maior parte das pesquisas demonstrou a importância da reciclagem na proteção ambiental e no desenvolvimento tecnológico (1).

A tecnologia requer frequentemente componentes com propriedades que só podem ser alcançadas em combinações de materiais. Por exemplo, para aplicações aeroespaciais são necessários materiais que conjuguem baixa densidade, resistência mecânica, rigidez, tenacidade, resistência ao desgaste e à corrosão. Algumas destas características excluem-se mutuamente nos materiais tradicionais. É então necessário recorrer a compósitos, os quais são frequentemente constituídos por materiais de diferentes grupos (metais, cerâmicos, polímeros) (2).

Os materiais compósitos aliam a leveza, rigidez e resistência, aos preços de produção relativamente baixos. Um material compósito é um material *de* que associa na mesma massa as propriedades de materiais de natureza diferente, de tal modo que se obtenha uma melhoria das “performances” de cada material considerado individualmente, sob o ponto de vista de propriedades físicas, químicas ou de resistência mecânica (3).

Os materiais cerâmicos são os mais antigos utilizados pelo ser humano. Mesmo assim, o desenvolvimento dos compósitos de matriz cerâmica tem ficado

aquém dos outros tipos de matrizes, principalmente por sua dificuldade de fabricação, que envolve altas temperaturas em suas etapas, sendo necessária a utilização de reforços que suportem altas temperaturas. Outro motivo é o aparecimento de tensões térmicas, devido à diferença de coeficientes de expansão térmica entre matriz e reforço durante o resfriamento (4).

O objetivo principal desse trabalho é a avaliação das propriedades mecânicas de compósitos de matriz cerâmica produzidos com resíduos de caulim, mármore e granito às placas industrializadas Silestone®.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Resíduo de Caulim: O resíduo de caulim que foi utilizado na pesquisa é originado da empresa Armil, localizada no município de Equador, Rio Grande do Norte.

Pedras de Granito e Mármore: Os retrazos de pedras de granito e mármore foram cedidos pela empresa Oficina do Granito, localizada no município de Cabedelo, Paraíba. Para o beneficiamento das pedras de mármore e granito, estes foram submetidos a moagem a seco, em moinho de galgas e passados em peneira de 0,074mm (ABNT nº 200), para depois então serem submetidos as técnicas de caracterização abaixo relacionadas.

Resina - A resina de poliéster ortoftálica **UCEFLEX UC 2636** foi doada pela empresa Elekeiroz, localizada na cidade de Várzea Paulista/SP, devidamente preparada, necessitando apenas ser incorporada nos compósitos. A utilização foi realizada seguindo as recomendações dos fabricantes.

Os compósitos foram formulados em 12 (doze) composições variando-se a quantidade de resina e resíduo. De acordo com a quantidade de resina (40ml, 45ml e 50ml) foram formados três grupos, que tiveram as massas dos resíduos variando entre 90, 100, 110 e 120g, com o tempo de processamento de 60min. Foi utilizada a seguinte nomenclatura para os compósitos, por exemplo, **A40R9**, onde A40, significa que a amostra possui 40ml de resina e R9, que a massa do resíduo foi 90g.

Foi utilizada Placa cerâmica de revestimento Silestone® para análise comparativa entre os compósitos formulados.

Métodos

Após a conformação por prensagem, os compósitos foram submetidos aos ensaios de Absorção de água (AA), Porosidade aparente (PA), Massa específica aparente (MEA) e Resistência à flexão (TRF) onde foram utilizados 5 (cinco) corpos de prova para cada composição e calculadas as médias aritméticas e o desvio padrão de cada ensaio. Todos os ensaios foram realizadas no Laboratório de Caracterização da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais, da Universidade Federal de Campina Grande, na Paraíba.

Absorção de Água (AA) - O ensaio de absorção de água foi realizado da seguinte forma: os corpos cerâmicos foram pesados em balança analítica. Consecutivamente, foram submersos em água destilada por 24 horas em recipiente de vidro. Após esse tempo, foram retirados do recipiente e removidos os excessos de água superficial com papel absorvente e imediatamente pesados para verificação de suas novas massas.

Porosidade Aparente (PA) - O cálculo da porosidade aparente fornece o provável percentual do volume de poros abertos, após a sinterização dos corpos de prova em relação ao seu volume total. A obtenção desse valor foi calculada da seguinte forma: após a realização das pesagens dos corpos de prova, para o cálculo da absorção de água, também foi medida a massa dos corpos de prova imersos, pelo método da balança hidrostática.

Massa Específica Aparente (MAE) - A massa específica aparente (MAE) é a razão entre massa do corpo de prova seco e seu volume ou ainda a razão entre o peso seco e a diferença entre o peso saturado e o peso imerso.

Tensão de Ruptura a Flexão em Três Pontos (TRF) - A tensão de ruptura refere-se à resistência do material à flexão simples pelo método dos três pontos, segundo o método proposto por VICAT. Para a medida desta propriedade, foi utilizada uma máquina Lloyd LR-10KN (Figura 22). Para obtenção dos resultados foram realizados

ensaios em cinco corpos-de-prova, sendo que o valor final foi dado pela média aritmética desses valores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

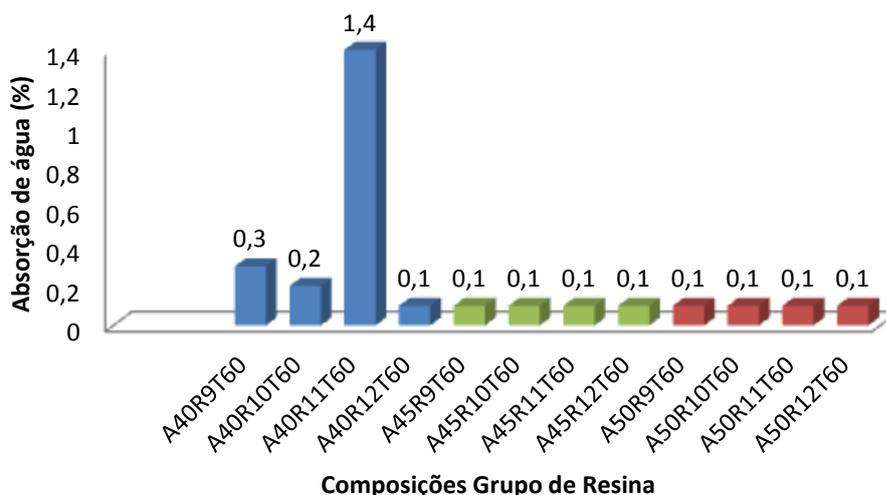
A Tabela 1 apresenta os valores médios da absorção de água após 24 horas de imersão, massa específica aparente, porosidade aparente e resistência à flexão no tempo escolhido de 60min.

Tabela 1 - Composições e ensaios físico-mecânicos

NOMENCLATURA	COMPOSIÇÃO (RESINA/ RESÍDUOS/ TEMPO 60min	RESISTÊNCIA			RESISTÊNCIA À FLEXÃO
		AA %	PA %	MEA %	
A40R9T60	40ml/90g	0,3	0,4	140,9	14,9
A40R10T60	40ml/100g	0,2	0,3	153,1	17,3
A40R11T60	40ml/110g	1,4	2,1	152,1	13,0
A40R12T60	40ml/120g	0,1	0,2	168,2	21,9
A45R9T60	45ml/90g	0,1	0,2	161,8	32,1
A45R10T60	45ml/100g	0,1	0,2	178,5	37,5
A45R11T60	45ml/110g	0,1	0,2	167,2	29,5
A45R12T60	45ml/120g	0,1	0,2	173,8	32,7
A50R9T60	50ml/ 90g	0,1	0,2	169,4	17,6
A50R10T60	50ml/100g	0,1	0,1	153,6	18,8
A50R11T60	50ml/110g	0,1	0,1	176,4	27,0
A50R12T60	50ml/120g	0,1	0,2	137,8	22,0

A partir dos resultados da Tabela 1 foi traçado o gráfico de absorção de água versus composição resíduo/resina das placas, Figura 1. A absorção de água é a principal propriedade das placas cerâmicas para revestimento, e é através dela que são classificadas as placas cerâmicas quanto ao uso e as suas especificações.

Figura 1 - Valores médios absorção de água (AA%)



Pode-se observar de forma geral que a absorção de água não variou muito com o aumento do percentual de resíduo nos compósitos, e que a maioria das amostras apresentaram absorção de água $\leq 0,5$. As amostras com teores de resíduo acima de 100g, podem ser classificadas nos grupos de absorção (NBR 13.816) (5) descritos no Quadro 2.

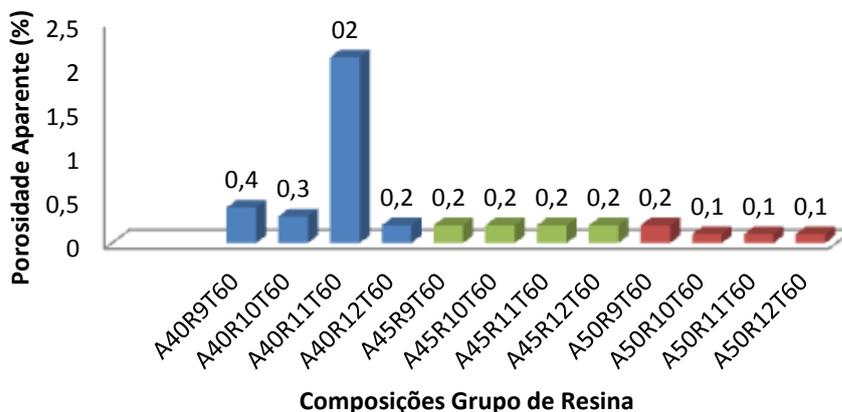
Quadro 1 - Grupos de absorção de água

GRUPOS	AA%
Ia	$0 < Abs \leq 0,5$
Ib	$0,5 < Abs \leq 3,0$
IIa	$3,0 < Abs \leq 6,0$
IIb	$6,0 < Abs \leq 10,0$
III	Abs acima de 10,0

Com base no Quadro 2, pode-se afirmar que todas as amostras estão classificadas nos grupos Ia ($0 < Abs \leq 0,5$).

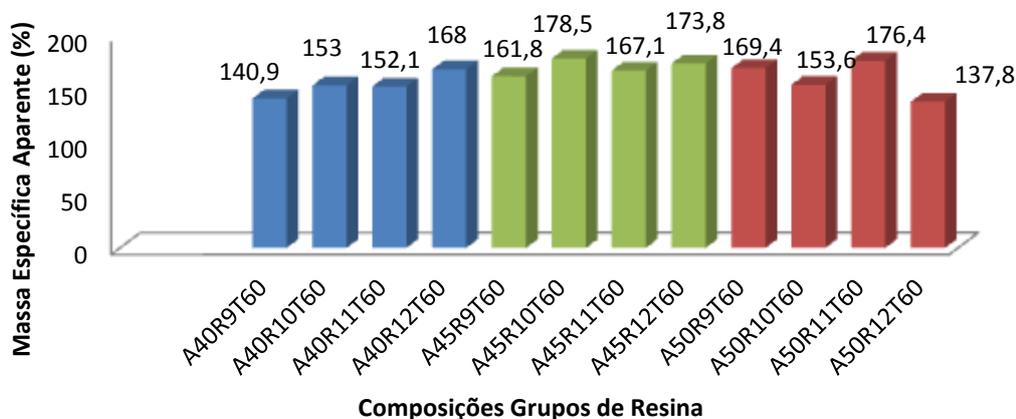
As Figuras 2 e 3 apresentam os valores médios dos ensaios físicos de porosidade aparente e massa específica aparente das composições estudadas.

Figura 2 - Valores médios de porosidade aparente (PA%)



Quanto aos resultados de porosidade aparente dos compósitos pode-se observar que o aumento no teor da resina provocou uma diminuição nesta propriedade. Considerando agora o aumento no percentual de resíduos percebe-se que para o primeiro grupo ocorreu uma pequena diminuição.

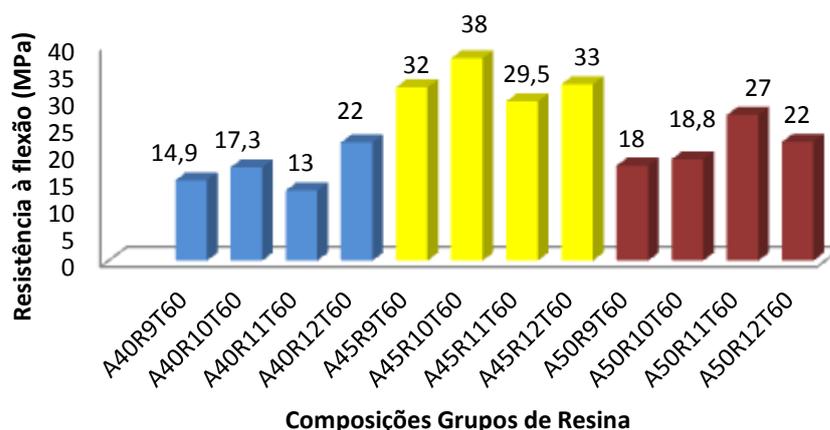
Figura 3 - Valores médios de massa específica aparente (MEA%)



As análises de massa específica aparente apresentaram pouca variação. No primeiro grupo ela cresceu com o aumento do percentual de resíduo, já nos demais grupos não foi possível observar nenhuma correlação.

A Figura 4 apresenta a média os valores de resistência à flexão dos compósitos estudados versus a composição de resíduos.

Figura 4 - Valores médios de resistência à flexão (TRF%)



Observa-se na Figura 4 que a resistência dos compósitos de forma geral aumentou com aumento do percentual de resíduos. Entretanto verifica-se a diminuição da resistência em relação ao aumento do percentual de resina. Os compósitos A45R9T60 (32,1MPa), A45R10T60 (37,5MPa) e A45R12T60 (32,7MPa) apresentaram os melhores resultados de resistência à flexão, dentre as composições estudadas.

Na norma NBR 13816 (ABNT)(6) de placas cerâmicas para revestimento, as recomendações de valores de resistência a flexão devem variar entre 15 a 35 MPa, logo a maioria dos compósitos apresentaram valores de resistência dentro dos especificados.

Com base nos dados de segurança fornecidos pelo manual das placas industrializadas, o Silestone®, tem-se que: a absorção de água deve estar entre 0,04 e 0,20% e a resistência a flexão entre 29 – 70 Mpa, estes valores estão próximos aos obtidos nos compósitos estudados.

CONCLUSÕES

Os estudos realizados nos compósitos formulados com os resíduos de caulim, mármore e granito permitiram concluir que:

- A absorção de água nos compósitos não variou muito com o aumento do percentual de resíduo ou de resina nas composições estudadas, e a maioria das amostras apresentaram absorção de água $\leq 0,5$, o que é bastante interessante para esse tipo de aplicação, além de atender as especificações da NBR 13.816(ABNT);

- As análises de massa específica aparente e porosidade aparente apresentaram em alguns compósitos certa relação, ou seja, quando a massa específica aparente cresceu a porosidade também cresceu.
- A porosidade aparente indica relação direta com a resistência físico-mecânica dos compósitos, pois quanto maior a absorção de água, provavelmente menor a sua resistência físico-mecânica;
- Os compósitos de forma geral tiveram suas resistências mecânicas aumentadas com o aumento do percentual de resíduos em todos os grupos. Entretanto verifica-se a diminuição da resistência em relação ao aumento do percentual de resina;
- Os compósitos A45R9T60 (32,1MPa), A45R10T60 (37,5MPa) e A45R12T60 (32,7MPa) apresentaram os melhores resultados de resistência à flexão, dentre as composições estudadas;
- A maioria dos compósitos apresentaram valores que variaram entre 15 a 35 MPa, mas quando comparados com os da placa industrializada (Silestone®), apenas os compósitos A45R9T60, A45R10T60 e A45R12T60 encontram-se dentro do especificado;

Com base nos resultados, conclui-se que é possível confirmar a viabilidade e inovação desta pesquisa, que acarretará na redução dos custos energéticos na indústria, por utilizar o processo de conformação por prensagem a baixa temperatura, sem sinterização, além de utilizar resíduos de rochas ornamentais como matéria prima, o que acarreta em benefícios ao meio ambiente, sendo também de grande valor científico para a comunidade acadêmica e profissional que atua na área de reutilização e reciclagem de resíduos sólidos.

BIBLIOGRAFIA

- (1) SANTOS, E. A. **Avaliação mecânica e microestrutural de compósitos de matriz de poliéster com adição de cargas minerais e resíduos industriais.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Natal, 2007.
- (2) LIMA, A. M. V., ANTÓNIO. **Caracterização do comportamento à fractura de materiais compósitos (PRFV),** Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica. Porto, 1987.
- (3) BONALDO, E., BARROS, J.A.O., LOURENÇO, P.B. **Sistema híbrido em materiais compósitos para reforço de lajes de betão armado.** Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, Lisboa, 2006.
- (4) VENTURA, A.M.F.M. **Os compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas Metálicas.** C. Tecn.Mat., v.21, p. 3-4, Lisboa, 2009.
- (5) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13.818. Placas cerâmicas para revestimento: especificação e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 1997c.
- (6) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13.816. Placas cerâmicas para revestimento: terminologia.** Rio de Janeiro, 1997 a.
- (7) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004: Resíduos Sólidos: classificação.** São Paulo, 2004.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF CERAMIC MATRIX COMPOSITES LABORATORY DEVELOPED WITH INDUSTRIALIZED

ABSTRACT

The objective of this study is to investigate the mechanical properties of water absorption, apparent porosity, bulk density and flexural strength of three points, composites made using waste rock cut from marble, granite and kaolin processing compared to Silestone® industrial cards. The residues were benefited through the process of dry grinding in a mill and passed in gauges of 0.074 mm sieve (ABNT No. 200). The composites were made using equal amounts of waste and a polyester resin ortoftálica previously prepared. Was observed in this study that the results showed that the composites exhibited water absorption ≤ 0.5 , with direct relation to the apparent porosity, which showed strength within the required standards (ABNT 13816) for coating plates. The developed product will contribute to reducing environmental impacts, enabling the reuse of waste used to produce plates for coating.

Key - words: Composites, Waste, Mechanical properties