



CONGRESSO BRASILEIRO  
DE ENGENHARIA QUÍMICA EM  
INICIAÇÃO CIENTÍFICA

21-24 Julho de 2019  
Uberlândia/MG



# ANÁLISE COMPARATIVA DO ENSAIO MECÂNICO DE TRAÇÃO EM COMPÓSITO POLIMÉRICO COM CARGA INDUSTRIAL DE CAULIM E LAMA VERMELHA

D. C. P. CRUZ<sup>1</sup>, J. E. A. SANTOS<sup>1</sup>, I.F.G. CASTRO<sup>1</sup>, A. J. G. SANTOS<sup>2</sup> e J. A. S. SOUZA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Química

<sup>2</sup> Universidade Federal do Pará, Campus Ananindeua, Faculdade de Engenharia Química  
E-mail para contato: delispalhetac@gmail.com

**RESUMO** – Um novo destino para resíduos possibilita a geração de materiais com propriedades interessantes para engenharia de materiais. Neste trabalho desenvolveu-se materiais compósitos com porcentagem de carga mineral de caulim e lama vermelha com matriz polimérica composta de resina poliéster com acelerador de cobalto e catalisador. Os rejeitos foram preparados e caracterizados por difração de raio-X. A produção das placas foi realizada em moldes e prensada posteriormente de acordo com norma ASTM D 3039, com 10 corpos de provas para cada série. Para análises mecânicas realizou-se o ensaio de tração no qual o resíduo de caulim a 30% resultou em 31,44 MPa e para lama vermelha a 20% correspondente a 32,32 MPa. A microscopia eletrônica de varredura mostra a superfície dos compósitos após os ensaios de tração na qual observou-se boa aderência do caulim com a matriz e para lama vermelha a formação de agregados de partículas.

## 1. INTRODUÇÃO

A principal característica do compósito é combinação de propriedades incomuns, isto ocorre por se tratar de um material multifásico composto por matriz e fase dispersa. Segundo Callister (2008) essa condição é gerada através do princípio de ação combinada, ou seja, a escolha da matéria-prima de forma criteriosa atentando-se para versatilidade, como polímeros, cerâmica, fibras, metais entre outros.

A viabilidade de redução dos rejeitos estimula o uso desses resíduos, como cargas minerais atuando como a fase dispersa, também chamada de reforço. Conforme Sakahara (2012) a mistura de polímeros com minerais tem efeito nas propriedades de produto final, seja na redução de custo, transformações na resistência elétrica, susceptibilidade magnética e propriedades mecânicas. Vale ressaltar que a composição química e a pureza da carga influencia direta e indiretamente no desempenho e aplicação do compósito. (Albano *et al.*, 2000)

Desse modo o presente trabalho tem o objetivo de analisar os compósitos de matriz polimérica com carga mineral de caulim e lama vermelha, assim como os resultados dos ensaios de tração e microscopia eletrônica de varredura comparando ambas.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Preparação e caracterização dos rejeitos industriais

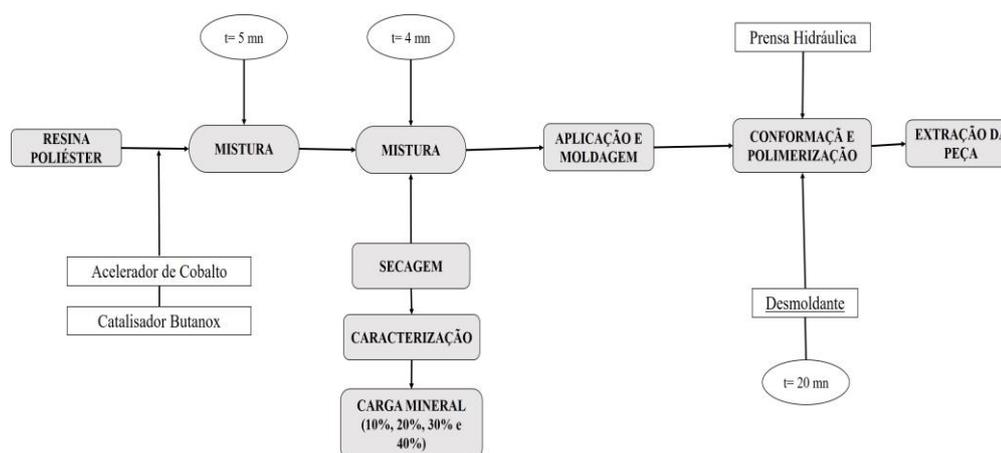
Os resíduos de caulim e bauxita (lama vermelha) foram fornecidos pela empresa Imerys e Hydro Alunorte, respectivamente. Os resíduos foram submetidos a secagem em estufa durante 24 horas, à temperatura de 105 °C. Posteriormente realizou-se o peneiramento manual em peneira granulométrica 100 mesh da série Tyler. A identificação dos minerais presentes nas amostras foi obtida através da técnica de difração de raio-X (DRX), utilizando o equipamento difratômetro de Raios – X: D8 Advance da Bruker. A aquisição dos dados foi realizada com software X Pert Data collector, versão 3.0.

### 2.2. Produção dos compósitos

A resina utilizada no trabalho foi a Resina Poliéster isoftálico (Resina AM 910), de média reatividade, amarelada, não acelerada, com baixa viscosidade, boa resistência química e térmica ao redor de 95 a 110°C. Como acelerador de cura, o de Cobalto, produto comercial denominado CAT MET UMEDECIDO (Solução de Octoato de cobalto 1,5 % v/v). O catalisador, produto comercial BUTANOX M-50. Todos provenientes da Aerojet® Brasileira de Fiberglass LTDA.

Pesou-se as massas da resina e do rejeito necessários para cada placa de acordo com sua porcentagem. A mistura foi colocada no molde e em seguida prensada, em prensa hidráulica com carga de 2,5 kN durante o tempo estimado de 20 minutos. Foram produzidos 10 corpos de prova para cada carga mineral (10%, 20%, 30% e 40%). Após a produção das placas, foram realizados os cortes nas placas de acordo com a norma ASTM D3039, conforme na figura 1.

Figura 1 – Fluxograma de produção dos compósitos.



### 2.3. Propriedade mecânica e microscopia eletrônica de varredura

Os ensaios de tração dos corpos de prova foram realizados seguindo a norma ASTM D-3039. Utilizou-se a máquina universal de tração (KRATOS 1-modelo IKCL3) com sistema



de aquisição de dados, com célula de carga de 5 kN, adotando velocidade de 2mm / min e comprimento útil para medição entre garras de 180 mm, com dimensões (espessura x largura x comprimento) (2,5 mm x 25 mm x 250 mm).

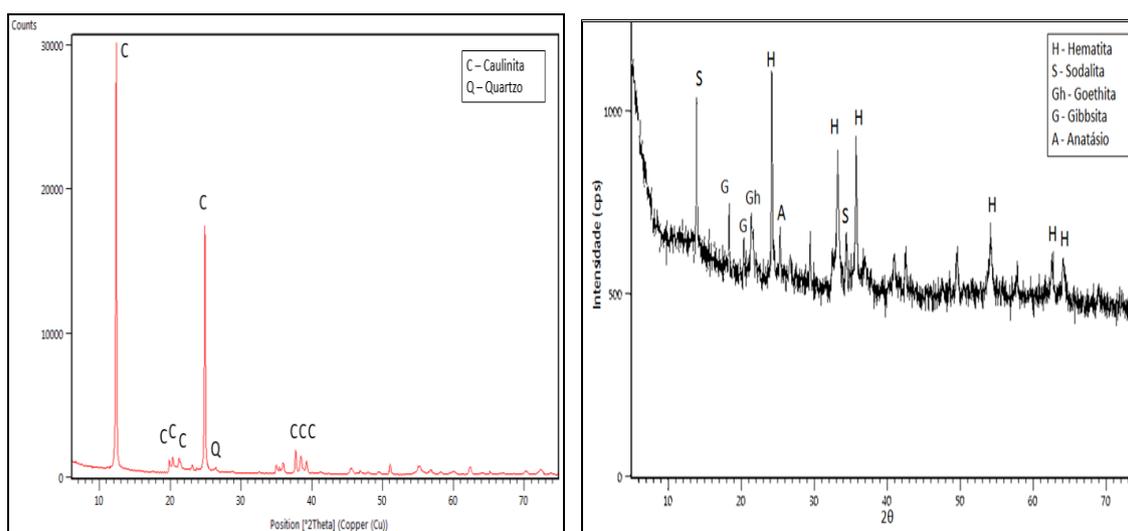
Após a realização do ensaio mecânico, as superfícies de fratura dos corpos de prova foram analisadas de forma a observar as alterações morfológicas dos compósitos, por meio de microscópio eletrônico de varredura (MEV) X- Max, sendo que as amostras sofreram um processo de metalização durante 80 segundos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Caracterização dos rejeitos

A análise difratométrica (DRX) realizadas na amostra de rejeito de caulim apresentou como principais componentes mineralógicos em ordem decrescente de intensidade, a Caulinita (C) e o Quartzo (Q). Observe a figura 2.

Figura 2 – Resultados do DRX do caulim (esquerda) e da lama vermelha (direita)



Na análise do caulim, a caulinita encontra-se em maior quantidade, conforme o esperado, conforme Brito (2018) com resíduo “in natura”. As amostras de rejeito industrial de lama vermelha apresentaram como principais componentes mineralógicos em ordem decrescente de intensidade a Hematita (H), Sodalite (S), Gibbsita (G), Goethita (Gh) e Anatásio (A) (Costa, 2016).

#### 3.2. Propriedades mecânicas

Os compósitos poliméricos com inserção de rejeitos industriais foram avaliados quanto a sua resistência mecânica por meio de ensaio de tração, alongamento e módulo de elasticidade, tais resultados são apresentados nas Tabelas 01 e 02.



Tabela 1 – Resultados de resistência à tração dos compósitos com inserção de rejeitos industrial de Caulim

Tipos de amostra	Proporção de carga (%)	Fração mássica (FM) (g)	Resistência tração (MPa) (Desvio padrão)	Alongamento (mm)	Módulo de elasticidade (GPa)
Matriz Pura	0	317,40	19,54 ( $\pm$ 3,05)	4,84	0,81
Rejeito industrial de caulim	RCa 10	31,74	27,53 ( $\pm$ 6,28)	4,77	1,06
	RCa 20	63,48	30,78 ( $\pm$ 6,56)	4,70	1,24
	RCa 30	95,22	31,44 ( $\pm$ 4,39)	5,20	1,13
	RCa 40	126,96	27,77 ( $\pm$ 2,49)	5,87	1,19

O ensaio realizado com compósitos de matriz polimérica com inserção de rejeitos industriais de caulim que apresentou o comportamento superior, foi a carga de 30% com tração de 31,44 MPa

Tabela 2 – Resultados de resistência à tração dos compósitos com inserção de rejeito industrial de lama vermelha.

Tipos de amostra	Proporção de carga (%)	Fração mássica (FM) (g)	Resistência tração (MPa) (Desvio padrão)	Alongamento (mm)	Módulo de elasticidade (GPa)
Matriz Pura	0	317,40	19,54 ( $\pm$ 3,05)	4,84	0,81
Rejeito industrial de lama vermelha	RLV 10	31,74	27,89 ( $\pm$ 7,18)	4,77	1,06
	RLV 20	63,48	32,32 ( $\pm$ 4,99)	4,70	1,24
	RLV 30	95,22	25,80 ( $\pm$ 5,35)	5,20	1,13
	RLV 40	126,96	26,47 ( $\pm$ 3,12)	5,87	1,19

A fração que apresentou resultado superior nos ensaios realizados com rejeito industrial de lama vermelha foi referente a de 20% com resistência a tração de 32,32 MPa.

Em uma análise geral, ambos resíduos industriais apresentaram aumento da resistência comparada a matriz plena. Os melhores desempenhos em resistência corresponderam em porcentagens de cargas distintas. Para o rejeito de caulim o melhor resultado foi de 30%, já para lama vermelha de 20%.

Em estudos desenvolvidos com caulim, como (Lima 2007) verifica-se a influência da interação da superfície ativa diferente deste mineral com o polímero, resultando na variação do comportamento físico-químico do compósito, ou seja, a adesão da carga na matriz polimérica os resultados irão diferenciar de porcentagem de resíduo para outro.

Segundo pesquisas de (Zhang *et al* 2011) com lama vermelha utilizando cargas de até 50%, foi verificado que as amostras a partir de 20% decresceram devido aglomeração das

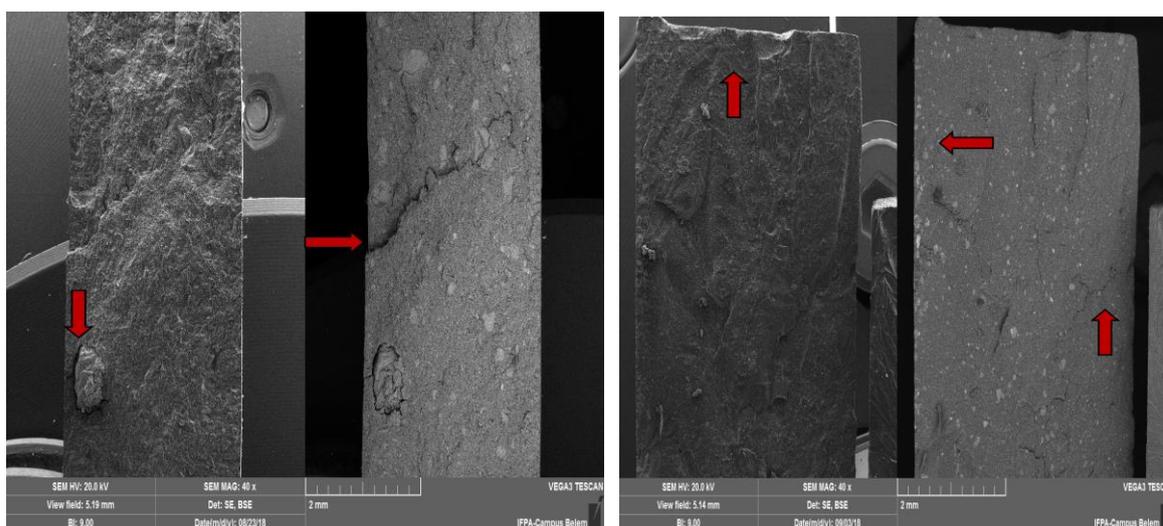
partículas. Logo, pode-se explicar a maior resistência mostrada na Tabela 2 e o declínio da resistência com maiores proporções. Além de observado através da microscopia o agrupamento das porções de lama vermelha.

Verificou-se o aumento do alongamento nas cargas de caulim de 30% e 40% comparado a matriz pura e com rejeito de lama vermelha. Quanto ao módulo de elasticidade ambos os resultados foram satisfatórios, porém o valor máximo correspondeu a porcentagem de lama vermelha de 20% com 1,33 GPA.

### 3.3. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A figura 3 abaixo representa os resultados do MEV de ambas placas salientando as características mais importantes do corpo de prova.

Figura 3 – MEV do compósito com carga mineral de 40% de caulim (esquerda) e lama vermelha de 20% (direita), ampliada 40 vezes



Observa-se na superfície algumas fraturas e imperfeições após a realização dos ensaios de resistência a tração. Além de apresentar formação de particulados de caulim, contudo as partículas são dispersas (esquerda). Enquanto na figura da direita, a matriz polimérica da lama vermelha apresenta tamanho uniforme de partículas, com pequenas aglomerações na borda da amostra, com poucas deformações e com pequena fratura.

## 4. CONCLUSÃO

Após a análise os resultados dos compósitos apresentaram boa ancoragem dos rejeitos de matriz polimérica dependendo da carga mineral inserida. A análise de difração de raio-X mostrou minerais esperados nas amostras estudadas. Enquanto ao ensaio de tração, o resíduo incorporado a resina atingiu valor de 32,32 MPa, correspondente a 20% de lama vermelha. A amostra de caulim pode-se atingir valores de resistência próxima caso aumente a carga, todavia, vale ressaltar que quanto maior carga mais difícil será a homogeneização, impregnação e relação matriz/mineral. Nas análises morfológicas das placas de compósitos



revelaram a distribuição das partículas ao longo do corpo de prova e regiões de fraturas em ambas, apenas se diferenciando em tamanho.

## 5. REFERÊNCIAS

- Albano, C.; Gonzalez, J.; Ichazo, M.; Rosales, C.; Urbina de Navarro, C.; Parra, C. Mechanical and morphological behavior of polyolefin blends in the presence of CaCO<sub>3</sub>. In: Composite Structures 48. Pp. 49-58, 2000.
- ASTM D30398, "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic (Metric)", Annual Book of ASTM Standards, Amer. Society for Testing and Materials, 2005.
- BRITO, C. E.C *et al.* Avaliação da metacaulinita obtida de rejeito de caulim amazônico visando sua aplicação na síntese de argilominerais micáceos. Congresso Brasileiro de Engenharia de Materiais e Ciências dos Materiais. UFPA. 2018
- CALLISTER, W. D. Jr. Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução. (Trad.) Sérgio Murilo Stamile Soares. Rio de Janeiro: LTC, 2008. Clark, J.A., 1986, Private Communication, University of Michigan, Ann Harbor.
- COSTA, D. S. Estudo da influência de resíduos gerados pela indústria de mineração nas propriedades de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras naturais. Programa de Pós-graduação em engenharia de recursos naturais da amazônia-PRODERNA. Universidade Federal do Pará. 2016.
- LIMA, A. B. T. Aplicações de Cargas Minerais em Polimeros. 2007. 87f. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.
- SAKAHARA, R. M.; Estudo da formação da fase cristalina Beta nos compósitos de polipropileno contendo anidrido maléico e carbonato de cálcio. 2012, 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- ZHANG, Yihe *et al.* Red mud/polypropylene composite with mechanical and thermal properties. Journal of Composite Materials, v. 45, n. 26, p. 2811-2816, 2011.