

# INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DA LAMA VERMELHA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E DE FLAMABILIDADE DOS COMPÓSITOS \*

*Eryck Eduardo Simplicio dos Santos<sup>1</sup>  
Victor Hugo Mafra Monfredo Ferreira<sup>2</sup>  
Brenda Thayssa Figueira Daniel<sup>3</sup>  
Bruno Henrique Alves Mendes<sup>4</sup>  
Deibson Silva da Costa<sup>5</sup>*

## Resumo

Buscando a reutilização de resíduos sólidos, o presente trabalho produziu compósitos de resina polimérica utilizando o resíduo industrial de Lama Vermelha (LV), proveniente da mineradora Hydro Alunorte (Pará), para avaliar suas propriedades mecânicas e de flamabilidade. As granulometrias empregadas foram de 0, 100 e 200 mesh, com as proporções de 10 % e 20 % para cada uma. Fez-se uso da resina poliéster insaturada isoftálica, atrelada ao iniciador e o acelerador de Cobalto nas proporções de 1 % e 1,5 %, em v/v, respectivamente. Para a fabricação dos compósitos utilizou-se o método manual “*hand lay up*” em moldes metálicos. Realizaram-se os ensaios de tração, físicos e de retardância a chama conforme as normas ASTM D 3039, NBR 12766 e ASTM D 635, respectivamente. Os resultados de resistência à tração foram satisfatórios à medida que se diminuiu a granulometria, o melhor deles com a composição de 10 % 100# atingindo 40,35 Mpa de resistência. A resistência à chama foi influenciada beneficemente, também, diminuindo-se a granulometria, e a menor taxa de queima se deu com a composição de 20 % 200# com 16,16 mm/min. Os resultados dos ensaios físicos (PA, AA, MEA) variaram de acordo com as proporções e granulometrias.

**Palavras-chave:** Lama Vermelha; Granulometria, Resistência à Chama; Tração.

## INFLUENCE OF RED MUD GRANULOMETRY ON THE MECHANICAL PROPERTIES AND FLAMMABILITY OF COMPOSITES

### Abstract

Seeking the reuse of solid residues, the present work produced polymeric resin compounds using the industrial residue of Red Mud, from the mining company Hydro Alunorte (Pará), with its mechanical properties of flammability. The granulometries employed were 0, 100 and 200 mesh, with proportions of 10% and 20% for each. Isophthalic unsaturated polyester resin was used, coupled to the initiator and the Cobalt accelerator in proportions of 1 % and 1,5 %, in v/v, respectively. The manual method “*hand lay up*” was used to manufacture the composites in metal molds. Traction, physical and flamel retardance tests were performer according to ASTM D 3039, NBR 12766 and ASTM D 635, respectively. The results of the traction resistance were satisfactory as the granulometry decreased, the best with the composition of 10 % 100# reaching 40.35 MPa of resistance. The flame resistance was also beneficently influenced by decreasing the granulometry, and the lowest burning rate that was made with the composition of 20 % 200# 16,16 mm/min. The results of the physical tests (PA, AA, MEA) varied according to the proportions and granulometry.

**Keywords:** Red Mud; Granulometry; Flame Resistance; Traction.

- <sup>1</sup> Graduando em Engenharia de Materiais, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua – PA, Brasil: erylceduardo147@gmail.com.
- <sup>2</sup> Graduando em Engenharia de Materiais, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua – PA, Brasil: hvictor921@gmail.com.
- <sup>3</sup> Mestranda em Engenharia Mecânica – PPGEM, Grupo de Pesquisa em Engenharia de Materiais – GPEMAT, Graduada em Bacharelado em Ciência e Tecnologia – Tecnologia Mineral, Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua – PA, Brasil: brendadaniell@yahoo.com.br.
- <sup>4</sup> Mestre em Engenharia Química – PPGEQ/ITEC, Graduado em Engenharia Química, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém – PA, Brasil: bbmendes15@gmail.com.
- <sup>5</sup> Engenheiro Mecânico, Doutor em Engenharia de Recursos Naturais, Professor Adjunto I, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua – PA, Brasil: deibsonsc@yahoo.com.br..

## 1 INTRODUÇÃO

A grande quantidade de resíduos gerada por atividades industriais tem sido um impasse para o desenvolvimento econômico de maneira ambientalmente sustentável. Diante disso, visando minimizar impactos ambientais e reduzir custos com matérias primas, a reutilização de resíduos sólidos é uma alternativa para tal questão. Um destes resíduos é a lama vermelha, gerada na produção da alumina a partir do processo Bayer.

Além de gerar um alto custo para a sua disposição e gerenciamento ambiental devido a sua grande quantidade gerada, a disposição inadequada da lama vermelha pode originar problemas como: contaminação da água de superfície e subterrânea por hidróxido de sódio, ferro, alumínio ou outro agente químico; o vento pode carrear pó dos depósitos de lama vermelha seca, formando nuvens de poeira alcalina <sup>[1]</sup>.

E se tratando de compósitos de matrizes poliméricas, como a lama vermelha apresenta uma compatibilidade razoavelmente boa com resinas poliéster, esse resíduo pode ser utilizado como potencial carga para produzir compósitos de matriz de poliéster de custo efetivo <sup>[1]</sup>.

Uma alternativa para a utilização da lama vermelha em compósitos é como carga, pois é um resíduo de baixo custo e facilmente disponível. A utilização de cargas tem o objetivo de melhorar as propriedades mecânicas, térmicas e tribológicas e reduzir os custos dos componentes <sup>[2]</sup>. No caso da lama vermelha, a abrasividade do compósito é melhorada <sup>[3]</sup>. Assim, como carga em compósitos poliméricos, a lama vermelha tem mostrado um grande potencial de uso <sup>[4]</sup>.

Ademais, é importante o conhecimento das propriedades de um compósito para avaliar as possibilidades de aplicações, nomeadamente as propriedades mecânicas e térmicas.

O presente trabalho mostra a influência da variação da granulometria nas características de resistência à tração e resistência à chama dos compósitos poliméricos com resíduos de lama vermelha.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A fabricação dos compósitos ocorreu na Usina de Materiais do Laboratório de Engenharia Química, na Universidade Federal do Pará. Utilizou-se o método manual denominado *hand lay up* para a elaboração, e fez-se a cominuição de todo material em um moinho de bolas. A granulometria foi determinada da seguinte maneira: granulometria original, e em peneiras de 100 e 200 mesh da série Tyler.

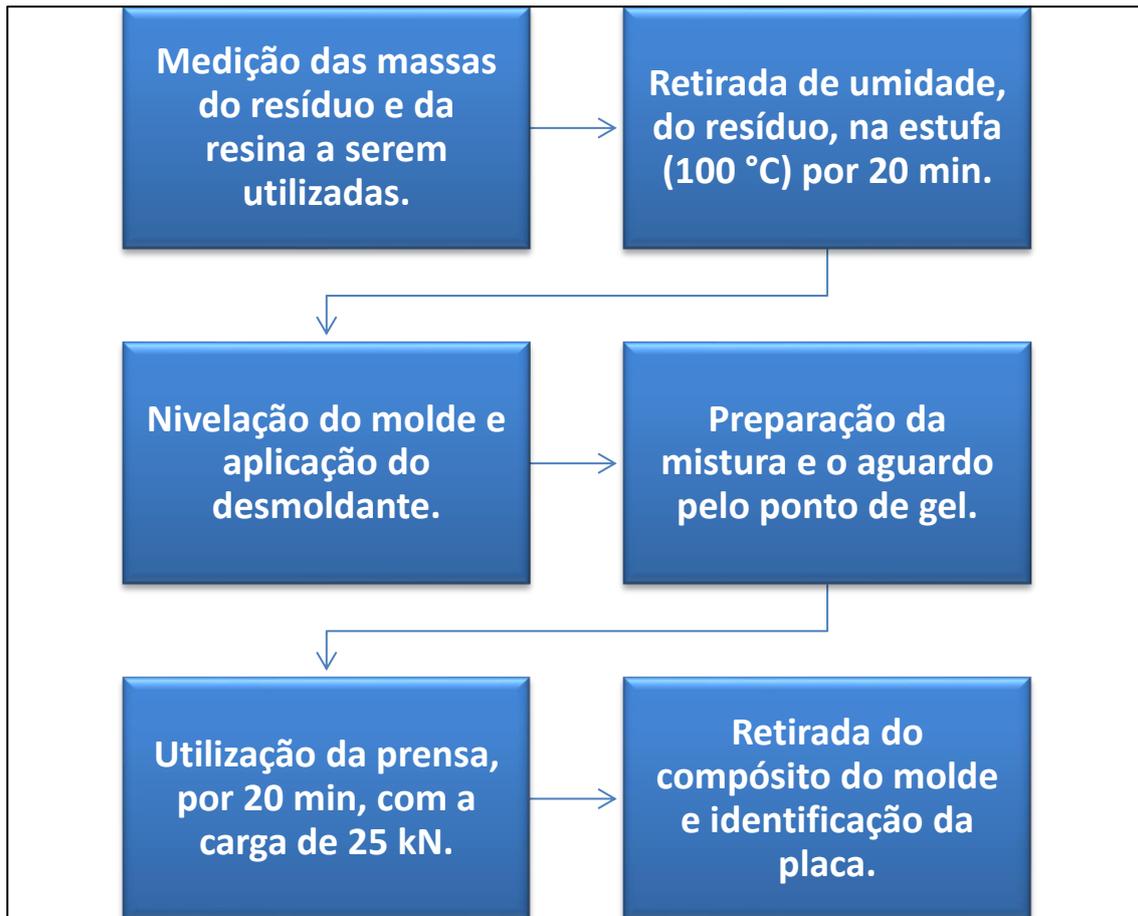
Por conseguinte, com a proporção mássica de lama vermelha pré-definida, realizou-se a determinação das massas e em seguida a retirada da umidade em uma estufa por um período de vinte minutos a uma temperatura de 100 °C. Ademais, além de nivelar o molde metálico retangular, aplicou-se desmoldante no mesmo com o objetivo de facilitar a remoção da mistura após a etapa de prensagem e evitar o contato direto com o molde.

Posteriormente, a determinou-se a massa da resina, com as devidas proporções para cada porcentagem de resíduo (10 % e 20 %) a ser aplicado. O preparo da mistura foi feito após a retirada do resíduo da estufa.

A ordem de preparação da mistura aconteceu da seguinte forma: resina, acelerador de Cobalto (1,5 %, em v/v), resíduo e iniciador (1 %, em v/v) MEK-P (Butanox M-50). Após a adição do catalisador à resina, fez-se a mistura com o auxílio de um bastão de vidro até haver apenas uma fase homogênea no recipiente. Em seguida, incorporou-se o resíduo e após homogeneização da mistura, para iniciar o processo de cura, foi adicionado o Butanox.

Subsequentemente, a mistura foi despejada de maneira homogênea no molde metálico, e esperaram-se alguns minutos para atingir o ponto de gel. Após isso, o molde foi fechado e levado à prensa hidráulica. Na prensa, o molde foi estabilizado e submetido a uma força de aproximadamente 25 kN, por vinte minutos.

Ademais, retirou-se do compósito de lama vermelha do molde metálico e se fez a identificação. A Figura 1 apresenta um fluxograma da fabricação.



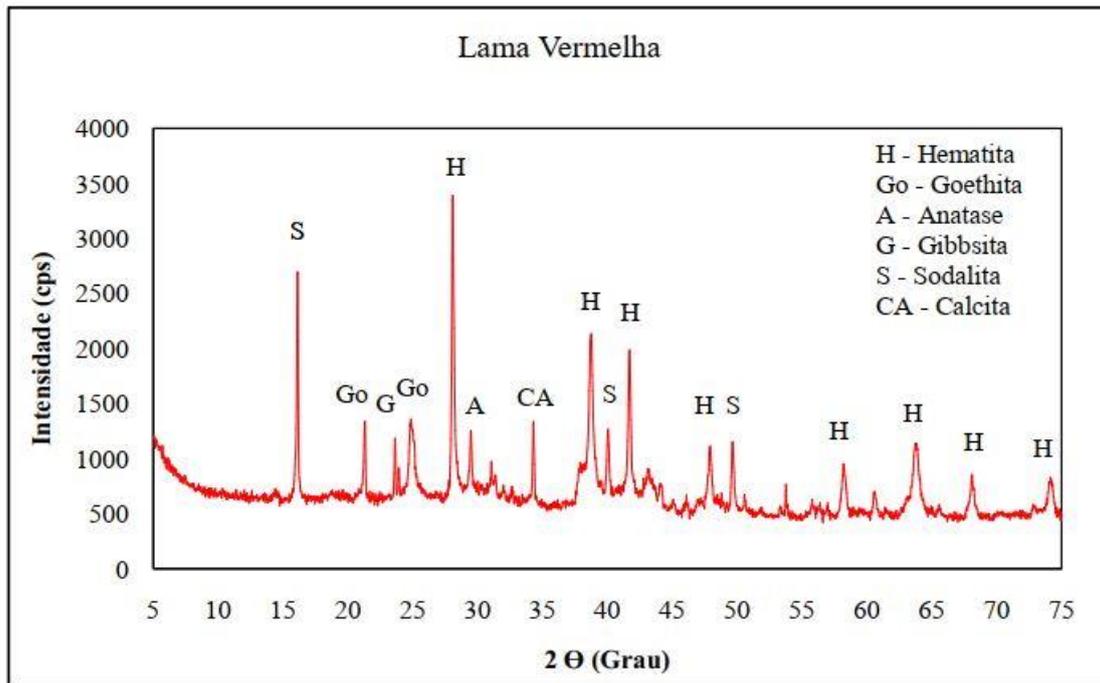
**Figura 1.** Fluxograma da elaboração do compósito.

Por fim, após a obtenção das placas de formato retangular foi dado o tempo de 24 h necessário para o seu processo de cura total, aplicando pesos distribuídos uniformemente para evitar defeitos. Além disso, realizou-se o corte das placas para os ensaios de tração, flamabilidade e físicos, baseando-se nas recomendações das suas respectivas normas.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Difração de Raios-X (DRX)

Para analisar as composições mineralógicas presentes na lama vermelha utilizou-se a técnica de DRX. De acordo com os resultados apresentados no difratograma de lama vermelha apresentado na Figura 2 observou-se os principais componentes mineralógicos do material de acordo com suas fichas PDF.



**Figura 2.** Difratoograma obtido para a amostra de lama vermelha.

Ficaram evidentes os principais picos correspondentes como: hematita (H) - PDF 01-073-2234, goethita (Go) - PDF 00 017-0536, anatase (A) - PDF 01-071-1167, gibbsita (G) - PDF 00-029-0041, sodalita (S) - PDF 01-089-8955, calcita (CA) - PDF 00-005-0586. Estes resultados estão de acordo com as composições mineralógicas esperadas. Dentre os principais picos encontrados, a evidente quantidade de Hematita pode influenciar nas propriedades mecânicas e térmicas dos compósitos de lama vermelha devido a sua composição ter um elevado teor de minério de Ferro [5].

### 3.2 Ensaio Físicos

Na Tabela 1 estão presentes os resultados de Absorção de Água (AA), Porosidade Aparente (PA) e Massa Específica Aparente (MEA) realizados de acordo com a norma NBR 12766/1992 [6], para compósitos com lama vermelha com diferentes composições e granulometrias e a matriz polimérica plena (0 %).

Tabela 1. Resultados dos ensaios físicos.

COMPOSIÇÃO	AA (%)	PA (%)	MEA (g/cm <sup>3</sup> )
0 %	0,2815	0,3447	1,2243
10 % 0#	1,0894	1,3561	1,2469
20 % 0#	1,3005	1,7139	1,3191
10 % 100#	0,4813	0,6328	1,3139
20 % 100#	1,0032	1,3371	1,3325
10 % 200#	0,6021	0,7601	1,2625
20 % 200#	0,7799	1,0475	1,3432

Pôde-se observar que as composições com a fração não peneirada, tanto com 10 % e 20 % de resíduos, apresentaram maiores valores de PA e AA. Esses resultados podem estar relacionados à heterogeneidade de particulados. Contudo, avaliando os mesmos percentuais para todas as granulometrias, percebe-se que a redução do tamanho das partículas ocasionou uma estabilização nas propriedades físicas e melhorou as características de porosidade aparente e absorção de água, o que pode indicar melhoria na incorporação entre partículas e o polímero.

Dentre os dados de AA, onde 0# se refere a granulometria original, temos que as composições com 10 % 100# e 10 % 200# foram as que tiveram o índice de absorção mais aproximado em relação à com 0 % de lama vermelha. As demais composições tiveram índices variados de acordo com a granulometria. Trabalhos semelhantes como o de Souza (2019), mostram que quanto maior o teor de lama, a absorção de água se torna menor.

Com relação aos resultados de PA obtidos, as composições que apresentaram o menor índice foram com 10 % 100# e 10 % 200#, também.

Ademais, a MEA apresentou uma tendência de aumento a medida que se diminuiu a granulometria e se aumentou a proporção de resíduos. A massa específica está diretamente proporcional a quantidade de lama vermelha presente na mistura [7].

Os resultados estão de acordo com o exposto pela regra da mistura, a qual diz que as propriedades do novo material são resultado das características de seus constituintes separados e das frações volumétricas das fases, considerando estimativas aproximadas [8].

### 3.3 Ensaio de Tração

A Tabela 2 apresenta os resultados de resistência à tração obtidos para os compósitos de lama vermelha com suas respectivas composições em massa, produzidos de acordo com a norma ASTM D 3039 [9].

**Tabela 2.** Resultados dos ensaios de tração.

<b>COMPOSIÇÃO</b>	<b>TENSÃO DE RESISTÊNCIA (MPa)</b>
0 %	25,40 ± 5,39
10 % 0#	33,23 ± 2,48
20 % 0#	26,28 ± 6,34
10 % 100#	40,35 ± 3,63
20 % 100#	21,60 ± 5,23
10 % 200#	21,37 ± 4,88
20 % 200#	26,58 ± 5,07

Pôde-se observar que a melhor tensão de resistência foi referente à composição de 10 % 100#, que teve um aumento de aproximadamente 90 % em relação à matriz plena. Essa elevada resistência à tração pode estar relacionada há fatores como uma boa dispersão, homogeneização e compactação dos resíduos e resina durante o processo de fabricação, o que resulta em mínima quantidade de defeitos e imperfeições, e conseqüentemente o aumento da resistência do compósito.

Além disso, torna-se notável que, predominantemente, com a variação das proporções e granulometrias de lama vermelha utilizadas há um aumento das tensões de resistência a tração, quando comparada com a matriz plena. Contudo, houve excepcionalmente um decréscimo das tensões de resistência quando foram empregadas as proporções e granulometrias de 20 % 100 # e 10 % 200#.

Ademais, a composição 20 % 200# também teve um aumento na resistência à tração especialmente considerável em relação à matriz plena, o que pode evidenciar a influência da granulometria nas propriedades mecânicas dos compósitos de lama vermelha.

### 3.4 Ensaio de Flamabilidade

A tabela 3 mostra os resultados obtidos do ensaio de retardância à chama, realizados de acordo com a norma ASTM D 635 <sup>[10]</sup>.

**Tabela 3.** Resultados do Ensaio de Flamabilidade horizontal.

COMPOSIÇÃO	TAXA (mm/min)
0 %	22,60 ± 1,52
10 % 0#	21,08 ± 3,77
20 % 0#	16,23 ± 0,41
10 % 100#	19,72 ± 0,64
20 % 100#	16,81 ± 0,97
10 % 200#	22,24 ± 0,39
20 % 200#	16,16 ± 0,90

Apesar de matrizes poliméricas geralmente não apresentarem alta resistência à chama e por isso não serem indicadas para aplicações mais propensas a presença de fogo <sup>[11]</sup>, a resina plena utilizada nos ensaios apresentou resultados adequados quando comparados aos exigidos pela ASTM D 635. Ficou evidente também que, houve uma diminuição da taxa de queima ao acrescentar o resíduo como carga de enchimento.

Pôde-se observar que o tempo médio de queima das amostras foi semelhante nas proporções fabricadas quando comparados à resina plena. Porém, conforme se acrescentou resíduo, em todas as granulometrias utilizadas, na matriz polimérica observou-se uma diminuição da taxa de queima, demonstrando que à medida que se aumenta a porcentagem de resíduo na matriz, há uma diminuição considerável na taxa de queima da mesma, ratificando que o resíduo - em quantidades mais elevadas - pode ter atuação de retardante de chamas. Estes resultados são satisfatórios, pois quanto maior for o tempo de queima do material, menor será a velocidade de propagação da chama, viabilizando que medidas de reação/segurança sejam executadas.

Pôde-se analisar, também, que a proporção de 20 % apresentou valores menores que a de 10 % comparando os resultados de todas as três granulometrias empregadas (0#, 100# e 200#). Desse modo, fica evidente uma coorelação entre a melhoria das propriedades anti-chamas com a diminuição da granulometria da lama vermelha e quantidade de resíduos aplicados em matrizes poliméricas.

No Brasil, a resolução CONTRAN nº 675 [12], exige que os revestimentos internos da indústria automobilística tenham uma velocidade de propagação de chama de 250 mm/min. Já na norma utilizada como parâmetro, o valor estabelecido é inferior a esse. Em relação a esses dados, os compósitos estudados apresentaram valores bem menores do que o exigido.

A Tabela 4 evidencia uma comparação entre os compósitos fabricados que apresentaram menores taxas de queima (20 % 200#) e os padrões exigidos pelas normas e diretrizes, onde é possível observar o desempenho obtido durante os ensaios de flamabilidade.

**Tabela 4.** Comparação dos resultados obtidos com parâmetros exigidos.

<b>COMPOSIÇÃO/NORMAS</b>	<b>TAXA (mm/min)</b>
CONTRAN 675	250,00
ASTM D 635	40,00
0 %	22,60
20 % 200#	16,16

Comparando-se os resultados obtidos dos compósitos de lama vermelha fabricados com os valores exigidos pelas normas, ficou evidente que os materiais compósitos produzidos apresentaram resultados satisfatórios, pois apresentaram valores consideravelmente abaixo do que são exigidos.

Em relação ao valor permitido pela norma do CONTRAN 675, conseguiu-se uma redução de 93,54 % com 20 % 200# na taxa de propagação de chamas, para a lama vermelha. Para o valor estabelecido pela ASTM 635, a redução foi de aproximadamente 59,60 %, para a lama vermelha. Considerando o valor da matriz polimérica, a redução na taxa também foi considerável.

Desse modo, a diminuição da granulometria pode ser um fator que influencia na característica de retardante à chamas dos compósitos de lama vermelha.

## 4 CONCLUSÃO

A produção de compósitos com resíduos de lama foi satisfatória, ratificando que o método de fabricação empregado foi eficiente e uma compatibilidade dos resíduos (lama vermelha) com a matriz polimérica. Nesse sentido, os compósitos apresentaram poucos defeitos e boa uniformidade.

Em relação à caracterização de resistência mecânica, a variação da granulometria influenciou de maneira diferente de acordo com os tamanhos das partículas empregadas. Porém, todos os compósitos apresentaram um aumento na resistência a tração.

As propriedades físicas apresentaram variações à medida que a matriz é saturada de resíduos e se diminui a granulometria, principalmente sua massa específica e absorção de água, o que implica na variação das propriedades mecânicas e térmicas dos compósitos em questão.

Os compósitos com lama vermelha apresentaram uma característica de retardo à chama, propriedade essa atraente para algumas aplicações visando segurança e prevenção contra incêndios. Nesse sentido, houve um decréscimo na taxa de degradação conforme se aumentou a quantidade e se diminuiu a granulometria do resíduo na matriz polimérica.

Contudo, mesmo empregando as menores proporções e granulometrias maiores, observou-se um resultado menor do que as taxas máximas de queima exigidas pela CONTRAN 675 e ASTM D 635;

## Agradecimentos

À Universidade Federal do Pará – UFPA e ao Laboratório de Engenharia Química (LEQ).

## REFERÊNCIAS

- 1 SILVA FILHO, E.B; ALVES, M.C.M; DA MOTTA, M. Lama vermelha da indústria de beneficiamento de alumina: produção, características, disposição e aplicações alternativas. Revista Matéria, v. 12, n. 2, pp. 322-338, 2007.
- 2 OLIVEIRA M. J. A. de. Efeito da adição de lama vermelha como carga nas propriedades mecânicas de compósitos de poliéster insaturado reforçado com fibra natural de curauá (ananas erectifolius). Dissertação de Pós-Graduação, 2013.

- 3 SATAPATHY, A.; PATNAIK, A. Analysis of Dry Sliding Wear Behavior of Red Mud Filled Polyester Composites using the Taguchi Method. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 29, nº 19, p. 2883-2897, 2010.
- 4 BHAT, A.H.; ABDUL KHALIL, H.P.S.; BANTHIA, A.K. Thermoplastic Polymer based Modified Red Mud Composite Materials. *Advances in Composite Materials – Ecodesign and Analysis*. P. 55-86, India: Intech Open I. 2011.
- 5 JANKOVIĆ *et al.*, 2013; ANTUNES *et al.*, 2012 e MERCURY *et al.*, 2010 apud CUNHA, 2014.
- 6 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - NBR 12766 "Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente, absorção d'água aparente." 1992. 2p.
- 7 SOUZA, Pedro Henrique Rodrigues de. Et al. Utilização da lama vermelha para produção de agregado sintético. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. Ano 04, Ed. 03, Vol. 06, pp. 30-43. Março de 2019. ISSN: 2448-0959.
- 8 GHESQUIERE, A; BAUWENS, J C. - *J Appl. Polym. Sei.*, 20, 891-901 (1976).
- 9 ASTM D 3039 "Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials", *Annual Book of ASTM Standards*, American Society for Testing and Materials, 2000.
- 10 ASTM D 635 "Rate of Burning and/or Extent and Time of Burninf of Plastics in a Horizontal Position" *Annual Book of ASTM Standards*, American Society for Testing and Materials, 2010.
- 11 RIBEIRO, L. M. Flamabilidade e retardância de chama do compósito: poliéster insaturado reforçado com fibra de abacaxi (palf). *Holos*, ano 29, vol 1, 2013.
- 12 Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). Resolução nº. 675 - "Requisitos aplicáveis aos materiais de revestimento interno do habitáculo de veículos e dá outras providências." *Diário Oficial da União*, Seção 1, página 13534, 09 de setembro de 1986.