

# ESTUDO GRANULOMÉTRICO E ÍNDICE DE PLASTICIDADE PARA AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DA LAMA DE ALTO FORNO EM MASSA CERÂMICA PARA PRODUÇÃO DE TELHAS\*

Roberta Lima de Souza Costa<sup>1</sup>  
GeynaEvellynSilva de Jesus<sup>2</sup>  
Alisson Clay Rios da Silva<sup>3</sup>  
Sérgio Neves Monteiro<sup>4</sup>  
Verônica Scarpini Candido<sup>5</sup>  
Laércio Gôuvea Gomes<sup>6</sup>

## Resumo

Este trabalho tem o objetivo de avaliar a granulometria eo índice de plasticidade da adição de até 10% em peso de lama de alto forno a uma massa argilosa constituída de argila forte e fraca proveniente do município de São Miguel do Guamá-PA. As matérias-primas e o resíduo foram beneficiados e em seguida foi realizado o ensaio granulométrico por sedimentação e peneiramento e os ensaios de limite de liquidez e de plasticidade pela determinação do limite de Atterberg, possibilitandodelimitar as regiões apropriadas para fabricação de determinados produtos e classificar as composições em zonas de extrusão ótima e aceitável. Os resultados mostraram que o resíduo apresenta uma granulometria favorável e a sua incorporação de até 5% em peso serve para a produção de telhas.

**Palavras-chave:**Granulometria; Índice de plasticidade; Lama de alto forno; Telhas

## GRANULOMETRIC STUDY AND PLASTICITY INDEX FOR EVALUATING THE INCORPORATION OF HIGH-OVEN IN CERAMIC MASS FOR TILES PRODUCTION

### Abstract

Thisworkhastheobjectivetoevaluate thegranulometryandtheplasticity index oftheadditionofupto 10% bywt ofblastfurnacesludgeto a clayslagconstitutedofstrongandweakclayfromthemunicipalityof São Miguel do Guamá-PA. The rawmaterialsandtheresiduewerebenefitedandthenthegranulometrictestbysedimentatio nandsievingandthetestsofliquiditylimitandplasticitywere determinedbydeterminingthe Atterberg limit, allowingtodelimittheappropriateregions for themanufactureofcertainproductsandtoclassifythecompositions in optimumandacceptableextrusion zones. The resultsshowedthattheresiduehas a favorablegranulometryand its incorporationofupto 5% bywtisused for theproductionof tiles.

**Keywords:** Granulometry; Plasticity index, Blast furnace slurry; Tiles

<sup>1</sup> Engenheira de Produção. Mestre em Engenharia de Processos, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém - PA, Brasil.

<sup>2</sup> Graduanda em Engenharia de Materiais, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua-PA, Brasil.

<sup>3</sup> Químico industrial, Doutor em Ciência dos Materiais, Professor Adjunto I, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua-PA, Brasil.

- <sup>4</sup> *Engenheiro de Materiais, PhD em Engenharia e Ciência dos Materiais, Professor, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais/Departamento de Engenharia mecânica e Materiais, Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.*
- <sup>5</sup> *Bióloga, Doutora em Ciência dos Materiais, Professora Adjunta I, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua-PA, Brasil.*
- <sup>6</sup> *Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia Mecânica, Professor do Ensino Básico Técnico e Tecnológico, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), Belém-PA, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

Com aproximadamente 42 fábricas, o município de São Miguel do Guamá, localizado na região nordeste do Pará, a 144 km de Belém, é considerado o principal distrito industrial cerâmico da região norte do Brasil. É responsável por mais de 3 mil empregos diretos e fabricação mensal aproximada de 30 milhões de tijolos e 9 milhões de telhas. Tem participação em 92% na oferta da produção estadual [1]. O volume de produção é absorvido dentro do estado do Pará e uma pequena parte é distribuída ao estado vizinho, o Maranhão [2].

Atualmente, observa-se que em muitas cerâmicas, há uma maior preocupação em formular composições que apresentem melhores parâmetros tecnológicos e há maior controle de qualidade do produto final. Essas mudanças no processo produtivo proporcionam maior economia de energia e maior lucro no produto final [3].

Diversos tipos de resíduos são produzidos e as formas de descarte por vezes são ineficientes ou inadequadas. Junkes (2011) [4] ressalta que nos últimos anos, a reutilização de vários resíduos sólidos vem crescendo e a utilização desses materiais como constituintes mássicos em cerâmica vermelha é uma alternativa viável para descartar sem agredir o ambiente e melhorar as propriedades das peças cerâmicas.

Há estudos com adição de vários tipos de resíduos que podem ser incorporados em massa argilosa para produção de peças de cerâmica vermelha e os resultados sobre as propriedades tecnológicas têm se mostrado positivos. Dentre os diversos tipos de resíduos que são incorporados à cerâmica vermelha destacam-se os resíduos de siderurgia [5].

Estudo sobre a influência da lama de alto forno no comportamento tecnológico de massas argilosas sinterizadas torna-se importante, pois esse resíduo é pouco utilizado para a produção de artefatos cerâmicos com possível aplicação no setor da construção civil [6].

Contudo nota-se que não se tem conhecimento preciso da composição mineralógica e das propriedades fundamentais para controle das etapas do processamento de telhas cerâmicas. Nesse contexto, estudou-se dois tipos de argilas oriundas de uma empresa do município de São Miguel do Guamá-PA e a lama de alto forno proveniente da região sudeste paraense a fim de produzir peças com propriedades exigidas por norma e, também, melhorar a etapa de processamento cerâmico. Dessa forma, este trabalho tem por objetivo de estudar a granulometria e o índice de plasticidade da incorporação da lama de alto forno em massa argilosa para produção de telhas.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Materiais e Métodos

Para este trabalho foi utilizada uma argila forte e uma argila fraca cedida pela Cerâmica Menegalli, localizada no nordeste paraense e o resíduo cedido por um siderúrgica localizada no sudeste do estado do Pará.

As matérias-primas assim como o resíduo foram encaminhados para a etapa de beneficiamento no Laboratório de Síntese de Materiais Cerâmicos – LASIMAC da Universidade Federal do Pará.

As argilas e a lama de alto forno foram secas em estufa a 110°C por 24 horas e, em sequência, foram desagregadas em um moinho de jarro em cerâmica sinterizada sobre rolos motorizados da marca Marconi modelo MA 500/CFT por 30min. Posteriormente foi feita a identificação da argila forte (AFO), argila fraca (AFR) e a lama de alto forno (LAF).

Após essa etapa, foram elaboradas, três composições, assim definidas: uma somente com a argila forte e argila fraca (AFOAFR) e as demais correspondentes à incorporação do resíduo na massa argilosa, nos percentuais de 5%(AFOAFR5LAF) e 10% (AFOAFR10LAF) em peso.

A distribuição de tamanho de partículas foi realizada pelo método combinado de sedimentação e peneiramento, de acordo com a 7181/2016 [7]. Para a sedimentação foram separadas 70g da amostra das argilas, do resíduo e das composições estudadas, após passadas em peneiras de 200 mesh elas foram dispersadas em 125ml de água destilada com adição de 5,71g de hexametáfosfato de sódio e 1g de carbonato de sódio, o material foi agitado até ficar submerso e deixado em repouso, por 24h. Após a solução foi agitada durante 15min. por um dispersor e colocados em tubos de ensaio de 1.000ml para iniciar a leitura da sedimentação. Baseando-se na Lei de Stokes (Equação 1), onde a velocidade terminal de sedimentação depende do tamanho da partícula e viscosidade do fluido determinado. A velocidade foi determinada por:

$$v = \frac{(\rho - \rho_f)gd^2}{18\mu} \quad (1)$$

Onde:

V= velocidade terminal (m/s);

g= gravidade (m/s<sup>2</sup>);

d= representa diâmetro esférico equivalente da partícula (m);

$\rho$ = massa específica do material (kg/m<sup>3</sup>);

$\rho_f$ = representa massa específica do fluido (kg/m<sup>3</sup>);

$\mu$  = viscosidade dinâmica do meio fluido (N.s/m<sup>2</sup>).

No método de peneiramento as amostras foram inicialmente passadas por um peneiramento mais grosseiro (até a peneira de 2 mm – 10 mesh) e posteriormente por um peneiramento mais fino (até a peneira de 0,075 mm – 200 mesh).

Com os resultados obtidos foi elaborado o gráfico da curva de distribuição do tamanho das partículas que apresenta a fração “argila”, fração “silte e a fração “areia” e o diagrama de Winkler que delimita as regiões apropriadas para a fabricação de determinados produtos, como: região 1, tijolo maciço; região 2, blocos vazados; região 3, telhas; região 4, manilhas.

O ensaio de plasticidade foi realizado no Laboratório da Engenharia Civil – LEC da UFPA, para todas as formulações já citadas e foi seguido as normas 7180/2016 [8] e 6459/2016 [9]. Assim a determinação do limite de Atterberg se dá pela técnica de determinação de dois limites de consistência, conhecidos como limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP).

O índice de plasticidade (IP) de Atterberg (Equação 2) é representado:

$$IP = LL - LP \quad (2)$$

Onde:

IP= índice de plasticidade;

LL= limite de liquidez;

P= limite de plasticidade.

O LL trata-se do máximo peso de água que pode ser adicionado a massa e que permite que essa massa quando separada por uma ranhura se una novamente após 25 golpes no aparelho Casagrande. Já o LP é o mínimo de água que pode ser adicionado a massa e que permite que essa massa seja moldada em cilindros de 3 a 4mm de diâmetro e 15 cm de comprimento.

Com o resultado do IP foi elaborado o prognóstico de extrusão que classifica as argilas e as composições em zona de extrusão ótima e zona de extrusão aceitável.

## 2.2 Resultados e Discussão

A figura 1 apresenta a curva de distribuição granulométrica das argilas, do resíduo e das composições estudadas.

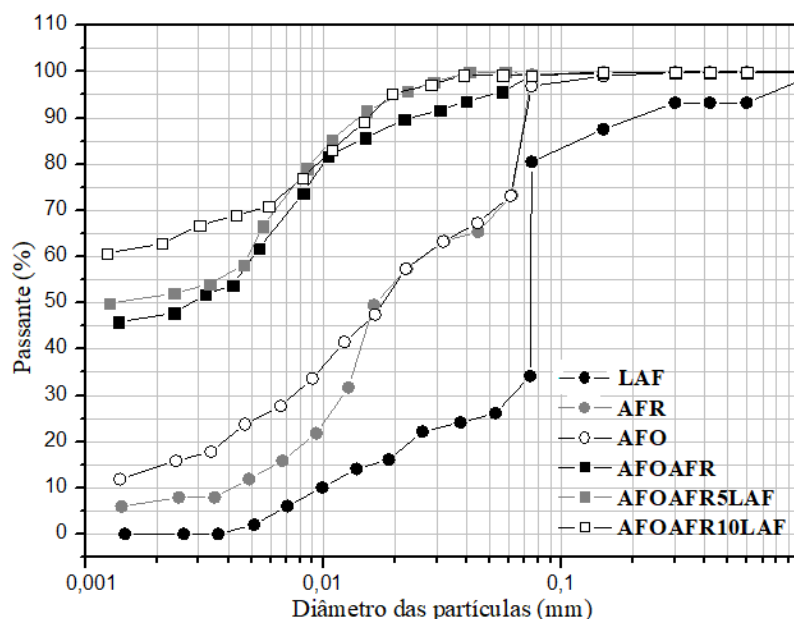


Figura 1. Curva de distribuição do tamanho das partículas das argilas, do resíduo e das composições estudadas.

Nota-se que tanto a AFO quanto AFR apresentam baixos percentuais de fração “argila” o que se confirma que esse material é pouco argiloso, sendo a fração “silte” de maior concentração granulométrica tanto na AFO quanto na AFR. Já a LAF não é apresentada a fração “argila”, sendo a fração “areia” que apresenta maior índice granulométrico.

Nas composições estudadas observa-se que a AFOAFR foi o que apresentou baixo teor de fração “argila”, já as com adição do resíduo aumentou a fração “argila” desses materiais, esse comportamento pode estar associado ao peneiramento dessas massas, selecionando assim grãos menores.

Na figura 2 apresenta o diagrama de Winkler.

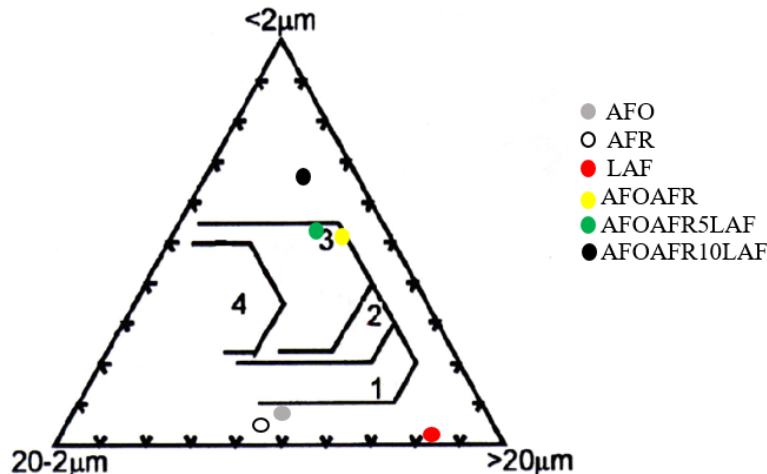


Figura 2. Diagrama de Winkler para as argilas, resíduo e composições estudadas.

Observa-se que a composição AFOAFR e AFOAFR5LAF está localizada no setor 3, sugerindo que essas composições pode ser usadas para a fabricação de telhas, objetivo deste estudo.

As argilas situam-se entre fração “silte” e fração “areia” comprovando os resultados na curva granulométrica.

Já a lama de alto forno se apresenta no gráfico próximo ao 100% da fração “areia”, já confirmado na figura 1, sugerindo então, que esse resíduo pode contribuir para controlar a plasticidade das argilas.

Na figura 3 apresenta o prognóstico de extrusão das matérias-primas e das composições estudadas.

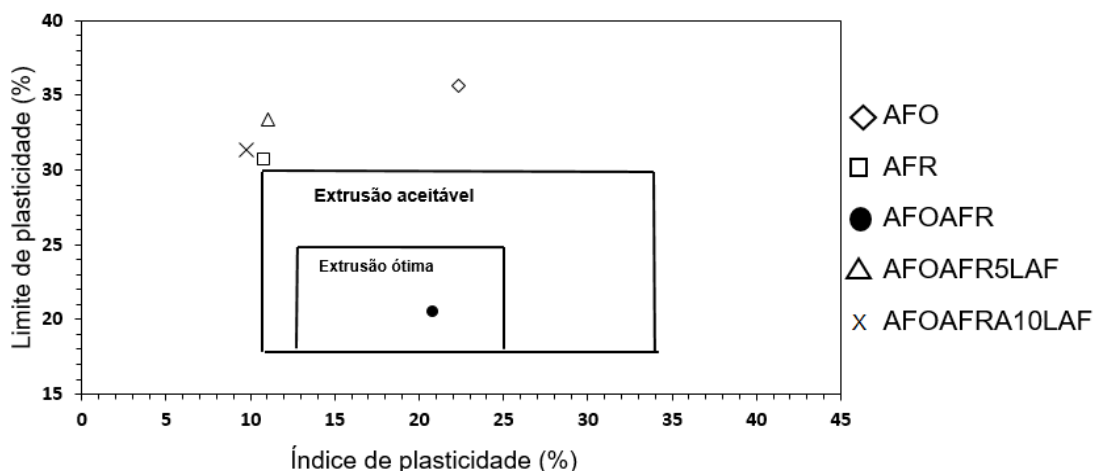


Figura 3. Prognóstico de extrusão por meio dos limites de Atterberg.

Nota-se que a composição AFOAFR localiza-se no campo de extrusão ótima sendo que as demais composições estão localizadas fora dos limites e que são

aceitáveis, sugerindo assim um ajuste de plasticidade, já que todos os materiais apresentam alto teor de fração “areia” que confere baixa plasticidade em nossos materiais.

Assim, pode-se inferir que a mistura entre a argila forte e a argila fraca contribuiu para controlar a plasticidade das massas e que a utilização de até 5% em peso da lama de alto forno favorece a produção de telhas.

### 3 CONCLUSÃO

Com o estudo conclui-se que as argilas cedidas pela empresa Cerâmica Menegalli são de preeminência cauliníticas, assim essas argilas podem contribuir para uma boa plasticidade do material uma vez que é o argilomineral responsável pelo desenvolvimento da plasticidade em mistura com a água.

A lama de alto forno apresenta uma granulometria favorável à adição em massa argilosa, da mesma forma que o resíduo não modifica a trabalhabilidade das argilas nas concentrações estudadas, porém a sua adição não pode ultrapassar os 5%.

Assim, pode-se concluir que as composições AFOAFR e AFOAFR5LAF apresentaram resultados favoráveis a fabricação de telhas.

### REFERÊNCIAS

- 1 SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micros e Pequenas Empresas. **Cerâmica Vermelha: Estudos de Mercados**. Setembro, 2008.
- 2 ROCHA, A. L.; BARTOLOMEU, A. O.; BOTELHO, J. L.; NEVES, R. M. A produção industrial da cerâmica vermelha em São Miguel do Guamá e as recentes inovações adotadas pelo segmento em âmbito nacional. **Revista de arquitetura da IMED**. Passo Fundo, RS. v. 2, n.1, 2013, p. 01-09.
- 3 RAMOS, I. S.; ALVES, M. G.; ALEXANDRE, J. Diagnóstico do Polo Cerâmico de Campos dos Goytacazes – RJ. **Cerâmica Industrial**, São Carlos, 11 (1) 2006.
- 4 JUNKES, J.A. **Formulação de produtos cerâmicos a partir de resíduos minerais usando o diagrama de fases do sistema  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O}$** . 2011. 148 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.
- 5 DAS, B.; Prakash, S.; Reddy, P. S. R.; Misra, V. N. **An overview of utilization of slag and sludge from steel industries**. Resources, Conservation&Recycling, In Press. 2006.
- 6 DIAS, C. A. C. M. **Reciclagem de lama de alto forno em cerâmica vermelha**. 2011. 158 f. Tese (Doutorado em Engenharia e ciências dos materiais) – Universidade do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2011
- 7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 7181 **Determinação da análise granulométrica dos solos**. Rio de Janeiro, (2016).
- 8 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 7180 **Determinação de limites de plasticidade: método de ensaio**. Rio de Janeiro, (2016).
- 9 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 6459 **Determinação do limite de liquidez: método de ensaio**. Rio de Janeiro, (2016).