

CARACTERIZAÇÃO DE ARGILAS FORTE E FRACA INCORPORADAS COM ESCÓRIA DE ALTO-FORNO PARA FABRICAÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA*

Lanna Hannah de Sousa Gomes¹

Sérgio Neves Monteiro²

Alisson Clay Rios da Silva³

Verônica Scarpini Candido⁴

Resumo

O estudo objetivou a caracterização de uma mistura argilosa composta de argila fraca e forte, juntamente com escória de alto-forno. As matérias primas foram analisadas termicamente, por microscópio óptico e de varredura, com determinação de suas plasticidades e curvas de TG/DTG para as quatro formulações (mistura entre as argilas forte e fraca e adição de 10%, 20%, 30% em peso de escória). A pesquisa aponta que a escória de alto-forno, por apresentar partículas mais grosseiras que as argilas, contribui para melhorar o grau de empacotamento das partículas, favorecendo a etapa de secagem além de controlar as dimensões das peças. Os resultados apresentaram grande importância para a indústria cerâmica na produção de blocos, além de indicar que a argila fraca contribui para a diminuição da plasticidade da argila forte.

Palavras-chave: Cerâmica vermelha; Caracterização; Argila forte e fraca; Escória de alto-forno

CHARACTERIZATION OF STRONG AND LOW ARGILS INCORPORATED WITH HIGH-OVEN SLING FOR THE MANUFACTURE OF RED CERAMICS

Abstract

The study aimed to characterize a clayey mixture composed of weak and strong clay, together with blast furnace slag. The raw materials were analyzed by optical and scanning microscopy with determination of their plasticity and TG / DTG curves for the four formulations (mixture between the strong and weak clays and addition of 10%, 20%, 30% by weight of slag). The research indicates that the blast furnace slag, because it presents coarser particles than the clays, contributes to improve the degree of packing of the particles, favoring the drying step besides controlling the dimensions of the pieces. The results presented great importance for the ceramic industry in the production of blocks, besides indicating that the weak clay contributes to the decrease of the plasticity of the strong clay.

Keywords: Red ceramics; Characterization; Strong and weak clay; Blast furnace slag

¹ Graduanda de Engenharia de Materiais, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Ananindeua-Pa, Brasil.

² Graduação em Engenharia Metalúrgica, Doutor em Materials Science and Engineering, Professor Titular do Instituto Militar de Engenharia, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Rio de Janeiro-Rj, Brasil.

³ Graduação em Química Industrial, Doutor em Ciência dos Materiais, Conselho Superior de Ensino e Pesquisa, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Ananindeua-Pa, Brasil.

⁴ Graduação em Ciências Biológicas, Doutora em ciência dos Materiais, Coordenadora de Pesquisa, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Ananindeua-Pa, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A abundância de matérias-primas naturais, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologias são grandes responsáveis pela evolução das indústrias cerâmicas brasileiras, proporcionando variados produtos em diversos segmentos, com grande qualidade.

Argilas são aluminossilicatos, um material natural, que ao ser umedecido, adquire certa plasticidade, o que lhe proporciona propriedades únicas e ótimo desenvolvimento durante o processo de conformação [1]. Segundo Vieira (2011), as argilas mais arenosas são denominadas de "fracas" ou "magras" e as argilas menos arenosas são denominadas de "fortes" ou "gordas", e suas particularidades serão apresentadas ao decorrer da pesquisa.

A escória de alto-forno é o subproduto resultante da fusão do minério de ferro em ferro gusa, que tem suas características químicas provenientes dos fundentes adicionados à mistura e o tipo de combustível utilizado durante o processo. Esse resíduo industrial é constituído por silicatos de cálcio (Ca_2SiO_3) e de magnésio (Mg_2SiO_3) [3]. É significativo o crescimento do interesse por pesquisas sobre a utilização de escórias, logo, o emprego de escórias industriais incorporadas, tem sido estudado e confirmado sua viabilidade em aplicações cerâmicas.

Cerâmica vermelha pode-se designar com um amplo significado, compreendendo materiais empregados na construção civil e alguns de uso doméstico e afins, com coloração predominantemente avermelhada. O reaproveitamento de resíduos industriais para a elaboração da cerâmica vermelha, apresenta vantagens ambientais, econômicas e de cunho ecológico [1,5].

Neste sentido, este trabalho pretende determinar as propriedades mecânicas de uma mistura argilosa composta de argila fraca e forte incorporadas com escória de alto-forno em diferentes adições (10,20 e 30%p escória).

2 DESENVOLVIMENTO

Neste trabalho foi utilizada uma mistura argilosa composta por uma argila forte e uma argila fraca cedida por uma cerâmica localizada no município de São Miguel do Guamá (PA) e a escória de alto-forno cedida por uma siderúrgica situada no Sudeste do estado do Pará.

2.1 Preparação das massas argilosas

As massas foram preparadas da seguinte forma: houve a separação do material manualmente e posteriormente, a utilização da estufa de modelo Dimate, a $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, por 24 horas para secagem do material.

Foram utilizadas formulações a partir da mistura entre as argilas forte e fraca e adição de 10%, 20%, 30% em peso de escória de alto-forno. As massas foram homogeneizadas e umedecidas com 8% em peso de água e, em seguida, colocadas em um moinho de bolas da marca *Work Index*, série 005, por 30 minutos. Logo após, as formulações foram passadas em peneira de abertura de malha igual a 35 *mesh*.

A Tabela 1 mostra a composição das massas com a incorporação da escória de alto-forno.

Tabela 1 – As composições estudadas de AFO, de AFR e de resíduo de EAF.

Composições	Matérias-primas (%) em Peso		
	Argila Fraca	Argila Forte	Escória de alto-forno
AFO/AFR	50	50	0
AFOAFR/10EAF	45	45	10
AFO/AFR/20EAF	40	40	20
AFO/AFR/30EAF	35	35	30

2.2 Análise térmica (TG/DTG)

A análise térmica das argilas e da escória de alto-forno foi efetuada no Laboratório de Física Experimental e Computacional da UFPA utilizando o analisador térmico simultâneo, modelo STA 449 F3, da *Netzsch*, com taxa de 10°C/min de aquecimento.

2.3 Distribuição do tamanho de partícula

A análise do tamanho de partícula foi realizada no Laboratório de Engenharia Civil da UFPA e o método utilizado seguiu a norma NBR 7181/2016.

O ensaio de sedimentação utilizou 70 g da amostra em 125 ml de água destilada, adicionando 5,71 g de hexametáfosfato de sódio e 1 g de carbonato de sódio. Em seguida, agitou-se por 15 minutos.

Utilizaram-se tubos de testes, no qual o diâmetro das partículas da amostra foi calculado pela Lei de Stokes (Equação 1), em que a velocidade terminal de sedimentação depende do tamanho de partícula e viscosidade do fluido.

$$V = \frac{\rho \rho_f}{18\mu} g d^2 \quad (1)$$

Sendo:

V = velocidade terminal (m/s)

G = gravidade (m/s²)

D = diâmetro esférico equivalente de partícula (m)

ρ = massa específica do material (kg/m³)

ρ_f = massa específica do fluido (kg/m³)

μ = viscosidade dinâmica do meio fluido (N.S.m²)

2.4 Microscopia óptica (MO)

A morfologia das partículas das matérias-primas foi analisada no Laboratório de Engenharia Química da UFPA, e utilizou-se o microscópio da marca *Nikon Industrial Microscope*, modelo Eclipse LV150/LV150A.

2.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A morfologia das partículas das matérias-primas foi analisada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), no Laboratório de Engenharia Química da UFPA, utilizando o microscópio eletrônico de varredura de bancada *Hitachi Panalytical* sem TM3030.

2.6 Plasticidade

A determinação da plasticidade foi realizada através dos Limites de Atteberg, de acordo com as normas ABNT NBR 7180/2016 e ABNT NBR 6459/2016.

O Índice de Plasticidade (IP) é a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, assim como mostra a Equação 2.

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

Em que:

IP = Índice de plasticidade

LL = Limite de liquidez

LP = Limite de plasticidade

2.7 Termogravimetria (TG/DTG) das argilas e da escória de alto-forno

A Figura 1 indica a curva de TG/DTG da AFO. A figura indica um decaimento de massa da AFO, e para VIEIRA *et al.* (2004), as argilas apresentadas mostram comportamento térmico parecido, sendo basicamente diferenciadas pelo teor de perda de massa, que está associada a um menor teor de argilomineral tipo caulinita na AFR.

Observa-se nas temperaturas apresentadas, inicialmente, que existe uma perda em aproximadamente 100°C e 300°C de massa agregada à perda de água por absorção. Logo em seguida, entre 446°C e 500°C, nota-se novamente outra perda de massa. Para (CANDIDO, 2012) se atribui à desidroxilação da caulinita, que passa a se transformar em metacaulinita fase amorfa.

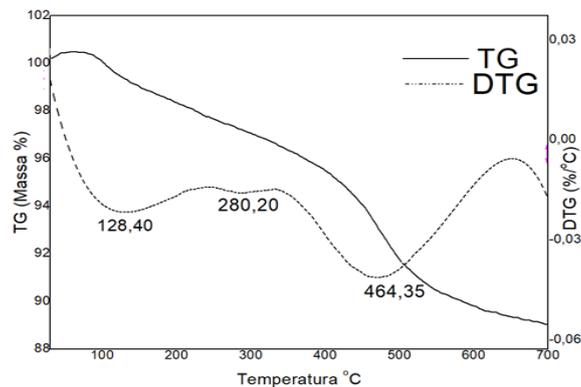


Figura 1. Curvas TG/DTG da AFO.

A Figura 2 indica a curva de TG/DTG da argila AFR, observa-se que entre 100°C a 200°C ocorre uma perda de massa, já em 500°C ocorre novamente outra perda de massa, podendo estar relacionada com a fase que se transforma em metacaulinita fase amorfa.

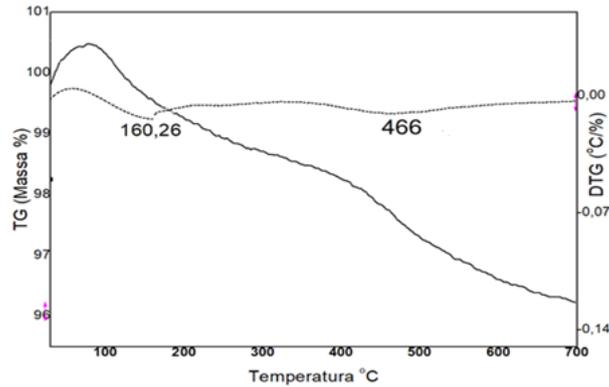


Figura 2. Curvas TG/DTG da AFR.

A Figura 3 apresenta a TG/DTG do resíduo, observa-se uma perda de massa inicial associada à absorção de água em torno de 289,09°C, em seguida, observa-se uma nova perda de massa 466,19 °C que está associada à desidroxilação da brucita, ocorrendo a decomposição dos óxidos fundentes presentes na escória de alto-forno e a formação de fase cristalina formando a fase amorfa.

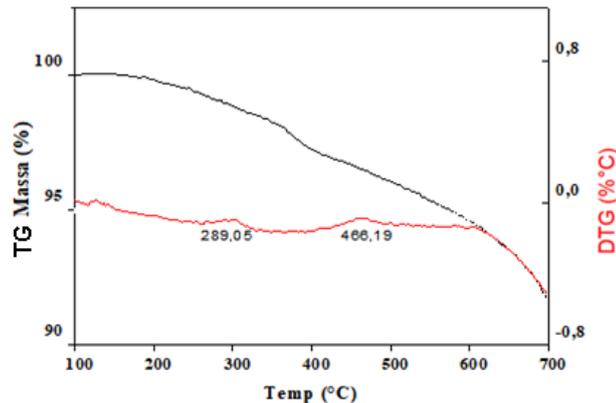


Figura 3. Curvas de TG/DTG da EAF.

2.8 Caracterização física

A Figura 4 mostra a curva de distribuição do tamanho de partícula das argilas forte e fraca. De acordo com a classificação *Internacional Society of Soil Science*, a fração argila está relacionada com partículas de tamanhos inferiores a 0,002 mm, observa-se que o teor de fração “argila” na AFO é igual a 14,24% e para argila fraca é de 7,12%.

O percentual de AFO elevado ao percentual da AFR mostra maior obtenção da plasticidade comparada à AFR. A fração silte entende-se como partículas de tamanhos entre 0,002 mm a 0,02 mm, apresentada no percentual de 45,94% para AFO, e para AFR, de 47,68%.

A fração “areia” compreende partículas com tamanhos superiores a 0,02 mm com porcentagem da AFO de 39,82%, e da AFR de 45,20%. Os resultados obtidos mostram que a mistura realizada entre as argilas enriquece o controle da plasticidade colaborando para o dimensionamento das peças.

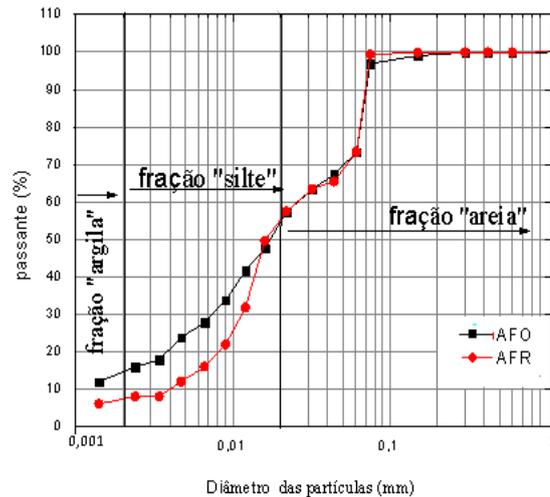


Figura 4. Distribuição do tamanho das partículas da AFO e AFR.

2.9 Distribuição do tamanho das partículas do resíduo

A Figura 5 apresenta a distribuição do tamanho de partícula da escória de alto-forno, onde observa-se que ela apresenta granulometria mais grosseira quando comparada às argilas, sendo seu teor de “fração argila” de 2%, o que confirma uma baixa plasticidade. Por apresentar partículas mais grosseiras que as argilas, a escória de alto-forno contribui para melhorar o grau de empacotamento das partículas e favorece a etapa de secagem, pois forma canais de escoamento da água corroborando na diminuição da retração de queima e controle das dimensões das peças (PINHEIRO, 2012).

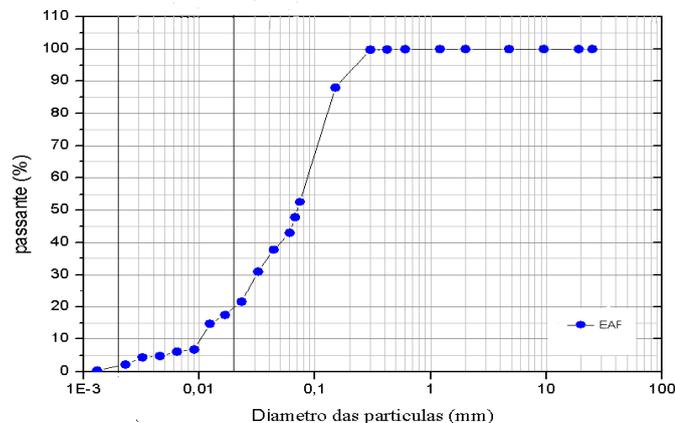


Figura 5. Distribuição do tamanho da partícula da EAF.

2.10 Distribuição de partículas das composições

A Figura 6 apresenta a distribuição de partícula das composições AFOAFR, AFOAFR10EAF, AFOAFR20EAF e AFOAFR30EAF, onde observa-se que o teor de fração “argila” na AFOAFR é igual a 45%; para AFOAFR10EAF é igual a 48%, já para AFOAFR20EAF é de 40% e para a AFOAFR30EAF é de 44%.

A fração “silte” apresenta o percentual para AFOAFR igual a 53%, para AFOAFR10EAF de 43% e para AFOAFR20EAF de 55% e para a porcentagem de AFOAFR30EAF, 49%.

A fração “areia” apresenta para AFOAFR, 2% e para AFOAFR10EAF, 9%, e para AFOAFR20EAF, 5%, e para AFOAFR30EAF, 7%.

Para CANDIDO (2012), as granulometrias das composições mostraram-se mais grosseiras que da composição AFOAFR, proporcionando mais facilidade ao processo de secagem e melhora do grau de empacotamento das cerâmicas.

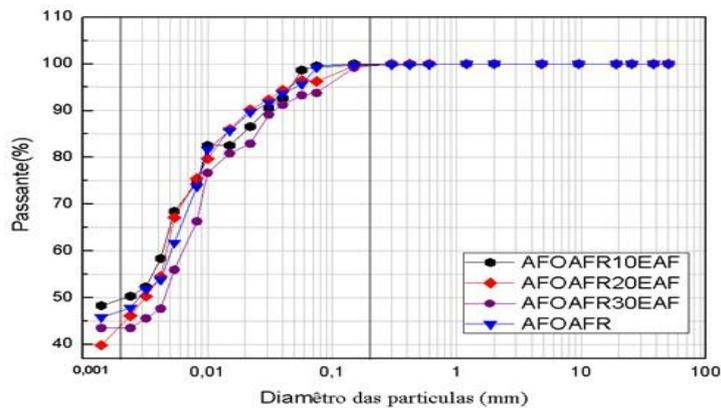


Figura 6. Tamanho de partícula das composições.

A Figura 7 mostra as matérias-primas e formulações estudadas no diagrama de Winkler. Este diagrama consiste na granulometria das argilas para determinar áreas apropriadas para fabricação de determinados produtos: ÁREA 1 tijolos maciços; ÁREA 2 blocos vazados; ÁREA 3 telhas e ÁREA 4 manilhas.

Observa-se a que a composição AFO e AFR estão localizadas abaixo da área apropriada para produção de tijolos maciços, já a EAF encontra-se em uma área com maior teor de fração, já a composição AFOAFR encontra-se localizada na área limítrofe para a produção de telhas, já as composições com adição de resíduos AFOAFR10EAF e AFOAFR20EAF estão localizadas na área 3, que é apropriada para produção de telhas. Já a composição AFOAFR30EAF está localizada na área 2, apropriada para produção de blocos.

Segundo PINHEIRO (2012), as composições estudadas apresentaram distribuições bem mais homogêneas dentro do diagrama, mesmo tendo as matérias-primas em localizações distintas. Este diagrama é realizado por meio dos resultados obtidos na granulometria das matérias-primas, concluindo-se que o aumento de resíduos nas porcentagens utilizadas forma material com granulometria grossa, adquire-se benefícios para a fabricação de produtos, como telhas e blocos de vedação com a composição AFOAFR30EAF.

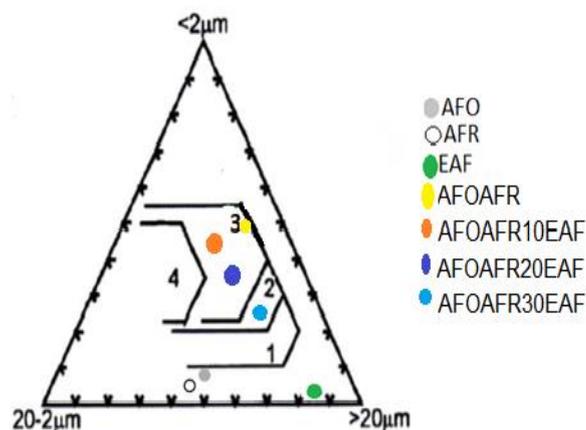


Figura 7. Diagrama de Winkler.

2.11 Caracterização morfológica

As Figuras 8 (a, b e c) apresentam as micrografias obtidas por MO das argilas fortes e fracas AFO, AFR e da EAF analisadas através da microscopia. As micrografias 8a e 8b representam as AFO e AFR, e a micrografia 8c é correspondente às partículas da EAF.

A figura 8c apresenta a micrografia óptica por MO da EAF, e pode-se notar a presença de partículas de quartzo e também partículas avermelhadas associadas a minerais ferrosos.

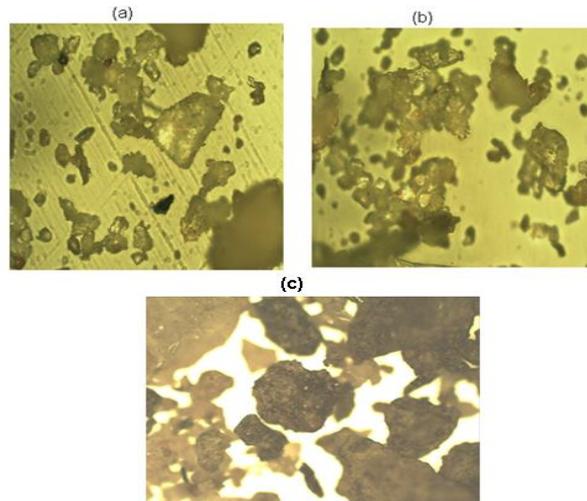


Figura 8. Micrografias realizadas por MO das argilas e do resíduo (a) AFO, (b) AFR e (c) EAF.

Nas Figuras 9 (a, b e c) têm-se as micrografias obtidas por MEV das matérias-primas AFO, AFR e EAF.

Observa-se nas Figuras 9a e 9b que se trata de um material composto por partículas finas ocasionando a formação de agregados com tamanhos variados entre ambas. Na Figura 9a, observa-se argila forte (AFO) formando agregados com mais formas compactadas, já na Figura 9b, a argila (AFR) forma agregado menos compactado (PINHEIRO, 2012).

Na Figura 9c é apresentada a escória de alto-forno após a moagem e peneiramento em malha de abertura de 30 (*mesh*), as partículas predominantes são formadas de aglomerados de formato grosseiro, densos e com formatos irregulares.

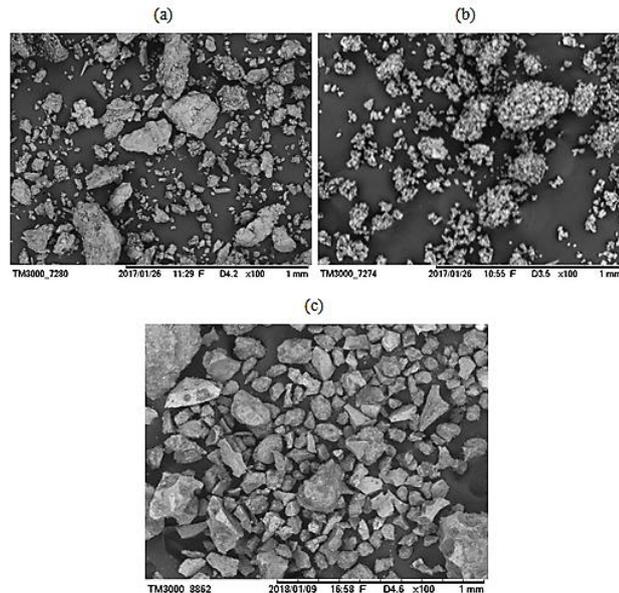


Figura 9. Micrografia obtida por MEV da (a) AFO, (b) AFR e (c) EAF.

2.12 Plasticidade

O estudo para analisar o índice de plasticidade das argilas AFO e AFR em função do teor de escória de alto-forno (EAF) adicionado em massa argilosa apresenta-se na Figura 10, e este gráfico foi implementado a partir dos Limites de Atterberg, que apresentam regiões de extrusão ótima e aceitável (CÂNDIDO, 2012).

O Limite de Plasticidade (LP) mostra a quantidade mínima de água a ser adicionada à massa cerâmica para que seja conformada. Já o limite de liquidez (LL) institui a máxima quantidade de água que a massa cerâmica pode conter para ser moldada, portanto, o índice de plasticidade é a diferença entre LL e LP indicando a faixa de consistência plástica.

De acordo com os Limites de Atterberg, apresentado no gráfico, é possível estudar o prognóstico de extrusão das matérias-primas e composições, além de observar que AFO apresenta-se em uma região acima do que é aceitável, ótima para extrusão, pois é de excessiva plasticidade.

A AFR situa-se acima da região aceitável, o que indica que essa argila tem excesso de plasticidade. Ao analisar AFO/AFR, elas se apresentam dentro da região aceitável de extrusão ótima.

A massa argilosa AFOAFR10EAF, composta por 45% em peso de argila AFO e 45% em peso de argila AFR, situa-se na extrusão ótima para moldagem de blocos, sendo de grande importância para a indústria cerâmica na produção de blocos.

A composição AFOAFR20EAF ficou situada na região de extrusão aceitável, indicando que a argila AFR contribui para a diminuição da plasticidade da AFO.

A massa com AFOAFR30EAF encontra-se fora dos limites de extrusão aceitável com baixo índice de plasticidade, sendo assim, apresenta certa dificuldade para moldar peças apropriadas à indústria.

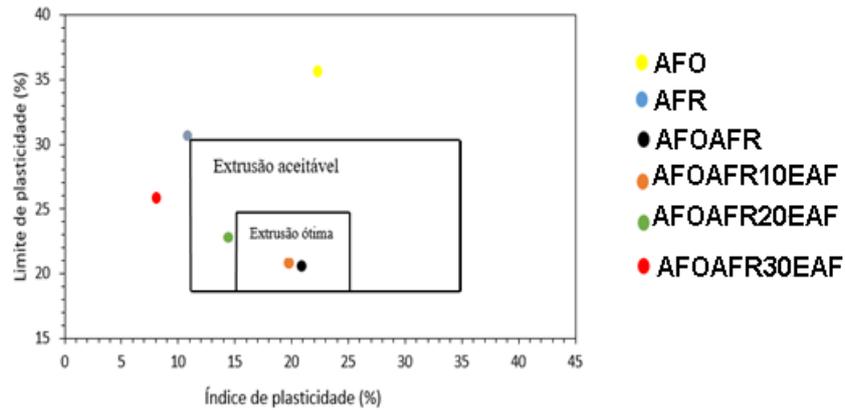


Figura 10. Prognóstico de extrusão por meio dos Limites de Atterberg

3 CONCLUSÃO

O estudo das propriedades das argilas forte e fraca com adição de escória de alto-forno mostrou que:

- Os resultados obtidos na curva de distribuição do tamanho de partícula fração argila mostram que a mistura realizada entre as argilas enriquece o controle da plasticidade colaborando para o dimensionamento das peças.
- A distribuição do tamanho de partícula apresenta que a escória de alto-forno possui granulometria mais grosseira se comparada as argilas, contribuindo assim para melhorar o grau de empacotamento das partículas e favorecer a etapa de secagem.
- Pelo diagrama de Winkler é possível notar que AFOAFR10EAF e AFOAFR20EAF são apropriadas para produção de telhas e AFOAFR30EAF para produção de blocos.
- De acordo com os Limites de Atterberg, apresentado no gráfico, é possível observar que AFO apresenta-se em uma região acima do que é aceitável, ótima para extrusão, devido à excessiva plasticidade.
- Ainda de acordo com os Limites de Atterberg, a composição AFOAFR20EAF, indica que a argila AFR contribui para a diminuição da plasticidade da AFO.

REFERÊNCIAS

- 1 Abceram. Associação Brasileira de Cerâmica. <http://www.abceram.org.br>. Acesso em 02/06/19.
- 2 Alves JO, Espinosa DCR, Tenório JAS. Estudo do comportamento em altas temperaturas de resíduos industriais. Tecnologia em metalurgia, materiais e mineração. 2016; 13 (2).
- 3 Candido VS. Utilização de argilito e chamote de blocos de vedação na composição de massa de pavimento intertravado cerâmico – adoquim. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharias de Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense. Rio de Janeiro, 2012.
- 4 Casllister WD, Rethwisch DG. Ciência e engenharia de materiais, uma introdução. 9ª Ed., 2016.

- 5 Nogueira NO, Tomaz MA, Andrade FV, Reis EF, Brinate SVB. Influência da aplicação de dois resíduos industriais nas propriedades químicas de dois solos cultivados com café arábica. *Ciência agrômica*. 2012; 34 (1).
- 6 Pinheiro RM. Desenvolvimento de pavimento argiloso extrudado adoquim cerâmico. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes. 2012.
- 7 Vieira CMF, Monteiro SN, Sales HF. Efeito da adição de argila fundente ilítica em cerâmica vermelha de argilas caulínicas. *Cerâmica*. 2004; 50.
- 8 Vieira CMF, Pinheiro RM. Avaliação de argilas caulínicas de campos dos goytacazes utilizadas para fabricação de cerâmica vermelha. *Cerâmica*. 2011; 57 (343).