

Utilização de matérias primas argilosas no desenvolvimento de materiais cerâmicos especiais: Parte I - Caracterização

R. Alves Junior^{1*}, R. P. S. Dutra¹, L. F. A. Campos¹, H. S. Ferreira¹, R. M. Nascimento², S. J. G. Lima¹

¹Departamento de Engenharia de Materiais – Universidade Federal da Paraíba

Campus Universitário I, CEP: 58051-900, João Pessoa - PB.

²Departamento de Engenharia de Materiais – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Campus Lagoa Nova, CEP: 59078-970, Natal RN.

(Recebido em 13/07/2012; revisado em 09/08/2012; aceito em 15/08/2012)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo:

Este trabalho estuda o desenvolvimento de um novo tipo material com função térmica e acústica, para ser utilizado pelo setor da construção civil. Esse material, conformado por prensagem, será constituído por duas camadas: uma camada interna, de elevada porosidade e com função de isolante, e uma camada externa, caracterizada por baixa porosidade, a qual tem função estética e mecânica. Para o desenvolvimento deste material foi necessária à caracterização de diferentes matérias primas argilosa. Foram coletadas cinco diferentes amostras do litoral paraibano as quais foram caracterizadas com os seguintes ensaios: análise química, análise granulométrica, índice de plasticidade e análise térmica. Além disso, a massa específica aparente, a porosidade aparente e a retração linear das amostras queimadas foram determinadas. Os resultados apontam que as amostras estudadas apresentam características diversificadas, e sugere a amostra denominada por amostra 4 para compor a parte externa do material e a amostra 1, por possuir elevada porosidade e a alta temperatura de sinterização para ser utilizada na parte interna do material.

Palavras-chave: Argilas; caracterização; isolante.

Abstract:

This paper proposes the development of a new type material with thermal and acoustic function, to be used by the construction industry. This material, formed by pressing, is composed of two layers: an inner layer with high porosity and an insulating function, and an outer layer, characterized by a low porosity, which has mechanical and aesthetic function. To develop this material was necessary to characterize different raw clay materials. Five different samples were collected from the coast of Paraíba which were characterized with the following tests: chemical analysis, particle size distributions, plasticity index and thermal analysis. In addition, the density, apparent porosity and shrinkage of the fired samples have been determined. The results show that the samples have different characteristics and suggests the sample 4 to form the outer material and the sample 1, due to high porosity and high temperature sintering to be used inside the material.

Keywords: Clays; characterization; insulating.

1. Introdução

O conhecimento das exigências humanas quanto ao conforto ambiental e do clima, associado às características térmicas dos materiais, proporcionam condições de projetar edificações com isolamento térmico e acústico que atendam às exigências de conforto do ser humano. Um isolamento adequado dos ambientes de uma edificação proporciona um conforto térmico, o qual depende de um complexo processo de troca de calor entre a edificação e o ambiente externo. Este processo depende, entre outros fatores, das propriedades dos

materiais e componentes, da insolação, da ventilação e da inércia térmica.

Neste contexto, este trabalho propõe contribuir para a melhoria da qualidade e da tecnologia de desenvolvimento de materiais para alvenarias, com o desenvolvimento de um novo tipo produto, com função térmica e acústica, para ser utilizado pelo setor da construção civil. Este novo produto denominado por “tijolo cerâmico com dupla camada”, será desenvolvido por conformação por prensagem, constituído por uma camada interna de elevada porosidade, com função de isolamento, e uma camada externa caracterizada pela baixa porosidade, a qual tem função estética e mecânica.

*Email: rubensalves.jr@hotmail.com (R. Alves Junior)

Para obtenção do material proposto com propriedades adequadas, é necessário caracterizar e escolher os materiais que farão parte de cada camada do produto. Caracterizar esses materiais é conhecer a variabilidade de suas propriedades, utilizando-se de técnicas comuns, como as usadas para medir propriedades físicas e mecânicas, ou mais sofisticadas, como é o caso da fluorescência de raios X [1].

Atualmente, as principais e mais utilizadas técnicas de caracterização são: análise química, análise mineralógica, análise térmica, análise granulométrica, além de propriedades tecnológicas que refletem os resultados do tratamento térmico como a retração linear, porosidade aparente, absorção de água e resistência mecânica [2]. A análise química consiste em determinar a composição de uma matéria prima, fornecendo os percentuais de óxidos presentes e também os valores de perda ao fogo [3]. Essa análise pode ser realizada através de métodos químicos ou físicos. O método mais utilizado é o método realizado por meio da fluorescência de raios X. Atualmente a fluorescência de raios X é frequentemente utilizada para determinar a composição química de matérias primas e materiais cerâmicos por ser um método rápido, preciso e não-destrutivo. Já a análise granulométrica não se pretende mais do que analisar o tamanho das partículas de uma determinada amostra e a forma como elas se distribuem nessa mesma amostra. Uma das técnicas mais utilizadas atualmente é através do Espalhamento de Luz Laser de Baixo Ângulo - LALLS (LowAngle Laser Light Scattering), que consiste em fazer passar um laser pela amostra das partículas e recolher os dados da intensidade de luz em diferentes ângulos de distribuição. A distribuição do tamanho das partículas é obtida através da comparação das diferentes intensidades de luz nos diferentes ângulos [4]. Enquanto que, a análise térmica pode ser entendida como um grupo de técnicas onde uma propriedade de uma substância é medida em função da temperatura, enquanto a amostra é submetida a uma programação controlada de temperatura e sob uma atmosfera especificada [5]. Dentre várias técnicas de análise térmica as mais utilizadas são a análise termogravimétrica, a qual analisa a variação de massa de uma amostra em função da temperatura e/ou do tempo, onde a amostra é submetida a uma taxa controlada de temperatura; e análise térmica diferencial (DTA) que verifica a variação de entalpia da amostra em relação à temperatura [5]. As propriedades

tecnológicas têm como principal objetivo complementar os resultados dos ensaios de caracterização tradicional, além de indicar as condições ideais de processamento cerâmicos [1]. Já para caracterizar corpos-de-prova cerâmicos no que se refere à resistência mecânica é indicada o ensaio de flexão que consiste na aplicação de uma carga no centro de um corpo-de-prova específico apoiado entre apoios [6].

Este trabalho tem como objetivo principal caracterizar matérias primas argilosas extraídas do litoral paraibano, que serão utilizadas no desenvolvimento de materiais cerâmicos denominados por tijolos de dupla camada, a fim de indicar os materiais mais adequados para compor as partes internas e externas dos produtos a serem desenvolvidos.

2. Materiais e Métodos

Para caracterizar as matérias primas argilosas foram coletadas cinco diferentes amostras do litoral paraibano, obtidas de diferentes jazidas. O procedimento de caracterização das amostras para serem caracterizadas, iniciou-se com a secagem naturalmente, por sete dias, ao ar livre, seguida de destorroamento, por meio de dois processos: inicialmente as amostras foram colocadas em um moinho de bolas, durante trinta minutos, sem função de moer, tendo em vista que foi colocada uma elevada quantidade de material para uma pequena quantidade de bolas. Logo em seguida o material que não tinha desaglomerado foi destorroado manualmente em um almofariz de porcelana. Em seguida, as amostras foram passadas em peneiras ABNT, em quantidades suficientes para às necessidades das caracterizações subsequentes, ou seja, na abertura de 40 *mesh* o material foi destinado aos ensaios tecnológicos, as análises granulométricas e para a determinação dos índices de plasticidade. As amostras passadas na peneira de abertura de 200 *mesh* foram preparadas para os ensaios de fluorescência de raios X e análises térmica. Após destorroamento e peneiramento as amostras foram colocadas em uma estufa elétrica à 110°C, por 24h, para secar. Em seguida, as amostras foram pesadas e armazenadas em recipientes apropriados e submetidos aos ensaios de caracterização conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Ensaios, equipamentos e local de realização do ensaio

Ensaios	Equipamentos	Local de realização do ensaio
Fluorescência de raios X	XRD – SIEMENS D5000	Laboratório de solidificação rápida - UFPB
Distribuição de tamanho de partícula	Granulômetro a Laser Cilas 930	Laboratório de Cerâmica - UFRN
Análise Térmica (DTA e DTG)	Analisar TG/DTA SHIMADZU DTG - 60H	Laboratório de solidificação rápida - UFPB
Determinação do índice de plasticidade	Método Casagrande	Laboratório de solidificação rápida - UFPB
Propriedades tecnológicas	Prensa, estufa e forno	Laboratório de solidificação rápida - UFPB

Para a determinação das propriedades tecnológicas, que tem como propósito complementa a caracterização das matérias primas, foram conformados 15 corpos de prova para cada matéria prima para serem submetidos a três diferentes temperaturas. Os corpos de prova foram conformados pela técnica de prensagem uniaxial, em uma prensa hidráulica, com uma carga máxima de cinco toneladas. Para tanto foi necessário à utilização de uma matriz rígida metálica retangular. A umidade utilizada para conformação dos corpos de prova foi de 8%.

Na queima dos corpos de provas foram utilizadas as temperaturas de 850°C, de 950°C e de 1050°C, e uma taxa de aquecimento de 3°C/min, em um forno elétrico. Subsequentemente ao resfriamento todas as amostras tiveram suas dimensões medidas. Com os corpos-de-prova queimados, os mesmos foram imersos em água, permanecendo por 24h. Posteriormente, foi medida a massa imersa (P_I) e saturada (P_{SAT}) de todas as amostras. Para verificar a resistência mecânica dos corpos-de-prova foi realizado o ensaio de flexão de três pontos, utilizando uma velocidade de ensaio de 0,5mm/min, em um equipamento da Shimadzu, modelo Autograph AG-X.

3. Resultados e Discussão

Com o resultado da análise química foi possível detectar os elementos que constituíntes das amostras, ou seja, uma análise qualitativa, bem como a porcentagem de cada elemento, caracterizando também uma análise semi-quantitativa.

Conforme mostra a Tabela 2, observa-se uma grande quantidade de óxido de silício, alumínio e ferro o que é característico dos argilominerais. As grandes quantidades de sílica (SiO_2) presente nas amostras indicam a presença de silicatos e sílica livre. Os silicatos são dos argilominerais, as micas e os feldspatos. A sílica livre normalmente está presente como quartzo. Já o óxido de alumínio (Al_2O_3) que aparece em grande quantidade, provavelmente encontra-se em sua maior parte combinado, formando os argilominerais do grupo da caulinita. Enquanto que às presenças de óxido de cálcio (CaO) e de magnésio (MgO) nas amostras evidencia a provável presença de calcita, dolomita. Com relação ao teor de óxido de ferro (Fe_2O_3) presente, sendo este o principal responsável por proporcionar coloração avermelhadas ao produto, é possível verificar que todas as amostras apresentaram cores avermelhadas após a queima.

A análise granulométrica e índice de plasticidade das amostras encontram-se nas Tabelas 3 e 4, respectivamente. Com relação às características granulométricas, a amostra 3 é a que apresenta maior tamanho médio de partículas (137,01 μ m). Esta quantidade elevada de partículas maiores é coerente com a determinação da plasticidade, em que a amostra 3 não apresentou nenhuma plasticidade, provavelmente por ter uma fração de materiais argilosos baixa. O fato de não ter plasticidade fez com que a amostra 3 não pudesse ser moldada para determinação das propriedades tecnológica. Esse tamanho de partícula da amostra 3, também está associado aos elementos constituintes, que foram

apresentados na Tabela 2, podendo ser observado que a amostra 3 possui maior quantidade de SiO_2 , e provavelmente maior quantidade de quartzo. Já a amostra 4, como tem partículas de baixo diâmetro, tem uma altíssima plasticidade, podendo ser formulada com outros materiais de menos plasticidade. As amostras 1, 2 e 5 têm partículas com diâmetros intermediários, 20,75 μ m, 66,54 μ m e 50,04 μ m, respectivamente, apresentando também média plasticidade, com índices de plasticidade superiores a 7% e inferiores a 15%.

Tabela 2. Elementos constituintes e suas proporções

	Amostras (% em peso)				
	1	2	3	4	5
SiO_2	60,46	62,43	65,78	59,38	61,15
Al_2O_3	19,61	19,27	15,87	20,17	19,07
Fe_2O_3	8,39	7,32	4,88	10,37	8,14
K_2O	3,22	3,02	3,22	2,73	3,07
MgO	3,12	2,57	2,24	2,96	3,01
CaO	2,40	2,61	4,54	1,59	2,55
TiO_2	1,17	1,10	0,86	1,59	1,16
Na_2O	0,89	0,95	1,77	0,80	1,07
P_2O_5	0,22	0,20	0,18	0,18	0,20
BaO	0,15	0,12	0,12	0,13	0,13
MnO	-	0,10	-	0,10	0,13
ZrO_2	-	-	0,16	-	-
SO_3	-	-	0,11	-	-
Outros	0,37	0,31	0,27	0,02	0,32

Tabela 3. Distribuição granulométrica das amostras

	Amostras				
	μ m				
	1	2	3	4	5
10% das partículas	>2,52	>3,21	>8,70	>1,39	>2,54
20% das partículas	>13,33	>24,23	>130,77	>5,83	>14,86
50% das partículas	>52,23	>186,61	>267,44	>15,79	>162,00
Diâmetro médio	20,75	66,54	137,01	7,47	50,04

Tabela 4. Valores de limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade

	LL	LP	IP
Amostra 1	40,0	28,9	11,1
Amostra 2	27,2	17,7	9,5
Amostra 3	ND*	ND*	NP e NL**
Amostra 4	57,7	30,9	26,8
Amostra 5	32	19,6	12,4

*Não determinado **Não líquido e não plástico

A Figura 1 representa a curva termogravimétrica e a análise térmica diferencial das amostras 1, 2, 3, 4 e 5

Observando essas curvas de análise térmica, pode-se notar que todas as amostras têm o mesmo comportamento. Nas curvas de termogravimetria, nota-se que todas as amostras têm um pequeno declínio nas temperaturas próximas

a 100°C, que é devido à perda de água adsorvida. Observa-se também que as amostras tem uma quantidade de perda de massa diferentes umas das outras, nas mesmas temperaturas, 110°C a 590°C. Entretanto é importante salientar que a amostra 3 foi a que teve a menor perda de massa (1,25%), que condiz com índice de plasticidade da mesma. Já amostra 4 foi a que teve a maior perda de massa (7%), que também condiz com o índice de plasticidade, pois a amostra 4 é a amostra

que contém a maior quantidade de argilominerais. Tal fato, também estar evidenciado na curva DTA, pois ela é a amostra que mais absorve energia para as transformações, cerca de -18 mV. Enquanto que as amostra 1, 2 e 5 que são as classificadas como meramente plástica também teve uma perda de massa mediana, quando comparadas com as demais.

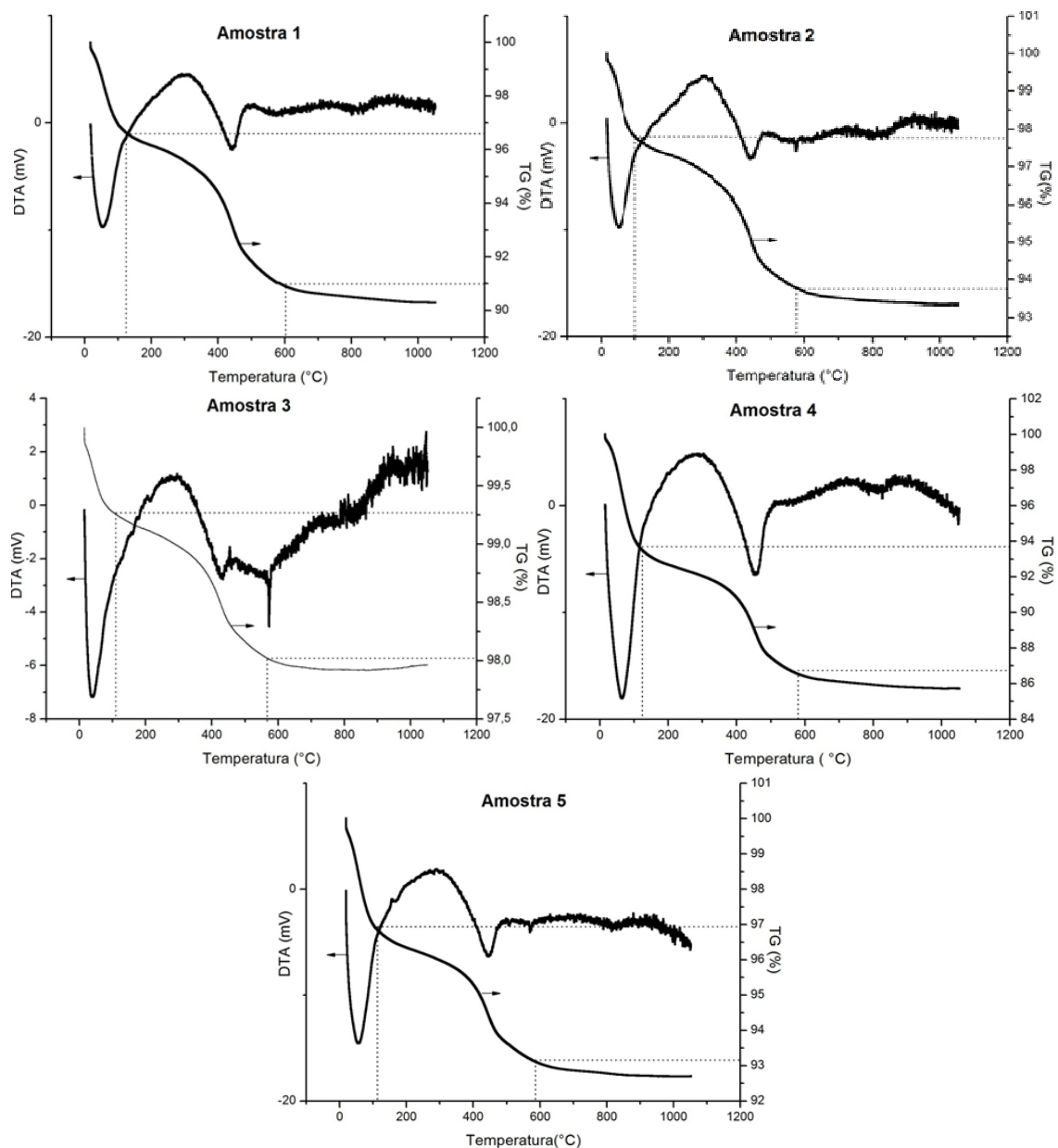


Figura 1. Análise termogravimétrica e análise térmica diferencial das amostras

Observando-se as curvas do DTA, nota-se que as amostras também possuem o mesmo comportamento, isto é, todas elas têm um pico endotérmico nas temperaturas próximas a 100°C, que representa a perda de água também mostrada na curva TG, e uma sequência de pico, endotérmico

e exotérmico entre 300 e 450°C. Entretanto é importante chamar a atenção para a curva de DTA da amostra 3, pois, os picos endotérmicos que acontecem nessa amostra não ultrapassam a marca de -8mV, o que condiz com a baixa perda de massa dessa amostra. Enquanto que as outras

amostras ultrapassam a marca de -10mV e tem uma perda de massa maior. Assim, com base nessa e nas caracterizações acima delineadas pode-se afirmar que a amostra 3 tem um menor percentual de argilominerais.

As principais propriedades físicas de um corpo cerâmico são a Retração Linear (RL), a Absorção de Água (AA) e a Porosidade Aparente (PA). Por isso, essas propriedades foram medidas para três diferentes temperaturas. Os cálculos dessas propriedades foram determinados pelas seguintes equações:

$$PA(\%) = \frac{P_{SAT} - P_S}{P_{SAT} - P_T} * 100 \quad (A)$$

$$AA(\%) = \frac{P_{SAT} - P_S}{P_{SAT}} * 100 \quad (B)$$

$$RL(\%) = \frac{L_S - L_Q}{L_Q} * 100 \quad (C)$$

onde L_S é o comprimento inicial da peça após a etapa de moldagem e L_Q o comprimento da peça após a etapa de queima. P_S é o peso da peça seca.

A resistência à flexão (RF) expressa a tensão máxima em um material não-dúctil como sendo na fibra externa, num carregamento em três pontos. Neste caso, a resistência mecânica se calcula a partir da equação (D).

$$RF (MPa) = \frac{3FL}{2bd^2} \quad (D)$$

onde, F é a força de ruptura, b e d são as dimensões de seção transversal e L é a distancia entre os apoios.

A Tabela 5 apresenta a retração linear (RL), a absorção de água (AA), a porosidade aparente (PA) e a resistência à flexão (RF) de todas as amostras quando submetidas a queima em três diferentes temperaturas.

Com base nos valores da Tabela 5, observa-se que à medida que a temperatura de sinterização aumenta a retração linear também aumenta, exceto nas amostras 2 e 5 que tem uma expansão linear quando sinterizada a 850 e 950°C. Este comportamento da retração linear aumentar com o aumento da temperatura é bastante notório na amostra 4, que na temperatura de 850°C tem uma retração de 1,60% e na temperatura de 950°C sobe esta retração para 3,03% e quando chega na temperatura de 1050°C atinge o patamar de 7% de retração. Essa grande retração é reflexo da grande quantidade de argilominerais que a amostra contém.

Tabela 5. Valores médios de retração linear, absorção de água, porosidade aparente e resistência mecânica das amostras

		RL (%)	AA (%)	PA (%)	RF (MPa)
850°C	Amostra 1	0,27	12,42	25,36	9,48
	Amostra 2	-0,28	11,16	23,04	4,08
	Amostra 4	1,60	12,75	25,78	5,53
	Amostra 5	-0,10	9,96	20,98	5,76
	Amostra 1	0,79	7,87	14,11	12,99
950°C	Amostra 2	-0,29	11,73	23,49	3,67
	Amostra 4	3,03	8,62	18,30	21,97
	Amostra 5	-0,09	9,95	20,91	5,34
	Amostra 1	3,00	7,67	16,63	14,15
	Amostra 2	0,22	10,60	21,71	3,84
1050°C	Amostra 4	7,92	2,09	5,09	22,29
	Amostra 5	0,46	7,11	21,06	5,54

A absorção de água e a porosidade aparente estão diretamente ligadas, e fica bem nítido na Tabela 5, pois quando a quantidade de poros abertos da amostra aumenta a absorção de água da mesma também aumenta. Isto é bastante intuitivo, porque quanto maior a quantidade de poros abertos maior vai ser a facilidade de o corpo cerâmico absorver água. Tal afirmação fica comprovada em todas as amostras.

Também é possível notar na Tabela 5 que à medida que temperatura de sinterização aumenta a absorção de água diminui. Este fenômeno pode ser explicado, levando em consideração que à medida que a temperatura de sinterização aumenta a porosidade do material diminui e, conseqüentemente, a absorção de água diminui. Se observar a amostra 4, por exemplo, ela tem uma porosidade aparente de 25%, quando sinterizada a 850°C e uma porosidade de 5%. Quando sinterizada a 1050°C, isto reduz a absorção de água

em mais de 83%. A redução da porosidade reflete diretamente na retração linear, pois com a redução dos espaços vazios menor vai ser as dimensões lineares da amostra. Este fato também fica evidente em todas as amostras, principalmente na amostra 4.

Com relação à resistência mecânica, observa-se que os corpos de prova sinterizados a 850°C, não tiveram uma grande resistência à flexão, devido a sua baixa temperatura de sinterização e a alta quantidade de poros existentes. À medida que a temperatura de sinterização aumentou a resistência dos corpos de prova também aumentou, pois com o aumento da temperatura a quantidade de poros diminuiu e conseqüentemente a resistência aumenta. A amostra 4 quando sinterizada a temperaturas mais altas, maior foi a sua resistência: a 850°C ela tinha uma resistência máxima de 5,53

MPa, quando sinterizada a 1050°C a sua resistência máxima passa a ser 22,29 MPa, a maior resistente de toda as amostras.

Já a amostra 2 e 5 não teve mudanças consideráveis na sua resistência com o aumento da temperatura de queima. Isto está associado à porosidade da amostra, mostrado na Tabela 5, pois mesmo com o aumento da temperatura não houve um grande decréscimo na porosidade. Enquanto que a amostra 1, teve um crescimento gradativo com o aumento da temperatura, saiu de 9,48 MPa em 850°C para 14,15 MPa em 1050°C.

4. Conclusões

De acordo com os resultados obtidos na caracterização das matérias primas pode-se afirmar que a amostra 3 não pode ser conformada devido a baixa concentração de argilominerais e conseqüentemente falta de plasticidade. Essa matéria-prima pode ser adicionada e formulada com outra matéria prima de elevada quantidade de argilominerais, a exemplo da matéria-prima denominada, neste trabalho, por amostra 4. As amostras 1, 2 e 5 têm propriedades interessantes e são indicadas para moldagem por prensagem direta sem a necessidade de serem formuladas com outras matérias primas. A amostra 4 apresenta propriedades importantes para a utilização em materiais não porosos, pois quando queimado a temperatura de 1050°C a sua porosidade cai bastante e a resistência mecânica aumenta consideravelmente.

Com isso, pode-se concluir que a amostra mais indicada para compor a parte externa do tijolo de dupla camada é a amostra 4, enquanto a amostra 2 possui características interessantes para ser utilizada na parte interna do produto, como a elevada porosidade e a alta temperatura de sinterização.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de iniciação científica concedida e ao Laboratório de Solidificação Rápida - LSR-UFPB pela viabilização das análises.

Referências

- [1] Souza Santos, P. Ciência e tecnologia de argilas. 2ª Edição revisada e ampliada. Volume 1. Editora Edgard Blucher, 1989.
- [2] Barba, A.; Beltrán, V., Feliu, C., García, J, Gínes, F., Sánchez, E., Sanz, V. Materias primas para La fabricación de soportes de baldosas cerâmicas. Instituto de Tecnologia Cerámica.Castellón, 2007.
- [3] Emiliani, G.P. Corbara, F. Tecnologia cerâmica. Volume 1. Editoria Faenza Editrice, 1999.
- [4] Caputo, H. P. Mecânica dos solos e suas aplicações fundamentais. Livros Técnicos. Volume 1. Rio de Janeiro, 1994.
- [5] Canevarolo Jr., S. V. Técnicas de Caracterização de Polímeros. Editora Artliber. São Paulo, 2003.
- [6] Garcia, A., Spim, J. A., Santos, C. A. – Ensaio dos Materiais. [Reimpr.]. Editora LTC. Rio de Janeiro, 2000.
- [7] Jackson, M.L. e Mackenzie, R. C. Chemical Analysis in the Quantitative Mineralogical Examination of Clays, Soil Clay Mineralogy, University of North Carolina Press. Raleigh. Carolina do Norte. EUA, 1964.
- [8] J. Rawet, P. S. Santos. Cerâmica 26. Editora Edgard Blucher, 1980
- [9] Callister, W. D. J. Materials science engineering: an introduction. 7ª Edição. Editora LTC. New York, 1991.
- [10] Campos, L. F. A., Macedo, R. S., Kiyohara, P. K., Ferreira, H. C. Características de plasticidade de argilas para uso em cerâmica vermelha ou estrutural. Cerâmica, v. 45, p. 295-302,1999.
- [11] Ramos, S. O., Macedo, R. S., Cartaxo, J. M., Menezes, R. R., Navarro, L. N. L., Neves, G. A., Caracterização de argilas usadas para cerâmica estrutural, Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 5.3, p. 65-70, 2010.
- [12] Dutra, R. P. S., Araújo Pontes, L. R., Obtenção e análise de cerâmicas porosas com a incorporação de produtos orgânicos ao corpo cerâmico, Cerâmica, v. 48, p. 223-230, 2002.