

## ESTUDO DOS ASPECTOS QUÍMICOS E MINERALÓGICOS DO FOLHELHO PARA UTILIZAÇÃO NO SETOR CERAMISTA

TALITA FERNANDA CARVALHO GENTIL<sup>1</sup>, HAILLA VICTÓRIA SILVA BATISTA<sup>2</sup>, JANDER LOPES FONSECA<sup>3</sup>, JONEI MARQUES DA COSTA<sup>4</sup> e TERCIO GRACIANO MACHADO<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Me. Geóloga, IFBA, Jacobina-BA, talita.gentil@ifba.edu.br;

<sup>2</sup>Técnica em Mineração, IFBA, Jacobina-BA, hailla.hv.hvr@gmail.com;

<sup>3</sup>Graduando em Engenharia de Materiais, UFS, Aracaju-SE, jander929@gmail.com;

<sup>4</sup>Dr. Engenheiro de Minas, IFBA, Jacobina-BA, jonei.costa@gmail.com;

<sup>5</sup>Dr. Engenheiro Mecânico, IFRN, Natal-RN, tercio@ifba.edu.br;

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC  
15 a 17 de setembro de 2021

**RESUMO:** Os folhelhos são originados de rochas expostas ao intemperismo e erosão, sendo os sedimentos detríticos depositados em áreas baixas e planas dos continentes e oceanos. Com o acúmulo dos depósitos sedimentares, os mais antigos vão sendo soterrados em profundidade, ocorrendo então a diagênese, ou litificação (processo de transformação de sedimento em rocha). O objetivo deste estudo foi caracterizar a argila da região de Miguel Calmon - BA, assim como fazer material compósito entre essa argila e o folhelho coletado da Bacia Sergipe-Alagoas, com o intuito de confecção de tijolos cerâmico, para serem utilizados na indústria civil. As formulações preparadas das amostras consistiram em diferentes concentrações em massa de argila e folhelho (10%, 20% e 30%) e uma formulação contendo 100% de argila. Após preparação e a secagem, as amostras foram sintetizadas a 800°C e 900°C durante 60 minutos, com taxa de aquecimento de 10°C/min. Depois da etapa de queima foram realizados os ensaios tecnológicos de Absorção de Água, Porosidade Aparente e Retração Linear. Com as análises e suas interpretações realizadas, foi possível obter que, as amostras com 10% de folhelho incorporado na massa cerâmica, nas temperaturas estudadas, apresentaram os melhores resultados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Caracterização Tecnológica, Reutilização Mineral, Cerâmica.

### MAPPING OF THE PEDOLOGICAL POTENTIAL OF THE PARAÍBA STATE FOR THE CULTIVATION OF SUGAR CANE (*Saccharum spp*)

**ABSTRACT:** Shales originate from rocks exposed to weathering and erosion, with detrital sediments deposited in low, flat areas of continents and oceans. With the accumulation of sedimentary deposits, the oldest ones are buried in depth, then diagenesis, or lithification (process of transformation of sediment into rock) occurs. The objective of this study was to characterize the clays of the Miguel Calmon region - BA, as well as to make composite material between these clays and the shales (Sergipe-Alagoas Basin), for making ceramic bricks, to be used in the civil industry. The formulations prepared from the samples consisted of different mass concentrations of clays and shale (10%, 20% and 30%) and a formulation containing 100% clay. After preparation and drying, samples were synthesized at 800°C and 900°C for 60 minutes, with a heating rate of 10°C/min. After the firing stage, the technological tests of Water Absorption, Apparent Porosity and Linear Shrinkage were carried out. With the analyzes and their interpretations carried out, it was possible to obtain that the samples with 10% of shale incorporated in the ceramic mass, at the temperatures studied, presented the best results.

**KEYWORDS:** Technological Characterization, Mineral Reuse, Ceramics.

### INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo, o desenvolvimento de pesquisas tem sido dedicado ao estudo da reutilização de resíduos das indústrias de mineração e processamento de minério como matérias-

primas alternativas para a indústria tradicional de cerâmica (Menezes et al., 2007). No entanto, devido ao grande volume e variedade de minerais no país, basicamente os mesmos estão concentrados na incorporação de massa cerâmica.

O estudo da utilização de minerais, rochas e seus resíduos para incorporação em massa cerâmica, bem como a questão ambiental global como um todo passou a ter grande importância, visto que, o nosso planeta cada vez mais vem descartando enorme quantidade de resíduos. Como exemplo, a indústria da construção civil, a nível mundial, teve forte desenvolvimento tecnológico nos últimos 30 anos, onde o avanço dos materiais especiais, de novas tecnologias e métodos de construção e, em especial, do conhecimento da ciência dos materiais, permitiu, através da combinação desses diferentes conhecimentos, o forte desenvolvimento da tecnologia e consequente incremento da produção dos materiais ecologicamente corretos (Machado, 2012).

Ao parar e pensar em todas essas questões, percebemos que o setor da construção civil e ceramista necessita adaptar-se rapidamente aos novos conceitos de desenvolvimento sustentável, assim, como relata Brito (2012), devemos buscar alternativas para um planeta ambientalmente mais protegido e atendendo as premissas da chamada “engenharia verde”, onde o desenvolvimento de produtos eco-eficientes e ambientalmente corretos são fundamentais na prossecução desses objetivos.

A principal proposta deste trabalho é caracterizar quimicamente e mineralogicamente folhelhos da Bacia Sergipe-Alagoas, procurando avaliar a importância da utilização dessa rocha como material para cerâmica e verificar a viabilidade técnica e econômica da utilização dos mesmos na produção de peças cerâmicas estruturais de baixo custo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para alcançar êxito em relação aos objetivos principais do presente estudo, a metodologia aplicada a essa pesquisa apresenta uma série de procedimentos rotineiros. Estes procedimentos foram executados dentro de um cronograma dividido em sete etapas:

**I) Revisão Bibliográfica:** consiste no estudo da compilação bibliográfica para melhor entendimento da pesquisa; **II) Visita Técnica:** consistiu na aquisição *in locu* das matérias-primas a serem estudadas; **III) Preparação de amostras:** as matérias-primas foram inicialmente colocadas em estufa por 24 h com temperatura de 60°C, eliminando-se a água superficial. Após, realizou-se alguns procedimentos, como: Classificação e Cominuição - esse processo refere-se à desagregação da argila realizada à seco, manualmente num almofariz com pistilo. Já para o folhelho, processou-se a seco em moinho de bolas por 24 h. Em seguida, utilizou-se o almofariz com pistilo para desaglomerar o material formado. Peneiramento – o peneiramento da argila e do resíduo mineral foi realizado em uma peneira com malha de 200 mesh, equivalente à peneira ABNT nº 200 (0,075 mm). Após, a argila e o folhelho foram acondicionados em sacos plásticos; **IV) Caracterização Tecnológica:** a composição química das matérias-primas foi obtida por fluorescência de raios-x (FRX) em um espectrômetro Shimadzu (EDX-720/800 HS). E, a análise mineralógica foi realizada por difração de raios-x (DRX) em um difratômetro Shimadzu (DRX-7000); **V) Preparação dos Corpos de Provas:** a formulação dos corpos de prova foi concretizada via procedimento experimental prático, com o intuito de diminuir o número de experimentos necessários para a otimização das mesmas. Para essa pesquisa produziu-se 4 (quatro) formulações distintas, seguindo as etapas: Mistura e Homogeneização - na preparação das formulações, foi estimado os percentuais de argila e do folhelho, essa mistura aconteceu em moinho de bolas do tipo excêntrico por 15 minutos para cada composição. Após a completa homogeneização a seco, as formulações foram umedecidas com água destilada, para adquirir consistência plástica; Conformação por Prensagem - esse processo consistiu na realização de prensagem uniaxial com uma prensa hidráulica com capacidade para 15 toneladas. Foi utilizado uma matriz metálica, com pressão de compactação de 3 MPA, na forma de amostras prismáticas de 60 x 20 x 5 mm, sendo utilizado para tanto 12 g de massa cerâmica para cada corpo de prova. Para essa pesquisa foram realizadas 6 (seis) corpos de prova por formulação, totalizando 24 (vinte e quatro) corpos de prova. Secagem: após, a compactação as amostras foram colocados para secagem em estufa por 24 h, em temperatura de 110°C; **VI) Processamento Térmico:** os corpos de prova foram queimados em um forno tipo mufla (JUNG 0713). A taxa de aquecimento adotada foi de 10°C/min. A isoterma foi de 1 h nas temperaturas de 800°C e 900°C, e; **VII) Ensaios Tecnológicos:** as propriedades tecnológicas das amostras, na forma de corpos de prova, foram determinadas através das análises dos resultados dos ensaios de Retração Linear (RL%), Absorção de Água (AA%) e Porosidade Aparente (PA%).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização das matérias-primas

A argila utilizada neste trabalho (proveniente da jazida de Miguel Calmon/BA), é considerada medianamente plástica. O folhelho (proveniente da Bacia Sergipe-Alagoas), por sua vez, é considerado como uma rocha sedimentar clástica, formada pela deposição de lama, com partículas de tamanhos desde silte à argila, sendo considerado então, como um material plástico. A Tabela 1 mostra o resultado de fluorescência de raios – X (FRX), realizado na argila e do folhelho.

Tabela 1. Análise semiquantitativa da argila e do folhelho por FRX.

CONCENTRAÇÃO EM MASSA (%)												
Óxidos	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cl	MnO	Outros
Argila (%)	56,14	32,33	1,76	6,41	0,96	0,38	1,40	0,22	0,07	0,07	-	0,26
Folhelho (%)	47,12	11,86	7,67	26,35	2,59	-	1,02	2,79	-	-	-	0,60

Na argila observa-se que o principal óxido presente é o SiO<sub>2</sub> (sílica), com teor de 56,14%, indicando a presença de silicatos (argilominerais, micas e feldspato) e sílica livre, na forma de quartzo, propiciando uma redução na plasticidade da argila. O outro óxido em maior proporção é a Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> com 32,33%, geralmente combinado formando os argilominerais. O óxido de ferro – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> possui teor de 6,41%, propiciando uma tonalidade avermelhada na massa cerâmica após a queima.

No folhelho, o óxido presente em maior quantidade é óxido de silício – SiO<sub>2</sub>, com 47,12%, indicando a presença de silicatos (quartzo), propiciando uma redução na plasticidade da massa cerâmica, seguido pelo óxido de alumínio – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (11,86%) e o óxido de potássio K<sub>2</sub>O (7,67%) indicando a presença de argilominerais e feldspatos. O óxido de ferro Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> também bastante expressivo com 26,35 % contribui com a coloração da amostras. A tabela 2 mostra a composição mineralógica (obtida através da análise de difração de raios -X) da argila e do folhelho utilizados neste trabalho.

Tabela 2. Principais fases minerais nas amostras via Difração de Raios-X.

FASE MINERAL					
Fase Mineral	Quartzo	Vermiculita	Caulinita	Saponita	Halloysita
Argila (%)	X		X		X
Folhelho (%)	X	X	X	X	

Na tabela 2, percebe-se a presença de quartzo (SiO<sub>2</sub>) e caulinita [Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>] na argila, estando em conformidade com os resultados obtidos na análise por fluorescência de raios-X.

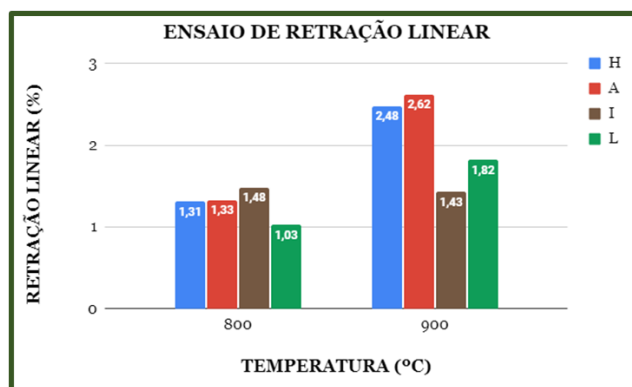
Já no folhelho, observa-se a presença da sílica em teores muito altos, representado na forma do mineral quartzo (SiO<sub>2</sub>), e os demais minerais como vermiculita [(MgFe,Al)<sub>3</sub>(Al,Si)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O] e caulinita [Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>] como minerais principais encontrados nesse tipo de rocha, assim, estando de acordo com a análise por fluorescência de raios-X.

### Ensaio Tecnológicos

A Figura 1 mostra o resultado dos ensaios tecnológicos para esse estudo, realizado nas formulações nas diferentes temperaturas de queima (Retração Linear – RL, Porosidade Aparente – PA, Absorção de Água – AA).

Os corpos de prova nas formulações estudadas apresentaram um aumento crescente na retração linear (RL) (Fig. 1) com o aumento de temperatura de queima. É perceptível que entre 800°C e 900°C as maiores retrações acontecem nas formulações com 0, 10 e 30% de folhelho. Percebe-se que quanto maior o teor de resíduo, menor será a taxa de retração nas amostras.

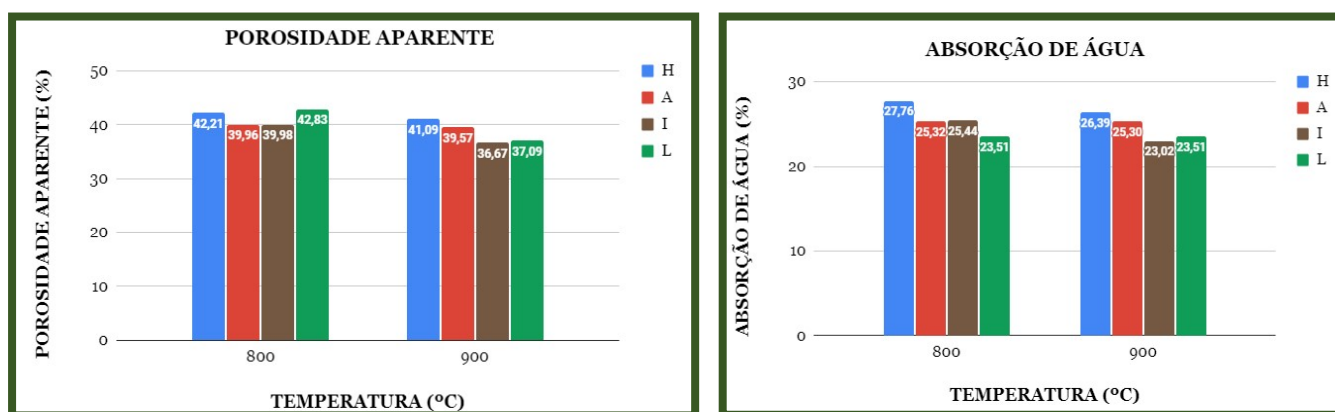
Figura 1. Ensaio de Retração linear nas amostras estudadas.



A Figura 2A mostra o resultado do ensaio de porosidade aparente (PA) nas formulações estudadas. Nota-se que o resultado do ensaio de porosidade aparente nos corpos de prova das formulações estudadas, estão em conformidade com os resultados de absorção de água e retração linear de queima. Observa-se uma diminuição da porosidade aparente com o aumento na temperatura de queima. Na temperatura de 900°C, a redução maior na porosidade ocorre na formulação com 20% de folhelho (formulação I). É observado que a formulação I com 20% folhelho, apresenta a maior redução da porosidade aparente em todas as temperaturas de queima.

Na Figura 2B mostra o resultado do ensaio de absorção de água (AA) nas formulações estudadas. O resultado de absorção de água nas formulações está coerente com os resultados obtidos no ensaio de retração linear apresentados na Fig. 1. Há uma redução na absorção de água com o aumento crescente na temperatura de queima dos corpos cerâmicos, nas formulações estudadas. A maior absorção de água foi verificada na temperatura de 800 °C foi na formulação com 30% de folhelho, ficando em torno de 23%, enquanto a menor absorção na temperatura de 900°C, foi verificada nas formulação I e L com 20 e 30% de folhelho na composição, ficando em torno de 23% também. Ficou evidenciado que quanto maior o percentual de folhelho, em temperaturas abaixo de 900°C, menor será o teor de absorção de água.

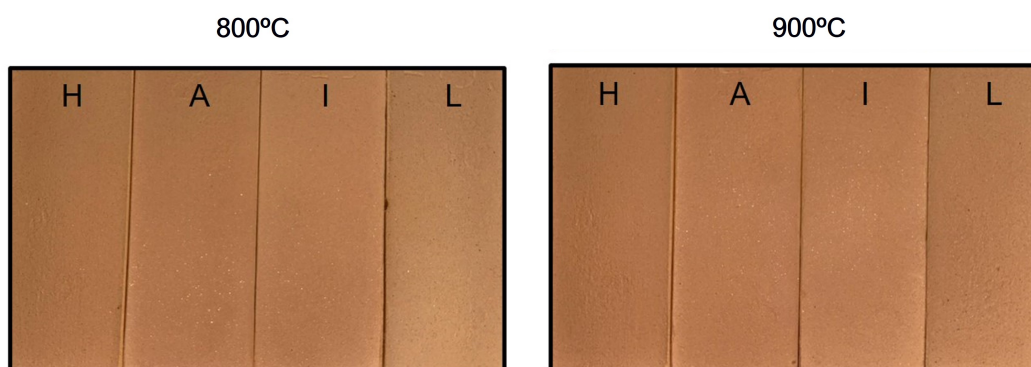
Figura 2. Ensaio de Porosidade Aparente e Absorção de Água nas amostras estudadas.



### Coloração dos corpos de prova após a queima

A Figura 3 mostra a coloração dos corpos de provas das formulações estudadas nas diferentes temperaturas de queima.

Figura 3. Coloração dos corpos de prova após a queima em 800°C e 900°C.



Percebe-se que nas temperaturas de queima estudadas não houve distinção muito grande de cor entre as peças ou a presença de algum aspecto físico visível como: trincas, marcas de grãos ou marcas devido a compactação e queima. O pouco de alteração na tonalidade dos corpos de prova é devido ao processo de oxidação da mistura da argila com o aumento do teor do folhelho. Nota-se apenas uma coloração levemente mais acentuada nas amostras com 0% e 30% de folhelho.

### CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que se pode utilizar a massa cerâmica com o folhelho para a produção de blocos cerâmicos, pois as propriedades tecnológicas obtidas no produto final estão em conformidade com a norma técnica específica – NBR 15270-2. Como estamos ainda em fase de tratamento dos dados, observa-se que as amostras da formulação I apresenta algumas inconsistências, porém será revisado os dados dessa formulação. Os resultados obtidos até o momento, indicam ser interessante a utilização do folhelho em massa cerâmica para a produção de blocos cerâmicos; em substituição ao feldspato. Comparativamente, a formulação com 10% de resíduo apresentou os melhores resultados, atendendo as especificações técnicas, indicando a possibilidade de aplicações diversas em corpos cerâmicos.

### AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao grupo de pesquisa Automação, Eficiência Energética e Produção do IFBA – Campus Jacobina pelo apoio e suporte técnico no desenvolvimento deste projeto, e ao Laboratório de Caracterização de Materiais – LCM do IFBA/Campus Salvador pela realização das análises químicas.

### REFERÊNCIAS

- Brito, J. de. Ecomateriais e Sua Incorporação na Construção. Conference Paper. DOI: 10.13140/RG.2.1.4810.3443. 2012.
- Machado, T. G. Estudo da adição de resíduo de scheelita em matriz cerâmica: formulação, propriedades físicas e microestrutura. Tese de Doutorado - UFRN/PPGCEM, Natal, 2012.
- Menezes, R. R.; Almeida, R. R. de; Santana, L. N. L.; Neves, G. A.; Lira, H. L.; Ferreira, H. C. Utilização do resíduo do beneficiamento do caulim e serragem de granito para produção de blocos e telhas cerâmicos. Revista Cerâmica, v.53, n.328, p.388-395, 2007.
- Vasconcelos, P. N. Estudo geoquímico e isotópico dos folhelhos e evaporitos do Grupo Santana (Bacia do Araripe): Implicações para os sistemas deposicionais e evolução térmica da matéria orgânica. Tese de Doutorado – UFC /PPGG, Fortaleza, 2018.