



## CARACTERIZAÇÃO DE SEDIMENTOS ALUVIONARES UTILIZADOS NA CERÂMICA VERMELHA NA REGIÃO OESTE DE CASCAVEL, CEARÁ – BRASIL

Irani Clezar MATTOS<sup>1</sup>, Wilkson Jardim FREIRE<sup>2</sup>, Joel Pedrosa SOUZA<sup>1</sup>, José de Araújo NOGUEIRA NETO<sup>3</sup>

**RESUMO:** Os sedimentos aluvionares de Guanacés, oeste de Cascavel, região norte-nordeste do Ceará possuem valor socioeconômico devido à sua aplicação na indústria de cerâmica vermelha. O objetivo deste estudo consiste em caracterizar tais sedimentos por meio de ensaios de granulometria, determinação do índice de plasticidade, absorção d'água, perda de massa ao fogo, retração linear e resistência à compressão; além de análises mineralo- química por FRX e DRX. Os resultados mostram que das quatro amostras, três (A, B e D) possuem silte e argila próximo à 95%, e uma (C) é areia fina argilosa (57,3% areia). A, B e D apresentam alto índice de plasticidade ( $I_p$ ), sendo B a mais plástica, devido à concentração de finos; a C é considerada mediamente plástica. A proporção 2:1 de C e B, foi classificada como Silte de Alta Compressibilidade. A temperatura de queima ideal é 800°C, considerando retração linear de 2,12 mm, perda de massa de 10,1% e absorção d'água de 10%. A DRX mostra que os sedimentos são formados por caulinita, quartzo, muscovita e ortoclásio, albita, anortita e sanidina. Dados de FRX mostram como óxidos dominantes  $SiO_2$ , variando de 43,0 a 11,2% e  $FeO_{Total}$  de 32,5 a 17,30%, que reflete a coloração avermelhada nas peças, mesmo à 700° C. O percentual de  $Al_2O_3$  é proveniente da albita, muscovita e caulinita, o de  $K_2O$  é semelhante entre as amostras, refletindo a forte presença de minerais ricos em K, como microclínio, ortoclásio e muscovita. O traço utilizado apresenta bom desempenho físico-mecânico, mostrando ótima aplicação na produção de blocos cerâmicos, excelente empacotamento, alta resistência à compressão, baixa permeabilidade, com índices de absorção e perda de massa aceitável após a queima, que ultrapassam os limites da norma ABNT 15.270/2005. A argila mostrou-se ideal na confecção de peças cerâmicas de revestimento para a construção civil.

**Palavras chave:** ensaios físicos, mineralogia de argilas, difratometria de Raios X, cerâmica vermelha,

**ABSTRACT:** *Alluvial sediments from Guanacés, west of Cascavel, north-northeast region of Ceará have socioeconomic value due to their application in the red ceramic industry. The objective of this study is to characterize such sediments by granulometry tests, determination of the plasticity index, water absorption, loss of mass to fire, linear contraction and resistance to compression; in addition to mineral-chemical analysis by XRF and XRD. The results show that of the four samples, three (A, B and D) have silt and clay close to 95%, and one (C) is fine clay sand (57.3% sand). A, B and D have a high plasticity index ( $I_p$ ), with B being the most plastic, due to the concentration of fines; C is considered to be moderately plastic. The 2: 1 ratio of C and B was classified as High Compressibility Silt. The ideal burning temperature is 800 °C, considering*

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará – Departamento de Geologia

<sup>2</sup> Geólogo – Consultor em Meio Ambiente e Mineração

<sup>3</sup> Universidade Federal de Goiás – Faculdade de Ciência e Tecnologia

Autor para correspondência: Irani Clezar Mattos

Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geologia Campus Universitário do Pici, Blocos 912/913, Fortaleza/CE – Brasil. CEP 60455-760

E-mail: irani.mattos@ufc.br

2.12 mm<sup>3</sup> linear retraction, 10.1% weight loss and 10% water absorption. The XRD shows that sediments are formed by kaolinite, quartz, muscovite and orthoclase, albite, anortite and sanidine. XRF data show as dominant oxides SiO<sub>2</sub>, ranging from 43.0 to 11.2% and FeO<sub>Total</sub> from 32.5 to 17.30%, which reflects the reddish color in the pieces, even at 700 °C. The percentage of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> is from albite, muscovite and kaolinite, the K<sub>2</sub>O is similar among samples, reflecting the strong presence of minerals rich in K such as microcline, orthoclase and muscovite. The trace used presents good physical-mechanical performance, showing excellent application in the production of ceramic blocks, excellent packaging, high resistance compression, low permeability, with absorption indices and acceptable mass loss after burning, exceeding the limits of ABNT 15.270/2005 norms. Clay proved to be ideal for making ceramic tile pieces for civil construction.

**Keywords:** physical-mechanical tests, clay mineralogy, X-ray diffraction, red ceramic.

## 1. INTRODUÇÃO

Argila é a nomenclatura utilizada para identificar partículas de diminutas dimensões, as quais apresentam medidas abaixo de 1/256 milímetros (4 micrômetros) de diâmetro. Essa fração granulométrica comumente, é formada por uma mistura de minerais argilosos, apresentando o predomínio de um; porém também, pode ser encontrada apenas com um constituinte mineral argiloso (BRANCO, 2008).

Segundo Gomes (1988), argila é um produto natural terroso que apresenta geralmente comportamento plástico, granularidade muito fina e facilmente dispersáveis em água. É constituída essencialmente por argilominerais, podendo conter outros minerais, como quartzo, mica, pirita e hematita; e matéria orgânica além de outras impurezas. Quimicamente, os argilominerais são silicatos de alumínio ou magnésio hidratados, contendo em certos tipos outros elementos como ferro, potássio, lítio e outros, como elementos traços.

O município de Cascavel, localizado no nordeste do Estado do Ceará – Brasil, possui atividades econômicas relacionadas com a extração de argila, tais como indústrias de olarias e cerâmicas, além da produção de artesanatos, as quais são responsáveis por geração de empregos e renda, consequentemente favorecendo o desenvolvimento socioeconômico local. Alguns dos produtos finais, derivados da argila, utilizados no setor da construção civil são: tijolos, pisos, tubos, telhas, cubas, pias, lavabos, aparelhos sanitários; além de variados produtos artesanais utilizados no setor de decoração (SOUZA, 2000).

O objetivo deste trabalho consiste em caracterizar abrangendo os aspectos físicos, químicos e mineralógicos dos sedimentos argilosos aluvionares da fazenda Bebedouro, localizados na porção central do município de Cascavel. Estas argilas apresentam importante valor socioeconômico, devido grande potencial de aplicação e comercialização no setor de cerâmica vermelha, que

vem sofrendo com perdas na produção pelas quebras de blocos.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

A área estudada possui 2.719 km<sup>2</sup>, localizada na carta topográfica Beberibe (Folha SB.24-X-A-II), na região nordeste do

Estado do Ceará (Figura 1), e pertence a uma indústria de beneficiamento de cerâmica vermelha, denominada PH Indústria e Comércio de Produtos Cerâmicos LTDA, localizada na fazenda Bebedouro, Distrito de Guanacés, porção centro norte do município de Cascavel.

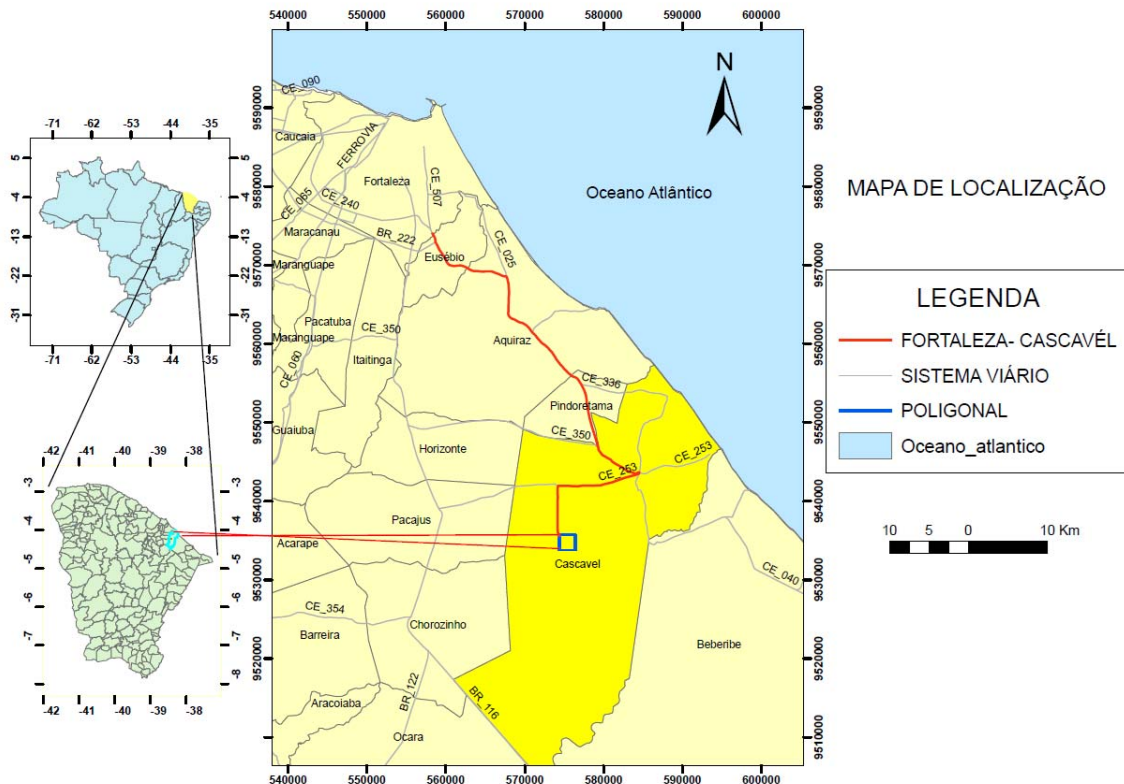


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo. Fonte IPLANCE (Ceará, 1997).

A área em estudo encontra-se inserida ao norte do lineamento Patos, no Domínio Tectônico Setentrional da Província Borborema, de idade Pré-cambriana (ALMEIDA *et al.*, 2000). Localizada entre a Bacia Potiguar (Norte e Leste), Bacia do Araripe (Sul) e zona de cisalhamento Sobral-Pedro II (Oeste). Destaca-se, ainda, a existência de embasamentos Pré-cambrianos e a presença de

sedimentos fanerozoicos da Bacia Potiguar.

Os sedimentos em estudo pertencem à Formação Barreiras (sedimentos arenosos, conglomerados, siltitos e folhelhos), formando coberturas extensas. Além de depósitos aluviais e eólicos (areias e argilas), que ocorrem na forma de vales (depósitos aluviais), ou ao longo da costa (depósitos litorâneos). As coberturas sedimentares são pouco espessas, e

geralmente não ultrapassam 50 metros de profundidade.

Segundo Cavalcante (1998), a Formação Barreiras é constituída por sedimentos arenosos finos a médios, com intercalações de siltitos, argilas e níveis de conglomerados, com variação lateral de fácies, podendo notar-se discreta estratificação cruzada entre os bancos deposicionais. Apresenta matriz argilosa caulínica, com cimento ferruginoso, às vezes silicoso e níveis lateritizados. Essa unidade possui caráter predominantemente continental, tendo seus constituintes depositados sob condições de clima semiárido, sujeito a chuvas esporádicas. Formam amplas faixas de leques aluviais coalescentes, ocorrendo à retaguarda dos depósitos eólicos mais recentes.

A análise da exposição subaérea da Formação Barreiras permitiu integrá-las como parte de uma sedimentação típica dos ambientes de leques aluviais. A deposição de clastos grossos (conglomerados) em segmentos proximais e “calhas profundas” dos grabens, e a deposição dos leques aluviais com fácies interdigitadas e formação de subsistemas fluviais entrelaçados conformam a paleolinha de costa, de acordo com Cavalcante (1998).

O acúmulo de sedimentos aluvionares nas margens dos cursos d'água dá origem às várzeas, locais tradicionalmente procurados por agricultores, pois aliam fertilidade à presença d'água. Seus sedimentos podem ser bem ou mal selecionados e pouco ou muito bem retrabalhados (arredon-

dados), dependendo em que ponto do curso do rio se encontram. Quando há alto fluxo, os sedimentos tendem a ser pouco selecionados e pouco trabalhados (DIAS, 2005). Em médio e baixo curso tendem a serem bem selecionados, como é o caso da argila pesquisada na área. Esses depósitos tendem a se acumular dando origem às planícies aluviais.

Devido às fortes e bruscas mudanças de regime dos cursos fluviais, os depósitos das planícies aluviais constituem-se, geralmente, em intercalações de camadas e lentes de diversas granulações, desde fração argilosa até conglomerática.

Conforme a região, a argila assume aspectos diferentes. No caso da área estudada, tem-se solos de climas tropical quente com pluviometria média de 1300 mm com chuvas concentradas de janeiro a maio (CEARÁ, 1992). São solos mais evoluídos devido à alta temperatura, o que facilita mais a hidrólise dos silicatos.

### 3. METODOLOGIA

Inicialmente foi realizada a pesquisa de dados geológicos, estruturais e imagens de sensores remotos da área investigada. Mapas temáticos pré-campo foram confeccionados em plataforma unificada de Sistemas de Informações Georreferenciadas (SIG), em coordenadas *World Geodetic System 1984* (WGS 1984) e fuso 24 Hemisfério Sul, objetivando armazenar planos de informações para futuras consultas. Foram utilizados também mapas da

CPRM (CAVALCANTE *et al.*, 2003), em escala 1:100.000 para base planialtimétrica.

As atividades de campo permitiram caracterizar o depósito sedimentar e os demais aspectos físicos na área em estudo. Os pontos amostrados evidenciaram que as argilas analisadas são provenientes de depósitos fluviais de acordo com a imagem de satélite que mostra a proximidade dos pontos de amostragem ao sistema fluvial do rio Choró (planície de inundação, margens e meandros abortados) (Figura 2).

Em cada ponto foram coletados 100g de argila, através de trincheiras de 1,5 metros de profundidade, que foram dissolvidas em 20 ml de água destilada, até obter-se uma massa plástica uniforme adesiva. Realizou-se um teste preliminar para avaliar se a

massa se encaixava no padrão requisitado, sendo a formação de pequenos rompimentos na amostra, visando seguir com os procedimentos laboratoriais.

O teste preliminar de plasticidade foi realizado em cada ponto, no qual as amostras foram moldadas até o formato de corda, com espessura de 8 mm, unindo-se as duas extremidades. As amostras que formaram o círculo sem rompimento apresentaram comportamento plástico, conferido pela presença de argilominerais, as que formaram o círculo com pequenas rachaduras indicam a presença de componentes argilosos com plasticidade moderada. As amostras que apresentaram pequenas rachaduras no material foram encaminhadas para os demais testes de caracterização.

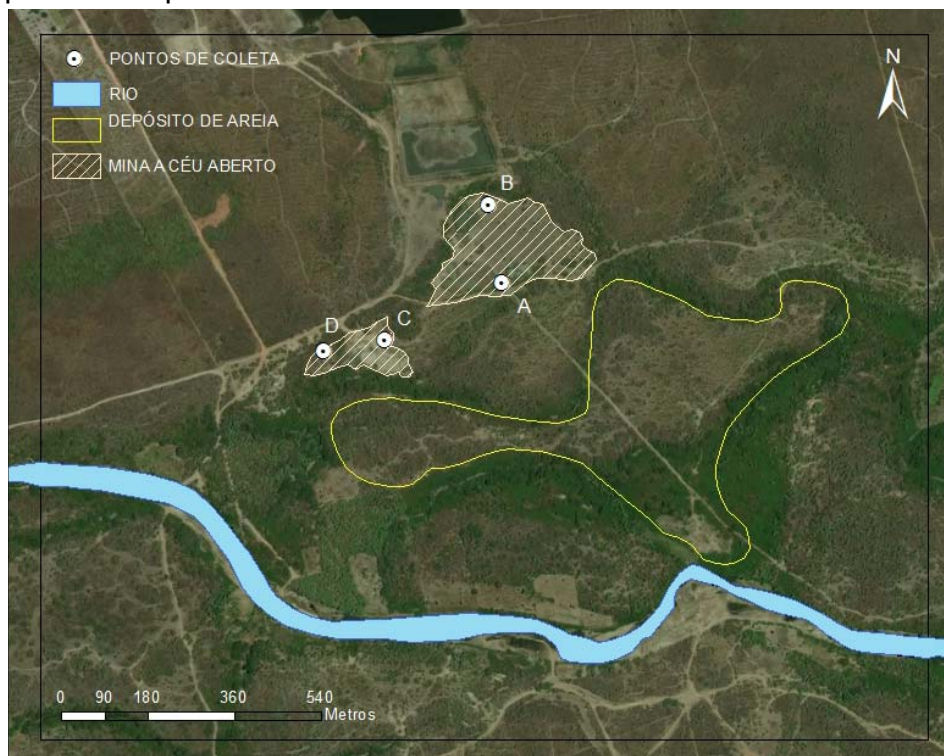


Figura 2: Localização dos pontos amostrados na área de estudo. Fonte – Autor.

Visando a caracterização das argilas foram realizados os seguintes ensaios: caracterização

granulométrica; limite de liquidez; limite e índice de plasticidade; absorção d'água; perda de massa ao fogo; retração linear; resistência a compressão; - químico-mineralógica; difração de raios X (DRX) e fluorescência de raios X (FRX).

### **3.1 Caracterização Granulométrica**

As amostras coletadas foram previamente etiquetadas, secas, maceradas, quarteadas e pesadas em 100g. Acoplou-se uma peneira de 0,062mm a um balde sob torneira com baixa intensidade de fluxo de água, para que o material mais fino fosse separado. O material retido foi levado para secagem e o mais fino foi preparado para a pipetagem.

Um jogo de 12 peneiras de malhas de 4,0 a 0,099 mm (no fundo a fração 0,062mm) foi colocado no agitador tipo Rot Up. O material fino foi introduzido em proveta de 1000 ml e adicionado 0,67g de oxalato de sódio, para evitar floculação. A marcação do tempo foi realizada com auxílio de cronômetro, da ordem de coleta da solução, em 0:00'58" foi retirado 20 ml da solução no nível de 20 cm abaixo da cota de 1000 ml da proveta. No tempo de 0:03'52" foi retirado 20 ml da solução abaixo da cota de 1000 ml da proveta. No momento 0:07'44" foi retirado 20 ml da solução no nível de 10 cm abaixo da cota de 1000 ml da proveta. Durante o tempo de 0:31'00" foi retirado 20 ml da solução no nível 10 cm abaixo da cota 1000 ml da proveta. Com 2:0'00" foi retirado 20 ml da solução no nível 10 cm abaixo

da cota 1000 ml da proveta. Cada solução retirada foi armazenada em frascos identificados.

Posteriormente, os pesos foram registrados em tabelas, sendo repetido todo o procedimento para cada amostra. Após as análises e a secagem (em estufa a 60 °C), os sedimentos foram pesados e registrados na tabela do programa de análises granulométrica de acordo com a ABNT NBR 7218:2010 Agregados — Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis.

### **3.2 Limite de Plasticidade, Limite de Liquidez e Índice de Plasticidade**

No limite de Plasticidade 50 g de sedimentos menor que 0,425 mm foram misturadas à 20 ml de água destilada, formando uma massa uniforme. Cada amostra foi rolada sobre uma placa de vidro e amassada até formar um bastão de 3 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento. Os bastões foram pesados e aquecidos à 60° C por um período de duas horas. O ensaio foi realizado seguindo as normas técnicas da ABNT – NBR 7180.

No ensaio de Limite de Liquidez (NBR 6459), às 70 g do material passado na peneira 0,425 mm foi adicionado 20 ml de água destilada, formando uma massa plástica. A massa foi moldada ao aparelho de Casa Grande de forma a ficar com espessura de 1cm na parte central da concha, e com o cinzel, a mesma foi dividida ao meio, perpendicularmente à articulação da concha. O aparelho foi ligado com uma razão de duas

voltas por segundo, seguindo o procedimento até que as bordas inferiores da ranhura se unissem, obtendo assim o número de golpes.

O índice de plasticidade (IP) foi determinado pelo limite de Atterberg (limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade), segundo as normas ABNT NBR 6454, ABNT NBR 6459 e ABNT NBR 7180 que implica na diferença entre o limite de liquidez (separa o estado líquido do plástico) e limite de plasticidade (separa o estado plástico do semi-sólido). Ele define a zona em que a matéria-prima se encontra no estado plástico. Podendo ser máximo nas argilas e nulo nas areias, fornecendo um critério para se avaliar o caráter argiloso de uma matéria-prima. Desta forma quanto maior o índice de plasticidade, tanto mais plástica ela será.

### **3.3 Absorção d'água, Perda de Massa Ao Fogo e Retração Linear**

Estes ensaios foram realizados no Laboratório de Desenvolvimento de Materiais Cerâmicos do Departamento de Eng. Metalúrgica e de Materiais, Centro de Tecnologia da UFC. Inicialmente foi separada uma porção de 400g de amostra, levada à estufa a 110°C, posteriormente foi destorroadada em cápsula de porcelana. Após esta etapa, parte da amostra que passou pela peneira de 0,044 mm, foi separada e pesada 63 gramas, misturando-se 3 ml de água destilada, até obter uma consistência granular.

Posteriormente a mistura foi inserida na mini-extrusora

(Gelenski), que foi prensada com força de 500 kg, para formar um bloco com menor umidade, evitando rachaduras e dobramentos durante a queima dos corpos de prova. Estes foram sinterizados, pesados, submersos em tanque com água, por 24 horas. Após esse período foi repetida a pesagem e enviado à estufa (Quimis Q317M) a 105°C para eliminar o excesso de água. Após mais 12 horas de estufagem foram pesados e novamente colocados na estufa para mais um período de 6 horas e pesados outra vez, atingindo assim um peso constante.

Depois da secagem os corpos de prova foram novamente pesados e medidos e enviados ao forno para sinterização a quatro diferentes patamares de temperatura, à 700° C, 800° C, 900° C e à 1.000°C, com tempo de 30 minutos em 500° C e de duas horas em temperatura final de queima. As amostras foram queimadas em fornos tipo mufla com rampa de aquecimento de aproximadamente 10° C/min. Após a queima, os corpos de prova foram pesados e medidos pela última vez para possibilitar a realização da análise comparativa em relação à retração linear, do mesmo modo é obtida a perda de massa e umidade.

### **3.4 Ensaio de Resistência à Compressão**

Após a sinterização do corpo de prova descrito no procedimento anterior, o mesmo foi inserido no equipamento de compressão hidráulica e prensado, obtendo o erro de leitura do

aparelho. Esse erro se deu pelas dimensões (pequenas) das peças fabricadas, pois o aparelho que mede a resistência necessita de quatro pontos distintos em uma plataforma plana do corpo de prova, para a aplicação da força em Kg e tensão (Mega Pascal).

Para a realização de ensaio de resistência à compressão uniaxial coletou-se 15 blocos de vedação (tijolos) na indústria cerâmica. Estas amostras não possuem controle do local de coleta, mas foram formadas por sedimentos inseridos no mesmo contexto genético, os depósitos das planícies aluviais.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de cerâmica Vermelha do SENAI-CE. A execução dos ensaios de Caracterização das Medidas das Faces, Planeza das Faces e Septos e Paredes Externas seguiram as normas: NBR15270-3, mas não estão abordadas neste estudo. Para o ensaio de Resistência a Compressão seguiu-se a norma NBR 15270-1. Estes corpos de prova possibilitaram um entendimento de maior detalhe do comportamento destas amostras.

### **3.5 Caracterização Químico-Mineralógica**

Os ensaios de caracterização químico-mineralógica foram realizados no laboratório de raios X do Departamento de Física do Centro de Ciências da UFC.

Na preparação das amostras, as argilas foram secas em estufa à 60° C até uma massa constante, em seguida trituradas à

mão com auxílio de pistilo e almofariz de ágata. Posteriormente, foram peneiradas em malha de 0,074 mm, separadas 2 g, inseridas em um recipiente acrescentando 2 ml de peróxido de hidrogênio e colocadas em banho térmico. Após 10 a 15 minutos de fervura e diminuição na liberação de bolhas, a argila sem matéria orgânica e ainda úmida foi aquecida novamente à 60°C. Após secagem, foram cuidadosamente maceradas até formarem uma camada fina, foram dispostas sobre uma lâmina para as análises de Difração e Fluorescência de raios X.

#### **3.5.1 Análises de Difração de Raios X (DRX)**

Visando identificar as diferentes fases cristalinas presente nas argilas, a difração de raios X apresenta-se como método mais prático e rápido. O difratômetro utilizado gera raios X de 2 KW e é equipado com tubo de Cu. Neste método do pó, cada amostra (1 g) é atingida por um feixe de raios X em diferentes direções (0 a 70°  $\Theta$ ) enquanto o detector capta os raios difratados pelas amostras. A altura dos picos gerados a partir da difração é diretamente proporcional à intensidade do grau de cristalização das fases minerais e de suas quantidades relativas. A interpretação dos resultados ocorre pela comparação dos picos de difração obtidos com os padrões para distância interplanar do sistema ICDD da International Union of Crystallography (Albers *et al.*, 2002; Piccoli *et al.*, 2009; Scapin, 2003).



### 3.5.2 Análises de Fluorescência de Raios-X (FRX)

A composição química facilita a identificação do mineral e conseqüentemente das suas características físicas. Assim, óxidos de sódio e potássio conferem resistência mecânica e plasticidade, ao contrário da sílica e a alumina. O óxido de ferro contribui com uma cor vermelha ou amarelada, além de diminuir a retração, a plasticidade e a resistência mecânica de argilas.

Para a determinação da composição química através da fluorescência de raios X, utilizou-se o método da pastilha prensada, a qual é irradiada por curto período de tempo, sob alta intensidade de energia no tubo. A energia absorvida na amostra resulta na emissão de raios X característicos, cuja linha espectral é identificada pelo comprimento de onda específico para cada elemento.

As análises de Fluorescência de raios X, utilizaram um equipamento de modelo ZSX, da Rigaku, sob condições de operação de 40 KV e 1,2 mA, tubo de Pb, o qual produz análises qualitativas e semi qualitativas dos elementos de massa atômica, maior ou igual à massa atômica do Flúor.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização física

#### 4.1.1 Granulometria

Na classificação granulométrica (Tabela 1), considerando a massa total de cada amostra em 100 gramas, as quatro amostras apresentaram um percentual de material fino (sedimentos com diâmetro menor que 0,025mm) próximo a 95%, amostras A (93,18%), B (96,55%) e D (95,75%). Na amostra C, esse percentual diminui bruscamente para 39,47%, e apresentou elevado percentual de areia (57,26%).

Dentre as amostras analisadas, destaca-se na amostra C a ausência de silte e elevado percentual de areia (Tabela 1). Este valor permite classificá-la como sedimento arenoso fino argiloso, o que a torna menos resistente à compressão, mais permeável e menos plástica. As amostras A, B e D apresentam comportamento semelhantes entre si, condicionando as argilas ao empacotamento compressional mais eficaz, com alta plasticidade e elevada impermeabilidade.

Tabela 1: Classificação granulométrica das amostras analisadas.

	AMOSTRAS	A	B	C	D
	Cascalho (%)	0,18	0,39	3,27	0,42
	Areia (%)	6,64	3,06	57,26	3,83
	Finos (%)	93,18	96,55	39,47	95,75

	AMOSTRAS	A	B	C	D
<b>FINOS</b>	Silte (%)	44,32	55,11	0,0	61,37
	Argila (%)	48,85	41,43	39,47	34,38

Sob temperatura de 900° C, as porcentagens das frações argilosa e arenosa demonstram claramente como a proporção de fração argila condiciona o aumento da resistência mecânica e da retração linear das peças cerâmicas, ao mesmo tempo que regula a diminuição da absorção de água. Já a proporção de fração arenosa (amostra C) exerce o efeito extremamente oposto.

#### 4.1.2 Limite de Plasticidade, Limite de Liquidez e Índice de Plasticidade

No gráfico de plasticidade (Figura 3), pode-se observar que a amostra pronta (AP), com uma proporção de 2:1 da amostra C e B (Traço), respectivamente, foi classificada como Silte de Alta Compressibilidade, confirmando a alta resistência demonstrada no teste de compressão. Este resultado deve-se à granulometria de 75,27% de finos (45,72% de argila e 29,54% de silte) e 23,51% de areia.

Observou-se que a amostra C é a de menor plasticidade, pois seu percentual de finos fica abaixo dos 40% e contém 57,26% de areia, indicando maior tamanho de grão, o que dificulta a compactação entre os grãos, ocasionando um material mais poroso e permeável. A amostra B é a de mais alta plasticidade, pois apresenta a maior concentração de finos (41,43% de argila e 55,11% de silte), implicando maior impermeabilidade e maior plasticidade, dentre as amostras estudadas.

Considerando a escala, que classifica o índice de plasticidade, em fracamente plástico ( $1 < IP < 7$ ), mediamente plástico ( $7 < IP < 15$ ), altamente plástico ( $15 < IP$ ) e não plástico (quando não é possível se obter o LP ou LL), as amostras A, B e D possuem  $I_p$  dentro da faixa de altamente plástico. A amostra C, entretanto, classifica-se como mediamente plástico, estando com 14,4 % em relação a plasticidade (Tabela 2).

A granulometria é muito importante na definição da proporção de mistura (traço) entre os sedimentos e conseqüentemente na conformação da massa cerâmica. No caso das argilas estudadas, a caracterização do traço 2:1, ou seja, duas medidas da amostra C para uma da amostra B é a mais utilizada na fabricação de tijolos da indústria da fazenda Bebedouro. No presente estudo foram testadas diferentes proporções entre as amostras, porém o traço 2:1 propiciou o melhor empacotamento dos

sedimentos, tornando o corpo argiloso coeso e com menor sensibilidade à formação de trincas, provenientes das etapas de secagem e extrusão do material cerâmico. O que se considera “melhor empacotamento” ocorre devido à diferença de tamanho dos grãos, que unem-se com maior coesão, preenchendo os vazios dos grãos maiores por grãos de menor diâmetro durante a conformação da massa com a água e no momento da prensagem por extrusão à vácuo.

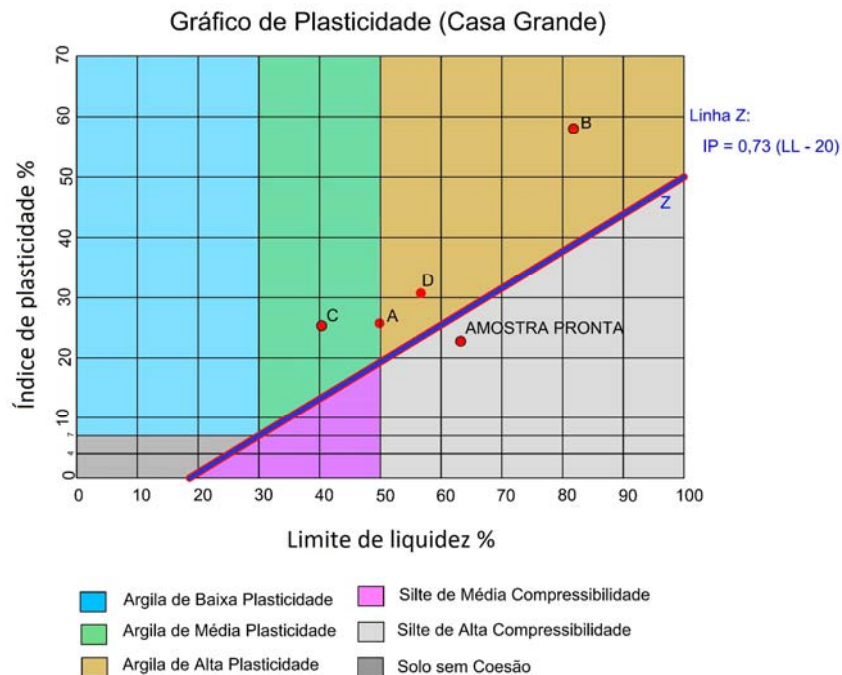


Figura 3: Gráfico de limite de plasticidade.

Tabela 2: Índice de Plasticidade, em porcentagem.

AMOSTRA	LIMITE DE LIQUIDEZ (%)	LIMITE DE PLASTICIDADE (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDADE (%)
A	50	24,4	25,6
B	82,4	23,6	58,8
C	40	14,4	25,6
D	57,1	25,4	31,7

O índice de plasticidade é obtido pela diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade. A figura 3, demonstra-se que a amostra B possui o maior índice de plasticidade, apresentando o maior limite de liquidez (82,4%) e o menor limite de plasticidade (23,6%). A amostra C apresenta o menor índice de plasticidade, com o menor limite de liquidez (40%) e o menor limite de plasticidade (14,4%).

#### L4.1.3 Índice de Absorção d'água, Perda de Massa ao Fogo e Retração Linear

Foram ensaiados 5 corpos de prova, utilizando o mesmo traço 2:1 (duas medidas de C para uma de B, respectivamente), o mesmo utilizado no processo de fabricação dos blocos de vedação (tijolos). Os corpos de prova ficaram com denominação de A, B, C, D e E, utilizada para os ensaios de

absorção d'água, perda de massa ao fogo e retração linear.

#### Índice de absorção d'água

Os índices de absorção d'água, foram determinados medindo-se os corpos de prova com a massa seca, saturada e após a queima (conforme descrito no item Metodologia) e estão apresentados na tabela 4.

Os resultados de absorção foram satisfatórios, atingindo uma média de 10% (tabela 4), encontram-se, portanto, dentro dos limites estabelecidos pela ABNT NBR 15.270/2005 para blocos de vedação, cujo máximo é 22% e o mínimo é de 8%. Para telhas o valor máximo aceitável é de 20%, de acordo com a ABNT NBR 15.310/2005, sendo que não há limite inferior do índice de absorção de água. Quanto menor for o valor da absorção, maior será seu índice de impermeabilidade.

Tabela 4: Índice de Absorção de água

Nº CP	Massa Seca (g)	Massa Saturada (g)	Peso Após Queima (g)	Índice Absorção (%)
A	58,51	59,70	53,08	10
B	59,75	60,89	54,25	10
C	60,71	62,00	55,22	10
D	58,81	59,85	53,43	10
E	59,55	60,45	54,07	10

Os resultados de absorção foram satisfatórios, atingindo uma média de 10% (tabela 4), encontram-se, portanto, dentro dos limites estabelecidos pela ABNT NBR 15.270/2005 para blocos de vedação, cujo máximo é 22% e o

mínimo é de 8%. Para telhas o valor máximo aceitável é de 20%, de acordo com a ABNT NBR 15.310/2005, sendo que não há limite inferior do índice de absorção de água. Quanto menor for o valor da absorção, maior será seu índice de impermeabilidade.

Devido a maioria das amostras apresentarem granulometria com os percentuais de finos (com exceção da amostra C), a compactação do corpo de prova foi elevada, sendo necessário 500 kg de força. Na confecção destes corpos de prova, foram adicionados 3 ml de água para 63g dos finos, o que gerou uma massa de argila ainda em caráter granular e não plástica. Assim, após a queima, a influência desses fatores fez com que a compactação dos grãos fosse mais acentuada elevando a impermeabilização dos corpos-de prova e deixando-os mais resistente à compressão.

Destaca-se a importância deste ensaio, pois os resultados obtidos revelam que a argila analisada está apta ao uso tanto para a fabricação de blocos de vedação (tijolos) quanto para a fabricação de telhas.

#### *Perda de massa ao fogo*

As amostras foram pesadas em quatro etapas com temperaturas diferentes, os resultados obtidos encontram-se descritos na Tabela 5.

Com base nos resultados, constata-se que os diferentes estágios de temperatura influenciam nas propriedades das argilas. Em temperatura de 700° C, o calor gera uma leve redução da massa, na qual observou-se apenas uma diminuição de 1,21% de seu peso. Entre 800 e 900° C a perda de massa mostra-se mais intensa e constante, esta redução de peso ocorre provavelmente pela evaporação da água estrutural presente nos argilo minerais da massa cerâmica. Na temperatura de 1000°C, mesmo considerando que todos os materiais foram prensados para se obter densidade constante a perda de massa apresenta um leve aumento e se deve provavelmente à queima e evaporação de toda água residual e material volátil ainda presente na massa cerâmica. É sabido que na maioria das massas argilosas esta temperatura de 1000° C gera o início da fusão das superfícies externas dos sedimentos silicáticos, sugerindo o processo de sinterização.

*Tabela 5: Resultados dos ensaios de Perda de Massa ao Fogo.*

<b>TEMPERATURA</b>	<b>MÉDIA DA PERDA DE MASSA</b>
700 °C	1,21 %
800 °C	9,16 %
900 °C	9,24 %
1000 °C	10,14 %

*Retração linear*

Com o auxílio de um paquímetro digital, efetuou-se medidas de altura, comprimento e

largura, em milímetros, dos corpos de prova, secos a 100 °C e após a queima com temperatura de 1000 °C (Tabela 6).

Tabela 6: Médias da Retração Linear

<b>CORPO DE PROVA</b>	Altura (mm)	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Tolerância na Média ABNT NBR 15.270-1 (mm)	Retração Total (mm <sup>3</sup> )
	0,47	1,61	2,81	3	2,12

Os corpos de prova apresentam uma variação tolerável de 0,02 mm (mínima) à 0,08 mm (máxima) de um corpo para o outro, satisfazendo os parâmetros estipulados pela a norma ABNT NBR 15.270-1/2005.

De acordo com os resultados obtidos, constatou-se que os corpos de provas atendem as exigências da norma ABNT NBR 15.270-1, confirmando pouca perda de massa, após a queima de

1000°C, durante um período de 12 horas.

*4.1.4 Resistência à Compressão*

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados em corpos de prova seguindo um traço de 2:1, duas porções das amostras C com uma porção da amostra B, nas amostras de blocos de vedação coletados na indústria e os resultados estão apresentados na tabela 7.

Tabela 7: Resistência à Compressão

	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistência Média (MPa)</b>	<b>ABNT 15.270/2005</b>
<b>CORPO DE PROVA</b>	165,9	3,3	1,5

As amostras analisadas apresentaram resultado de 3,3 MPa, representando o dobro do valor limite estipulado pela norma ABNT NBR 15 270/2005, que é de 1,5 Mpa. O valor obtido no ensaio permite classificar a argila estudada como uma matéria-prima de ótima qualidade capaz de gerar, durante o processo de fabricação, blocos de vedação

cerâmicos com elevada resistência à compressão (Tabela 7).

Os grãos com dimensões aproximadas tendem a se acomodar mais facilmente, com a compactação exercida pela prensagem, a massa cerâmica permanece mais coesa, reduzindo a possibilidade de deformação, trincas e microfissuras.

## 4.2 Caracterização química

### 4.2.1 Difração de Raio X – DRX

De acordo com os difratogramas obtidos, pode-se afirmar que as amostras de argilas analisadas são compostas pelos minerais caulinita, quartzo, muscovita, ortoclásio, anortita e sanidina (Fig. 4 e Tabela 8). A

quantificação aproximada de cada amostra foi possível por meio da análise do Raio Iônico de Referência (RIR), obtidos dos padrões do programa X'Pert HighScore Plus, utilizado para a identificação das fases minerais de cada amostra de sedimento.

Nesta análise a amostra **A** possui em torno de 25% de quartzo, 10% de caulinita 60% de ortoclásio e 5% de muscovita. Na amostra **B** o quartzo aparece com 35%, a caulinita com 15%, o ortoclásio com 40% e a muscovita com 10%. Na amostra **C** o quartzo aparece com 30%, a caulinita com 10%, o ortoclásio com 50% e a muscovita com 10%. Em torno de 25% da amostra **D** é quartzo, 20% caulinita, 50% é ortoclásio e cerca de 5% é

muscovita. Estes valores são aproximados e foram obtidos por meio do (RIR) raio iônico de referência, provenientes dos arquivos PDF (powder diffraction files), do ICDD, (International Center for Diffraction Data) contidos no programa X'Pert HighScore Plus.

### 4.2.2 Fluorescência de Raio X – FRX

As características químicas foram analisadas, em cada amostra, com o uso do FRX para a determinação dos óxidos de elementos maiores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MnO}$  e  $\text{Cl}$ ).

Os elementos dominantes observados foram  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . A amostra **C** apresentou o maior percentual de  $\text{SiO}_2$  (54,81%), e a amostra **A** o menor percentual (40,45%), corroborando com a granulometria e comportamento plástico das amostras (Tabela 9).

O elevado teor de  $\text{FeO}_{\text{Total}}$  nas amostras **A** (32,49%), **B** (22,72%), **C** (17,30%) e **D** (28,80%) reflete facilmente a coloração avermelhada nas peças cerâmicas, mesmos em temperaturas de queima mais baixas, como à 700°C.

Tabela 8: Composição mineralógica, com base nos resultados de difração de raio X.

AMOSTRA	MINERAIS E PORCENTAGEM
<b>A</b>	ortoclásio 60%, quartzo 25%, caulinita e tosudita 10% e muscovita 5%
<b>B</b>	ortoclásio, anortita e albita 40%, quartzo 35%, caulinita 15% e muscovita 10%
<b>C</b>	ortoclásio e albita 50%, quartzo 30%, caulinita 10% e muscovita 10%
<b>D</b>	ortoclásio e sanidina 50%, quartzo 25%, caulinita 20% muscovita 5%

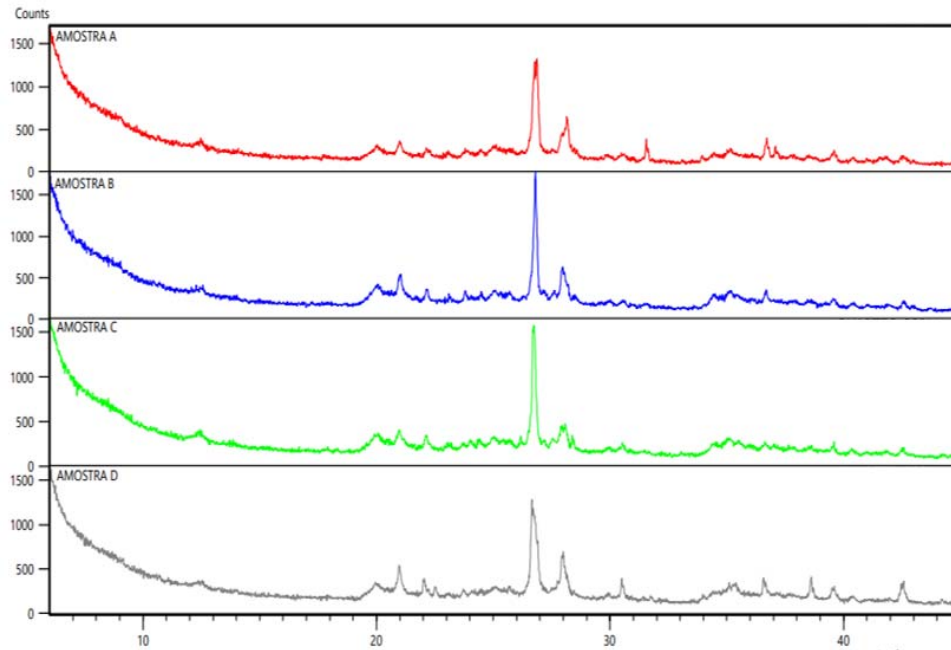


Figura 4: Difractogramas mostrando a composição mineralógica das quatro amostras A, B, C e D. As argilas são formadas por Caulinita, Quartzo, Muscovita e Feldspatos (Ortoclásio, Anortita e Sanidina).

As amostras analisadas possuem um teor de ferro variando de 17,30% na amostra **C** (com menor teor) e 32,49% na amostra **A** (com maior teor), demonstrando

que, apesar da variação chegar à quase metade do valor (46,8%), a referida cor avermelhada, observada após a queima não exibe esta variação.

Tabela 9: Percentual dos Óxidos obtidos na FRX.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)	AMOSTRA A	AMOSTRA B	AMOSTRA C	AMOSTRA D
<b>SiO<sub>2</sub></b>	40,45	48,88	54,81	43,03
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	13,13	12,18	11,15	14,21
<b>TiO<sub>2</sub></b>	3,88	3,69	2,96	3,74
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	32,49	22,72	17,30	28,80
<b>K<sub>2</sub>O</b>	4,82	6,16	5,76	5,50
<b>MnO</b>	0,32	0,46	0,34	0,36
<b>CaO</b>	3,43	4,79	5,77	3,75
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	-	0,81	-	-
<b>MgO</b>	-	-	0,70	0,35
<b>SrO</b>	0,12	0,12	0,08	0,13
<b>Cl</b>	0,44	0,22	0,17	0,61
<b>Rb<sub>2</sub>O</b>	0,14	0,06	-	0,06
<b>SrO</b>	0,12	0,06	-	0,06



## 5. CONCLUSÕES

Os sedimentos argilosos estudados são provenientes de depósitos fluviais do rio Choró. A amostra **C** devido à ausência de silte e elevado percentual de areia, é classificada como areia fina argilosa, o que a torna menos resistente à compressão, mais permeável e menos plástica. As amostras **A**, **B** e **D** apresentam comportamento semelhantes entre si, um percentual de material fino (silte e argila) próximo a 95%.

Com base nas caracterizações físico-químicas tratam-se de sedimentos formados por argilas de origem sedimentar fluvial. Exibem comportamento refratários, plásticos, ricos em alumina, com presença de ferro. Apresentam coloração marrom avermelhada após a queima, e composição química semelhante entre as amostras coletadas, diferenciando a amostra **C** por seu caráter granulométrico mais grosso.

A temperatura ideal de queima para a produção de blocos de vedação cerâmicos é de 800°C, tendo em vista uma retração linear de 2,12 mm, perda de massa de 10,14% e índices de absorção de água de 10% para os corpos de prova analisados. O traço utilizado com duas proporções da amostra **C** e uma proporção da amostra **B**. Apresenta um bom desempenho físico-mecânico, mostrando que pode-se aplicá-lo na produção de peças cerâmicas em obras civis, destacando excelente empacotamento granulométrico, alta resistência à compressão, baixa

permeabilidade, baixa perda de massa.

As análises químico-mineralógicas demonstram que as amostras de argilas são compostas pelos minerais caulinita (variando entre 20 a 10%), quartzo (variando de 35 a 20%), muscovita (variando entre 10 e 5%) e ortoclásio (variando de 60 a 40%), anortita e sanidina. As análises químicas, com determinação dos óxidos de elementos maiores revelou que os elementos dominantes foram SiO<sub>2</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. A amostra **C** apresentou o maior percentual de SiO<sub>2</sub> (54,81%), enquanto que a amostra **A** o menor percentual (40,45 %), corroborando com a granulometria e o comportamento plástico das amostras. O teor de FeO<sub>Total</sub> apresentou-se bastante variável, de 17,30% até 32,49%, cuja diferença atinge 53,23%. Este óxido possui importância fundamental na fabricação nas peças cerâmicas, pois é responsável pela coloração avermelhada, mesmos em temperaturas mais baixas de queima (à 700°C). Porém em excesso pode ocasionar o enfraquecimento e a quebra das peças.

Correlacionando-se a análise mineralógica com a análise quantitativa, observou-se que o maior teor de alumínio na amostra **D** (14,21%) é coerente com a maior concentração de caulinita e muscovita, cujo somatório atinge 25%. Já as quantidades de K<sub>2</sub>O são semelhantes entre as amostras refletindo a forte presença de minerais ricos em potássio como: microclínio, ortoclásio, sanidina, caulinita, dickita e muscovita, cujos

somatórios chegam à 65%. A presença de CaO mais expressiva nas amostras **B** e **C** se deve, provavelmente, pela presença da anortita nas argilas conforme registrado na difração de raios X.

Com base nos resultados obtidos, considerando as características, granulométricas, plásticas e sua composição mineral, a argila da região de Guanacés, porção centro norte do município de Cascavel possui características físico mecânicas que refletem sua composição química mineralógica. Todas as amostras são plenamente indicadas e adequadas para a produção de peças cerâmicas (blocos de vedação) destinadas à construção civil, de acordo com as proporções testadas e aprovadas por meio dos ensaios normatizados.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao LAGETEC, ao Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada (LGMA) do Departamento de Geologia; ao Laboratório de Raios X do Departamento de Física do Centro de Ciências e ao Laboratório de Desenvolvimento de Materiais Cerâmicos, do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, do Centro de Tecnologia da UFC, os quais possibilitaram todas as condições possíveis para a realização desta pesquisa.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALBERS, A.P.F.; MELCHIADES, F.G.; MACHADO, R.; BALDO, J.B. & BOSCHI, A.O. Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de

raios X. *Cerâmica*, 48:34-37, 2002.

ALMEIDA, F.F.M., BRITO NEVES, B. B., DAL RÉ CARNEIRO, C. The origin and evolution of the South American Plataform. *Earth-Science Reviews*, Volume 50, Issues 1-2, p. 77-11. 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180, Solo- Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-1 — Componentes cerâmicos — Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos, Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-2— Componentes cerâmicos — Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural — Terminologia e requisitos, Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-3 - Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação, Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459, Solo - Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

BRANCO, Pércio de Moraes. Dicionário de Mineralogia e Gemologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 608 p. il.

CAVALCANTE J. C., Vasconcelos A. M., Medeiros M. F., Paiva I.P., Gomes F. E. M., Cavalcante S. N., Cavalcante J. E., Melo A. C.

- R. Duarte Neto V. C., Benevides H. C., Mapa Geológico do Estado do Ceará – Escala 1:500.000. MME/CPRM. 2003.
- CAVALCANTE, I. N. Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos na região metropolitana de Fortaleza, estado do Ceará. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 164 p. São Paulo. 1998.
- CEARÁ, IPLANCE. Atlas do Ceará. 65 p. Mapa colorido, Escala 1:1.500.000. Fortaleza. 1997.
- CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. Plano Estadual de Recursos Hídricos: Atlas. 4v, v.1. Fortaleza, 1992.
- DIAS, F. W. C., CAVALCANTE, I. N., SABADIA, J. A. B., VIANA, N. O., LOPES, C. R. M., Hidrogeologia dos Municípios de Pacajus e Chorozinho, porção Sul da Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará-Brasil. *Águas Subterrâneas*. 18p. 2005.
- GOMES, C. F. 1988. Argilas: o que são e para que servem. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa. 457p.
- PICOLLI, R.; NASCIMENTO, G. C.; PERDONA, C. R.; PERUCCHI, P.B.; VITORETTE, P. J.; WERNCKE, A. S. W. A Importância da Utilização da Difração de raios X na Caracterização de Argilas. In: 53º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Guarujá. 2009.
- SCAPIN, M. A. Aplicação da Difração e Fluorescência de Raios X (WDXRF): Ensaio em Argilominerais. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo. 2003.
- SOUZA, M.J.N. Bases Naturais e Esboço do Zoneamento Geoambiental do Estado do Ceará. In: LIMA, L.C. (Org.). Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará. Fortaleza: FUNECE, 2000.