

Estudo da Potencialidade da Produção de Adoquim com Massa Cerâmica Utilizada em Telhas Prensadas

Diego Silva Ferreira^{a*}, Renan Maycon Mendes Gomes^b, Wendel Melo Prudêncio Araújo^c, Roberto Arruda Lima Soares^d

^aCentro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA, Teresina, PI, Brasil

^bCentro Universitário NovaFapi – UNINOVAFAPI, Teresina, PI, Brasil

^cUniversidade Federal do Pará – UFPA, Belém, PA, Brasil

^dInstituto Federal do Piauí – IFPI, Teresina, PI, Brasil

*e-mail: diegof.engenheiro@gmail.com

Resumo

Este trabalho teve como objetivo avaliar a produção de um pavimento cerâmico, conhecido como adoquim, utilizando massa cerâmica de telhas prensadas. A matéria-prima foi caracterizada por fluorescência de raios X, difração de raios X, análise termogravimétrica e quanto a plasticidade. Moldou-se os corpos de prova por prensagem nas dimensões 250x125x80mm e em seguida foram queimados nas temperaturas de 950 °C, 1050 °C e 1150 °C. Avaliou-se os corpos de prova sinterizados quanto a retração linear de queima, massa específica aparente, absorção de água e resistência à compressão. Analisou-se também após queima a microestrutura por difração de raios X e a microscopia eletrônica de varredura. Os resultados demonstraram que o adoquim produzido na temperatura de 1150 °C apresentou os melhores resultados dentre as três temperaturas de queima estudadas, demonstrando um grande potencial o uso dessa massa argilosa na fabricação de Adoquim.

Palavras-chave: pavimento, massa cerâmica, queima.

1. Introdução

A abundância de matérias-primas naturais, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologias práticas ligadas aos equipamentos industriais, fizeram com que as indústrias cerâmicas brasileiras evoluíssem muito rápido e muitos tipos de produtos dos diversos segmentos cerâmicos atingissem nível de qualidade internacional¹.

As cerâmicas piauienses, de modo geral, apresentam produção de blocos de vedação, telhas, lajotas, blocos estruturais e peças decorativas, com destaque na produção de telhas e tijolos, mas não apresenta produto cerâmico voltado para utilização em passeios e vias públicas.

O processo de inovação deve ser contínuo e é fundamental para a indústria cerâmica conservar e incrementar a sua competitividade, pois, além de estratégia direcionada ao aumento de produção e otimização de custos, também melhora o uso dos recursos minerais e tecnológicos existentes². Dessa forma, o crescimento do desenvolvimento do setor cerâmico do Piauí, em especial da Grande Teresina, demanda a introdução de novos produtos com alto valor agregado. O adoquim cerâmico destaca-se como potencial inovador, além de possibilitar aproveitamento de resíduos da própria indústria cerâmica, como o chamote, e de outros tipos de indústrias como matéria-prima para sua confecção.

O adoquim cerâmico é um pavimento intertravado que apresenta inúmeras características benéficas como uma grande vida útil, elevada resistência mecânica, cores naturais e facilidade de implantação e reparação, tendo

em vista que as obras podem ser liberadas ao tráfego imediatamente após a execução.

Portanto, as características do adoquim associadas ao fator do Piauí apresentar uma das melhores argilas vermelhas do país, despertou o interesse do meio acadêmico para o desenvolvimento deste pavimento para atender o mercado local, utilizando a matéria-prima das telhas prensadas.

2. Material e Métodos

2.1. Matéria-Prima

Na elaboração deste estudo, foi utilizada como matéria-prima a massa argilosa coletada em uma indústria cerâmica na região da Grande Teresina. Obteve-se do silo da indústria aproximadamente 150kg da argila utilizada para a fabricação de telhas prensadas, já moída e peneirada na peneira de #50 mesh, onde foram ensacadas em sacos de polipropileno e acondicionadas em laboratório.

Procedeu-se com o quarteramento de todo o material colhido para obtenção de uma amostra representativa, em torno de 2kg. Encaminhou-se em seguida para a estufa a temperatura de 110 °C para os ensaios de análises químicas, mineralógicas e físicas.

Foram analisadas as seguintes características da matéria-prima;

- Limite Liquidez;
- Limite de Plasticidade;

- Índice de Plasticidade;
- Fluorescência de Raios X;
- Difração de Raios X;
- Análise Térmica.

A execução dos ensaios da mistura argilosa coletada e a utilização da aparelhagem seguiram as padronizações das ABNT NBR 6459/16³ e NBR 7180/16⁴.

O ensaio de fluorescência de raios X por energia dispersiva foi realizado no espectrômetro por fluorescência de raios modelo Epsilon 3 – XL da PANalytical, presente no laboratório de materiais do IFPI. O ensaio de difração de raios X foi realizado utilizando-se amostragem em pó, no equipamento XRD-6000 Shimadzu com tubo de Cu ($\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$). A tensão utilizada foi de 40 kV e a corrente foi de 30 mA, com varredura de 2° a 80° para 2 θ , com velocidade de 2°/min e passo de 0,02°/passo.

A avaliação térmica da matéria-prima foi realizada no Analisador Termogravimétrico TGA-51H SHIMADZU alocado no laboratório de materiais do IFPI. Para a análise, foi utilizada em torno de 15 mg da mistura argilosa, com granulometria inferior a 200 mesh, sob um fluxo de ar sintético de 50 mL/min. A taxa de aquecimento foi de 10°C/min entre 27°C e 1150°C. A análise dos resultados e a obtenção da curva derivada da TG denominada DTG, foram realizadas utilizando-se o programa de computador denominado TA-60 WS Collection, para análises térmicas da SHIMADZU.

Realizou-se o ensaio de água residual para a identificação da quantidade de água a adicionar para a moldagem dos corpos de prova por prensagem. No processo de prensagem dos corpos de prova com dimensões de 250x125x80mm, utilizou-se a prensa manual Verde Equipamentos, figura 1a, e para a queima utilizou-se o Forno Jung modelo LF10014, figura 1b com taxa de aquecimento de 2 °C por minuto com patamar de 90 minutos nas temperaturas de 950 °C, 1050 °C e 1150 °C, figura 2a, b e c.

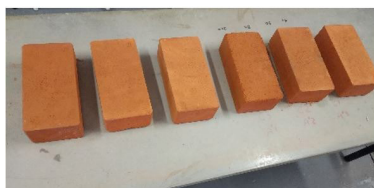


(a)



(b)

Figura 1. Equipamentos de moldagem e queima dos corpos de prova; (a) prensagem dos corpos de prova; (b) forno para queima dos corpos de prova.



(a)



(b)



(c)

Figura 2. Pavers cerâmicos queimados nas diferentes temperaturas; (a) 950 °C; (b) 1050 °C; (c) 1150 °C.

Nas peças cerâmicas sinterizadas foram aferidas as características abaixo listadas;

- Retração Linear de Queima;
- Absorção de Água;
- Massa Específica Aparente;
- Resistência à Compressão;
- Difração de Raios X;
- Microscopia Eletrônica de Varredura.

A execução dos ensaios, nos corpos de prova queimados, seguiu as normatizações das ABNT MB-305⁵, NBR 12.766/92⁶ e NBR 9781/13⁷. Na difração de raios X utilizou-se o mesmo equipamento citado acima. No ensaio de microscopia eletrônica de varredura utilizou-se o modelo SSX-550 da marca SHIMADZU. Os procedimentos normativos foram realizados no laboratório de materiais do IFPI, com exceção do ensaio de resistência à compressão que foi executado no laboratório mecânico da UNIFSA.

3. Resultados e Discussões

3.1. Resultados de caracterização da matéria-prima

Os limites de consistência de Atterberg podem ser classificados segundo Senai⁸, conforme consta na tabela 1.

Para se verificar a plasticidade da amostra argilosa precisa-se obter antes os valores de limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP) para em seguida aplicar a expressão $IP = LL - LP$, conforme a NBR 7180/16⁴.

Os resultados obtidos dos limites de consistência realizados na matéria-prima estão representados na tabela 2, onde foi classificada como excelente, conforme classificação acima.

Conforme os resultados obtidos nos ensaios de composição mineralógica (DRX), composição química (FRX) e análise racional ilustrados na Figura 3 e Tabelas 3 e 4,

respectivamente, a amostra de argila analisada apresenta, predominantemente, materiais argilosos do grupo ilita $[(K,H_3O)Al_2Si_3Al_{10}(OH)_2]$ que é amplamente utilizada na produção de produtos de base vermelha. A presença do quartzo na massa melhora a secagem e a liberação de gases de queima, minimizando a retração além de apresentar um importante papel na microestrutura da peça cerâmica. A dolomita encontrada contribui na melhoria da estabilidade dimensional e resistência mecânica dos corpos cerâmicos.

No ensaio termogravimétrico, figura 4, observa-se que para a faixa de temperatura de 450 °C e 625 °C ocorre a maior perda de massa decorrente da queima da matéria orgânica e da dissociação da água de constituição dos argilominerais. Na faixa de 625 °C a 1150 °C a perda de 2,8% deve-se principalmente a decomposição da dolomita com a saída do CO₂.

3.2. Caracterização física dos corpos de prova queimados

A Tabela 5 e a Figura 5 apresentam os resultados dos ensaios de Retração Linear de Queima (RLQ), Absorção de Água (AA), Massa Específica Aparente (MEA) e Resistência à Compressão (RC). Observa-se que as retrações de queima crescem com o aumento da temperatura de queima. Isto ocorre devido a maior densificação dos corpos cerâmicos, decorrentes da mais intensa sinterização. Vale informar que as normas para pavimentos cerâmicos não especificam requisitos quanto a RLQ, mas observou-se que na temperatura de 1150 °C apresentou a maior retração linear de queima, favorecendo a estabilidade dimensional do produto cerâmico.

O resultado da absorção de água indica uma redução significativa com o aumento da temperatura. Esta redução deve estar atribuída ao maior grau de sinterização adquirida com o crescimento da temperatura de queima, ratificando com o aumento da retração linear de queima. Os dados obtidos da massa específica mostram um aumento gradual com a elevação da temperatura de queima, o que se justifica pela sinterização por fluxo viscoso (vitificação)

Tabela 1. Classificação da argila ou caulim, quanto ao índice de plasticidade.

Argilas	Excessivamente plástica	Excelente	Boa	Regular	Fraca	Material de capa
Índice de Plasticidade (%)	19 a 25	17 a 18	15 a 16	13 a 14	11 a 12	5 a 10

Tabela 2. Limites de consistência de Atterberg da matéria-prima.

Matéria-prima	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Classificação
Massa argilosa	45	27	18	Excelente

Tabela 3. Análise química por fluorescência de raios X.

Amostra	Análise Química por Florescência de Raios X da Matéria-prima (% em peso)							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO ₂	MgO	TiO ₃	Outros
Massa Cerâmica	55,19	20,65	12,63	5,43	1,34	2,41	1,53	0,82

Tabela 4. Concentração das fases cristalinas da massa cerâmica.

Matéria-prima	Fases identificadas (%)		
	ilita	quartzo	dolomita
Massa cerâmica	60,50	36,00	3,50

Tabela 5. Ensaios físicos dos corpos de prova queimados nas diferentes temperaturas.

TEMPERATURA	RLQ (%)	AA (%)	MEA (g/cm ³)	RC (MPa)
950 °C	1,39	23,05	1,59	7,52
1050 °C	3,94	17,78	1,7	9,52
1150 °C	7,11	9,83	1,92	34,38

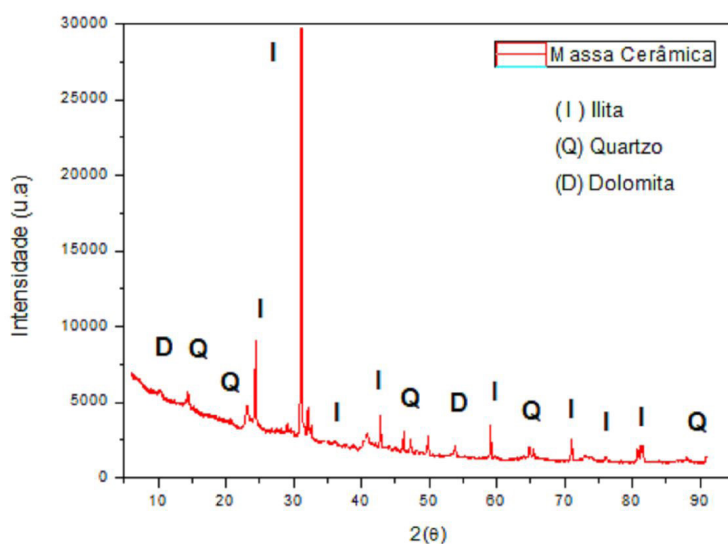


Figura 3. Difratograma de raios X.

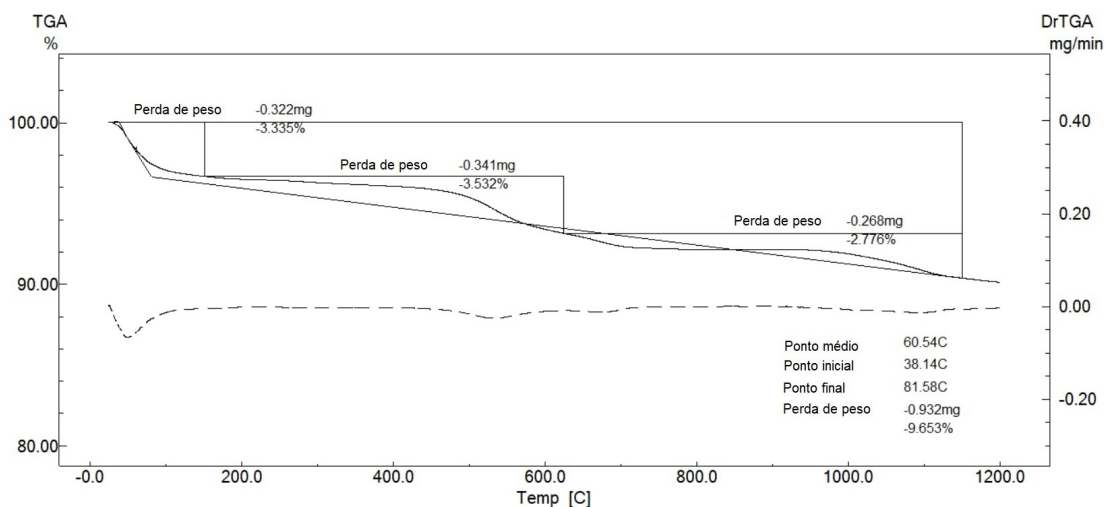


Figura 4. Curva termogravimétrica (TG) com derivada (DTG) da massa cerâmica.

contribuindo na densificação dos corpos de prova, e estando de acordo com a RLQ e AA, pois quanto maior a densidade do corpo cerâmico menor os espaços vazios no seu interior.

No ensaio de resistência à compressão, observa-se, entre as temperaturas de 1050 °C e 1150 °C, um enorme incremento de resistência mecânica, corroborando com os ensaios de MEA e RLQ. Isto se deve provavelmente a uma maior formação de fase líquida (vitrificação) na temperatura de 1150 °C.

3.3. Caracterização microestrutural dos corpos de prova queimados

Nos respectivos difratogramas verificam-se picos de difração das fases cristalinas referentes a quartzo (SiO_2), ortoclásio (KAlSi_3O_8), hematita (Fe_2O_3), espinélio (Al_2MgO_4) e mulita ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$) corroborando com o FRX que identificou os óxidos de silício, alumínio, ferro, potássio e magnésio. Observando as figuras 6-8, o quartzo e a hematita são fases presentes em todas as temperaturas

estudadas e devido ao seu alto ponto de fusão o quartzo é a fase predominante. O ortoclásio é identificado somente na temperatura de 950 °C, justificando o maior valor de AA e os menores valores de RLQ e RC. O espinélio e a mulita foram identificados somente na temperatura de 1150 °C, o que justifica o aumento de aproximadamente 260% da resistência mecânica em relação aos queimados na temperatura de 1050 °C.

A figura 9 apresenta as micrografias da região fraturada dos corpos de prova nas temperaturas de 950 °C e 1150 °C com ampliações de 300 e 600 vezes, respectivamente, no qual observa-se que as micrografias (a) e (b) mostram uma topografia mais grosseira e rugosa, maior quantidade de poros com maior tamanho e de forma irregulares, indicando uma sinterização menos acentuada em comparação com as micrografias (c) e (d), que mostram uma topografia característica de um corpo cerâmico com bom nível de sinterização, ou seja, uma estrutura lisa e bastante vitrificada, apresentado poros isolados e de forma esférica que caracterizam a fase final de sinterização.

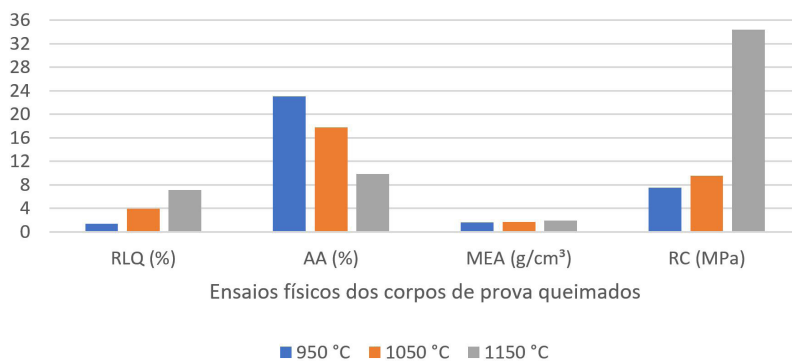


Figura 5. Gráfico dos ensaios físicos dos corpos de prova queimados nas diferentes temperaturas; RLQ – Retração Linear de Queima; AA – Absorção de Água; MEA – Massa Específica Aparente; RC – Resistência à Compressão.

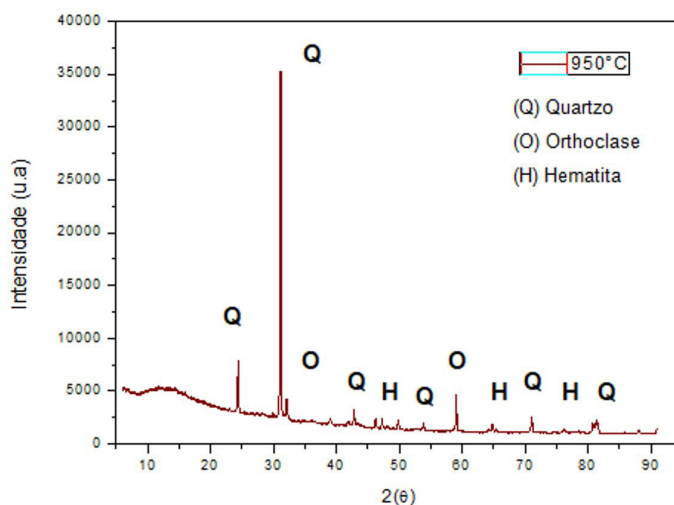


Figura 6. Difração de raios X do corpo de prova queimado a 950 °C.

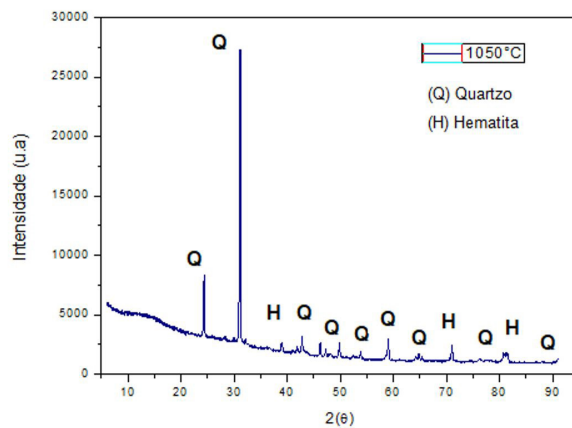


Figura 7. Difração de raios X do corpo de prova queimado a 1050 °C.

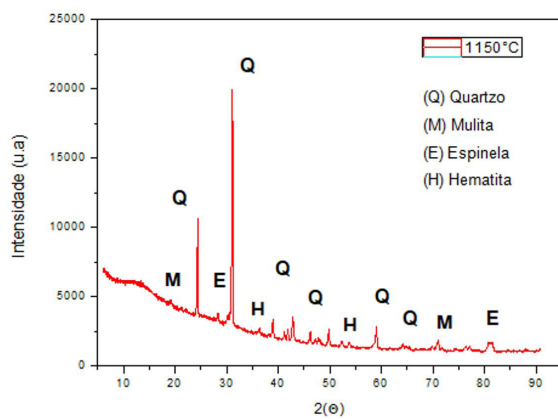


Figura 8. Difração de raios X do corpo de prova queimado a 1150 °C.

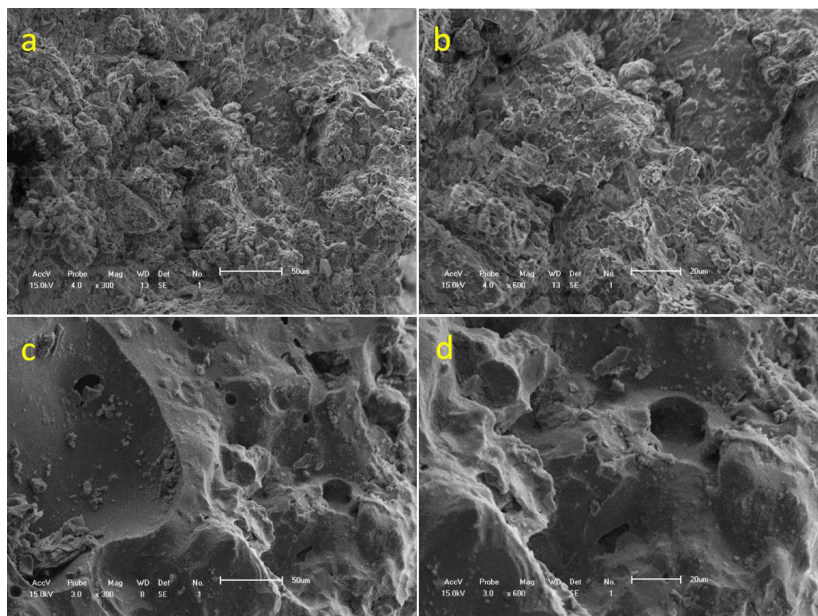


Figura 9. Fotomicrografias por MEV da superfície de fratura dos corpos de prova na temperatura de 950 °C (a) 300x e (b) 600x e na temperatura de 1150 °C (c) 300x e (d) 600x.

4. Conclusão

As análises química, mineralógica e térmica mostraram que a massa argilosa estudada é formada por argilas fundentes de queima vermelha com alto teor do argilomineral ilita, ou seja, são argilas típicas aplicadas na fabricação de produtos cerâmicos estruturais.

O aumento das temperaturas de queima dos corpos de prova influenciou positivamente as propriedades de absorção de água, massa específica aparente e resistência mecânica. O resultado de absorção de água mostrou um maior fechamento dos poros com o aumento da temperatura de queima. Este resultado é corroborado com o aumento da massa específica aparente no qual apresentou um aumento gradual com o incremento da temperatura.

O ensaio de resistência à compressão mostrou que o resultado na temperatura de 1150 °C obteve o maior valor entre as três temperaturas estudadas, justificado principalmente pela formação de fase líquida (vitrificação) pelas formações do espinélio e mulita corroborados pelos difratogramas de queimas e pelas fotomicrografias por MEV.

Os resultados mostraram que o uso da massa cerâmica utilizada na fabricação de telhas prensadas é uma alternativa viável para produção do pavimento cerâmico, Adoquim, tendo em vista as características adquiridas, principalmente na resistência mecânica e absorção de água.

Referências

- 1 ABC ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. Cerâmica no Brasil- número do setor. Disponível em: <<http://www.abeceram.org.br>>. Acesso em: 07 de março de 2018.
- 2 VIVONA, D, Visão, desafios e novos rumos da cerâmica de revestimento. *Cerâmica Industrial*, 5, 2 (2000) 17.
- 3 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-6459 – Solo Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.
- 4 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180 – Determinação do limite de plasticidade: método de ensaio. Rio de Janeiro. ABNT, 2016.
- 5 ABNT.MB 305: Associação Brasileira de Normas Técnicas - Argila, argamassas, concreto e cimento refratário – Determinação da retração linear após secagem. Rio de Janeiro, 1987.
- 6 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-12766 – Rochas para revestimento - Determinação da massa específica aparente e absorção d'água aparente, Rio de Janeiro, 1992, 02p.
- 7 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9781 – Peças de concreto para pavimentação – Especificações e Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro. ABNT, 2013.
- 8 SENAI. Departamento Regional do Piauí. Especial de Tecnologia em Cerâmica Vermelha. Teresina – PI, 2008.