

ESTUDO DE ARGAMASSA E TIJOLOS DA PORTADA PRINCIPAL DO FORTE ORANGE, ITAMARACÁ, PE- BRASIL

Clara Diana Figueirôa Santos¹

Henry S. Lavalle Sullasi²

Marcos Albuquerque³

Manuel Alfredo Espinoza Sanchez⁴

Resumo: Este trabalho possuiu como objeto de estudo, argamassa e tijolos, vestígios da Portada Principal de uma fortificação holandesa nomeada Forte Orange; fruto de uma escavação arqueológica entre os anos de 2002 e 2003 na Fortaleza de Santa Cruz na Ilha de Itamaracá em Pernambuco. Foi realizado a caracterização macroscópica e microscópica destes materiais construtivos, utilizando a inspeção visual, microscópios, lâminas petrográficas assim como as técnicas de Difração de raios-X (DRX) e Fluorescência de Raios-X (FRX) e a Ressonância Paramagnética Eletrônica (RPE). A análise macroscópica, mostrou que ambos os tijolos, possuem uma mesma técnica de produção; resultado compatível com os valores obtidos da temperatura de queima através da RPE, 865°C para o tijolo amarelo e 820°C para o tijolo vermelho; Já na análise microscópica, composição química e mineralógica, associado ao estudo das prováveis fontes de matéria-primas, mostraram indícios que o tijolo amarelo, seja provavelmente proveniente da região holandesa da Frísia e o tijolo vermelho da região holandesa de Leiden. Já na argamassa os dados obtidos associam sua matriz sedimentar como provavelmente pertencente à Formação Barreiras **Palavras-chaves:** Caracterização mineralógica, caracterização química, Forte Orange.

Abstract: This paper has as study subject mortar and bricks remains of the principal portal of a Holland fortification called "Forte Orange" the samples was collected during a archaeological excavation between 2002 and 2003 in the "Fortaleza de Santa Cruz" located in "Itamaracá" Island Pernambuco. In this work, macroscopic and microscopic characterization were performed using visual inspection, microscopes, petrographic slides as well as X-ray Diffraction (XRD), X- Ray Fluorescence (XRF) techniques and Electronic Paramagnetic Resonance (RPE). The Macroscopic characterization showed that both bricks have the same production technique result compatible with the values obtained from the firing temperature through the RPE, (865 to yellow brick and 820 to red brick). In the microscopic analysis, chemical and mineralogical composition, associated with the study of the probable sources of raw materials showed indications that the yellow brick probably comes from the Dutch region of Frísia and the red brick from the Dutch region of Leiden. In the mortar the data obtained associate its sedimentary matrix as probably belonging to the Barreiras Formation. **Keywords:** Mineralogical characterization, chemical characterization, Forte Orange.

¹ Discente do Programa de Pós-Graduação em Arqueologia, Universidade Federal de Pernambuco-UFPE

² Docente do Programa de Pós-Graduação em Arqueologia, Universidade Federal de Pernambuco-UFPE

³ Laboratório de Arqueologia do Departamento de História, Universidade Federal de Pernambuco-UFPE

⁴ Laboratório de Estudos Arqueométricos Learq, Universidade Federal de Pernambuco-UFPE

Introdução

O estudo da Arqueologia visa compreender o comportamento humano através de seus vestígios materiais e imateriais, compreendendo a Arqueologia Colonial como o estudo dos processos de formação do mundo moderno que entende a sociedade como o resultado das transformações da vida cotidiana (South, 2007).

Considerando que quando o testemunho edificado pode estar ausente de registro documental bibliográfico, a Arqueologia buscará nestes dados materializados através de técnicas multidisciplinares, a fim de obter informações e poder avançar na interpretação e reconstrução da história do patrimônio.

Tendo em vista este conhecimento cada vez mais aprofundado do artefato e sua preservação para o conhecimento pelas sociedades futuras, um dos principais campos atuais de estudo é a Arqueometria, disciplina das ciências aplicadas que através de análises físico-químicas, diagnóstica, caracteriza estruturalmente, evidencia fatores contextuais, confere grau de autenticidade e insere cronologicamente os artefatos arqueológicos (Sullasi, Azevedo, *et al.*, 2008).

Para caracterização estrutural mineralógica destes materiais construtivos, utiliza-se da técnica de Difração de Raios-X que caracteriza identificando as estruturas cristalinas presentes na amostra, seu princípio se baseia na interação de um feixe de Raios-X o qual é difratado pelas faces cristalinas mineralógicas contidas na amostra e após a comparação destes padrões de difração podemos inferir as informações associadas às fases cristalinas presentes nela (Albers, Melchiades, *et al.*, 2002).

Para caracterização química destes materiais foi utilizada a Fluorescência de Raios-X cujo princípio desta é a interação do espectro de Raios-X com a amostra, este espectro por um tubo de Raios-X com a amostra analisada, esta energia é absorvida e emitida em forma de Raios-X característicos o que permite identificar cada elemento químico presente na amostra (Silva *et al.*, 2006).

Com estes dados podemos contribuir com estudos sobre o preparo, o uso, a originalidade e as propriedades mecânicas destes materiais. Também utilizamos o auxílio da Petrografia, que tem

por objetivo a descrição dos minerais e a análise das suas características estruturais mineralógicas, nos possibilitando compreender, traço, resistência, opacidade, porosidade, dureza, clivagem e densidade (Magalhães, 2015). Como também fizemos uso da Ressonância Paramagnética Eletrônica, uma técnica espectroscópica que mede a absorção de radiação de micro-ondas por espécies paramagnéticas, em particular para a determinação da temperatura de queima, que foi nosso objetivo, se faz o monitoramento do valor de g do centro paramagnético devido à presença do Fe^{3+} mudanças neste valor nos permite obter a temperatura de queima dos tijolos (Santos *et al.*, 2012), a qual deixa evidente a resistência, porosidade e outros fatores do nível de tecnológico dos fornos (Aramide, 2012).

Diante destas abordagens, pode-se construir com os resultados dos vários elementos, dados minuciosos a respeito dos materiais construtivos dos edifícios históricos, importantes em casos de ausência de conteúdo documental, a respeito da História, da Conservação e da Restauração.

Como elemento de pesquisa para este trabalho, optamos por caracterizar o material construtivo da principal portada do Forte Orange localizado em Itamaracá-PE, a qual atualmente encontra-se evidenciada após uma escavação arqueológica na Fortaleza de Santa Cruz, edificada sobre a antiga fortificação holandesa após 1654 com a retomada destas terras pelos portugueses.

Partindo do pressuposto de alto índice de preservação pós-destruição parcial em 1654, e de sua construção está devidamente representada em dados iconográficos de 1647, o presente trabalho apresentou como problemática o estudo de procedência e da técnica de elaboração destes materiais construtivos, tijolos e argamassas, considerando o Forte Orange é um representante materializado da ocupação holandesa em Pernambuco, portanto de relevância cultural e científica a sua conservação e caracterização de seus materiais componentes.

A Portada Principal do Forte Orange: Contextualização Histórica e sua Descoberta

A capitania Itamaracá foi criada junto à de Pernambuco em 1534, havendo uma povoação de portugueses, um porto e uma feitoria, e o açúcar produzido já era exportado para Portugal. No início do século XVII a capitania atingiu seu auge econômico, com 30 engenhos em forte produção açucareira, neste mesmo período, ocorreu à invasão holandesa (1630) á capitania de Pernambuco, e um ano depois à capitania de Itamaracá (Albuquerque, 2007; Barthel, 2007).

Posteriormente, em 1631 foi construído em Itamaracá um pequeno reduto como ponto de apoio intitulado Forte Orange sob o comando do coronel então governador Diederick van Waerdenburch (Barthel, 2007). Já em 1633 este reduto foi reformado e possivelmente ampliado, e em 1638 já sob a administração de Maurício de Nassau, passou a assumir uma configuração aproximada da encontrada no livro de Barleus, o chamado *Castrum Auriacum* (Albuquerque, 2007).

Possuidor de três etapas construtivas é na terceira que o Forte Orange assume uma entrada construída em alvenaria, em formato de arco intitulada “porta holandesa” que se encontraria voltada para o Canal de Santa Cruz, ao sul. Entre 1654 e 1696 o forte foi readaptado e parcialmente destruído, sendo por fim, soterrado por um novo modelo defensivo, a chamada Fortaleza de Santa Cruz, já então, luso-brasileira apresentando outra portada que se encontra voltada para o oeste, conforme figura 1(B) (Albuquerque & Barthel, 2016).

A descoberta arqueológica do Forte Orange se deu a partir de campanhas realizadas em 1971, onde foi realizado prospecções na Fortaleza de Santa Cruz a fim de coletar subsídios para uma restauração parcial na mesma; e mais duas campanhas nomeadas como “Projeto Orange”, ambas coordenadas pelos arqueólogos Marcos Albuquerque e Velda Lucena realizadas entre os anos de 2002 e 2003 contemplando áreas externas e internas da fortificação (Barthel, 2007).

Nestas campanhas, foi evidenciada a principal porta de entrada dos holandeses ao forte Orange, próximo a um corte realizado na área central da escavação no terrapleno 03, área direita à entrada atual do forte, estando por trás da casa de pólvora, conforme a figura 1 (B). Esta porta encontra-se inalterada desde sua parcial demolição na reforma da tomada portuguesa de 1654 (Albuquerque, 2007), sendo presente em sua estrutura: argamassa; tijolos amarelos, vindos da região da Frísia, na atual Holanda (Albuquerque & Barthel, 2016) e tijolos vermelhos, que possivelmente podem ser provenientes de Leiden, na Holanda (Mello Neto, *et al.*, 1981).

A Fortaleza de Santa Cruz possui 10.480 m² de área total, sendo 7.867 m² de área construída e 957 m² de área verde, localiza-se ao sudoeste da Ilha de Itamaracá na Praia do Forte em Pernambuco, a dois quilômetros da orla marítima e a 44,7Km da cidade do Recife; em coordenadas geográficas 007° 48' 38.6" S e 034° 50' 22.0" W conforme a figura 1 (A). Situa-se

numa planície costeira, possuidora de varias várzeas e terraços aluviais, com uma abundância em calcário, argila e areia (Barthel, 2007).



Figura 1: (A) Localização e situação da Fortaleza de Santa Cruz, Forte Orange, Ilha de Itamaracá, Pernambuco. (B) Planta de localização da Fortaleza de Santa Cruz, portada principal da planta portuguesa (oeste) e da planta holandesa (sul). Fonte: Arquivo pessoal.

Metodologias Aplicadas

Coleta das amostras

A coleta de material foi realizada na paginação esquerda da Portada Principal do Forte Orange conforme é mostrado na figura 2. Os tijolos e argamassas foram retirados de um ponto menos evidente de forma a não danificar a estrutura e a estética do referencial arqueológico, sendo este o ponto lateral superior da paginação esquerda da portada, ver figura 2 e 3;



Figura 2: Figura da evidência da Portada Principal do Forte Orange durante as escavações da segunda campanha 2002 e 2003. Ponto de coleta na portada principal do Forte Orange demarcado com uma seta, localizada na paginação esquerda, ponto lateral superior. Fonte: Albuquerque, 2007.



Figura 3: Coleta de amostras. A portada encontrava-se coberta por um plástico preto; as amostras coletadas foram acondicionadas da mesma forma até o laboratório. Fonte: Arquivo pessoal.

Os tijolos foram retirados em conjunto de modo que não se separasse um do outro até análise em laboratório, traduzindo-se em quatro tijolos inteiros e uma metade, ver tabela 1. Todos estes presentes em um mesmo contexto na mesma paginação, com exceção do tijolo vermelho inteiro que foi coletado solto ao lado da paginação. Em relação à argamassa, foi considerada argamassa interna por não ter sido exposta à intempérie.

Tabela 1: Codificação das amostras coletados.

Tijolos: Forte Orange – FO					
	Tijolo Amarelos - TA			Tijolos Vermelhos - TV	
Código	FOTA.01	FOTA.02	FOTA.03	FOTV.01	FOTV.02
Integridade	inteiro	inteiro	inteiro	inteiro	fragmentado

Análise Macroscópica das amostras

As amostras foram medidas em suas dimensões, fotografadas e analisadas quanto a sua granulometria com o uso da escala de *Wentworth* 1922, esfericidade, arredondamento e grau de seleção, conforme o uso da tabela de Compton (1962), sendo também estimadas as percentagens para cada atributo/intrusão identificado, conforme (Matos, 2009)

Análise Microscópica das amostras

Análise Microscópica por Lâminas Petrográficas.

Este tipo de análise foi utilizado para a caracterização mineralógica dos tijolos e a argamassa interna. Para isto, as amostras de tijolos foram levadas a uma máquina de corte abrasivo de alta

precisão, visando à obtenção de uma fração necessária da peça. O corte não foi necessário na argamassa por esta ser em pó. Posteriormente todas as amostras foram impregnadas por uma resina e submetida a um lixamento num composto abrasivo a base de carbureto de silício, de modo que possam ser coladas nas lâminas, através de uma resina epóxi incolor. Após um período de secagem de 24 horas, estas foram novamente submetidas a um desgaste de forma manual com auxílio do composto abrasivo a fim de obter uma espessura entre 30μ e 20μ e em seguida foram submetidas a um polimento com pasta diamantada. As lâminas de vidro foram limpas e aquecidas de Bálsamo do Canadá Natural em um cadinho sobre uma placa a 110°C , onde a montagem da lâmina se deu por meio da dispersão de uma pequena fração do material sobre a lâmina de vidro ainda aquecida e posteriormente recoberta com lamínula.

Após 24h de secagem as lâminas foram limpas com álcool etílico 96° GL e observadas em um microscópio óptico petrográfico binocular de modelo *Olympus BX51* com uma câmera acoplada de modelo *Olympus DP26* e o *software* utilizado para observar e fotografar foi o *Olympus Stream Essentials 1.7*.

Caracterização química e mineralógica por DRX e FRX

Para este tipo de caracterização as amostras de tijolos e argamassas foram trituradas e peneiradas até atingir a granulometria $\phi < 75\mu\text{m}$, foram preenchidos 4 eppendorfs de 2ml. Os conteúdos de dois deles foram usados para a caracterização mineralógica através da técnica de Difração de Raios X. O difratômetro utilizado foi do modelo Miniflex II da Rigaku, utilizando como feixe difrator a radiação do $\text{CuK}\alpha$; os parâmetros de medida utilizados foram passo de $0,02^{\circ}$ e uma velocidade de varredura de $1^{\circ}/\text{min}$. A identificação e quantificação de fases foi feita usando o *software Match!*. Já para a caracterização química elementar, foram usados os outros dois *eppendorfs*, através da técnica de Florescência de Raios X, a medição foi feita utilizando um equipamento portátil X-MET modelo 5100 da *Oxford instrument*.

Determinação da temperatura de queima por RPE

Para as leituras de RPE as amostras foram trituradas e peneiradas até atingir uma granulometria entre $75 < \phi < 150\mu\text{m}$, sendo necessárias alíquotas de 50mg de cada material, para cada medida, estas alíquotas foram colocadas em tubinhos de quartzo os quais foram colocados dentro da

cavidade do espectrômetro RPE, da *Bruker* modelo EMX usando a banda X, todas as medidas foram realizadas a temperatura ambiente.

Para a determinação da temperatura de queima dos tijolos, o procedimento utilizado foi: inicialmente foram produzidas um conjunto de cerâmicos, 10 unidades, com dimensões de 5x5 cm com altura de 1cm; a matéria-prima utilizada na elaboração destes cerâmicos é composto unicamente da argila proveniente do sítio arqueológico Valado, localizado na Serra do Marinheiro na Chapada do Araripe, PE. O preparo destas amostras consistiu no peneiramento da argila até obter uma granulometria de $\sim\phi < 22,5\mu\text{m}$. A esta água foi sendo adicionada até que a massa ficasse pastosa e pudesse ser adicionada a forma posteriormente foram postos a secagem a temperatura ambiente de 28º/29º. Cada unidade foi queimada a uma temperatura diferente (400, 500, 600, 700, 800, 900 e 1000°C) durante uma hora; usando um forno mufla digital modelo SP-1200DRP7/B.

Os parâmetros utilizados para registrar o sinal do Fe³⁺, em cada amostra, foram previamente ajustados e são mostrados na figura 4. Fazendo uso destes parâmetros foram registrados todos os espectros RPE, ver figura 5.

Receiver		Field	
Receiver Gain:	1.00e+002	Center Field:	3500.000 G
Phase:	0 deg	Sweep Width:	4000.000 G
Harmonic:	1	Resolution:	1100 POINT
Mod. Frequency:	100.000 kHz		
Mod. Amplitude:	1.000 G		

Signal Channel		Microwave	
Conversion:	60.000 ms	Frequency:	9.755100 GHz
Time Const.:	81.920 ms	Power:	3.991e+000 mW
Sweep Time:	66.000 s		

Figura 4: Parâmetros de medida do equipamento de RPE na aquisição dos espectros do centro do Fe³⁺.
Fonte: Acervo pessoal.

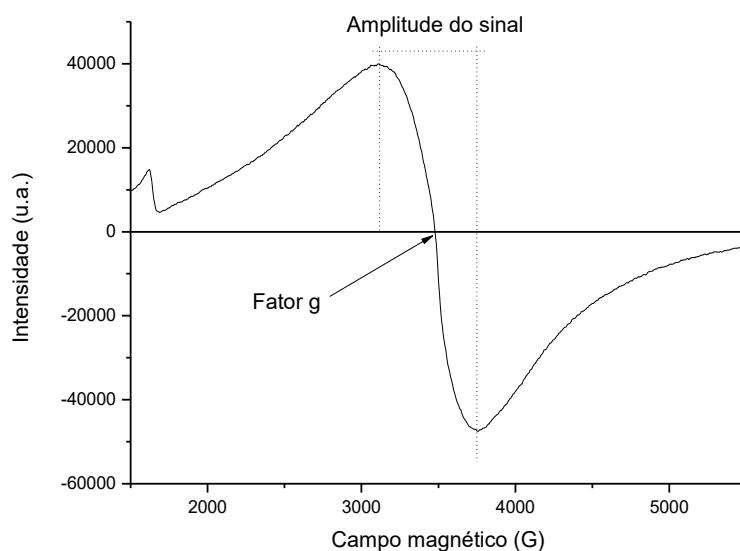


Figura 5: Exemplo de um espectro RPE das amostras de cerâmicas manufaturadas com destaque ao Fator g e amplitude do sinal do Fe^{3+} . Fonte: Acervo pessoal.

A partir dos espectros RPE, obtidos nas amostras produzidas, foi construída uma curva de calibração associando os valores de g e sua respectiva temperatura de queima. Finalmente, para a determinação da temperatura de queima dos tijolos, foram obtidos os espectros RPE, determinados os valores de g para cada um dos tijolos e estes valores foram interpolados na curva de calibração e desta forma estimar a temperatura de queima.

Resultados e Discussões

Análise Macroscópica

Inicialmente as amostras foram medidas quanto a suas dimensões conforme a tabela 2. Nestas medições foi possível observar que os tijolos coletados são semelhantes, considerando que a unidade FOTV-PP.02 é um fragmento. Estas informações coincidem com a descrição correspondente aos tijolos frísios, os amarelados, provenientes da região da Frísia, e os de Leiden, os avermelhados, ambos holandeses; com comprimentos entre 16,5 e 17 cm; larguras entre 7 e 10 cm; espessuras entre 3,0 e 4,5 cm; e “os de cor avermelhada com comprimento de até 24 cm, largura até 10 cm e espessura de até 5 cm” (Mello Neto, *et al.*, 1981, p. 103-104).

Tabela 2: Medições em cm das dimensões dos tijolos FOTA-PP e FOTV-PP coletados.

Tijolos: Forte Orange – Portada Principal					
Unidade	FOTA.01	FOTA.02	FOTA.03	FOTV.01	FOTV.02
Comprimento (cm)	17,5	17,5	17,0	18,0	7,5
Altura (cm)	3	2,5	3,5	3,5	3,5
Largura (cm)	8,5	8,5	7,6	8,6	8,5

Nas figuras 6ª e 6b do tijolo vermelho (FOTV-PP.01), podemos observar a aparência de ambos os lados do tijolo vermelho, e na figura 7ª e 7b a do tijolo amarelo (FOTA-PP.01). Os tijolos classificados com coloração amarelada apresentam arestas vivas, já os de coloração vermelha contém arestas de forma arredondada. As faces dos tijolos vermelhos são mais enrugadas e fraturadas e os amarelos possuem faces mais lisas e íntegras, indicando um maior grau de conservação e resistência mecânica.

Em relação ao peso, as pastas dos tijolos e argamassas foram trituradas e colocadas em potes de mesmo volume (50ml), obtendo massa de 25g para o tijolo amarelo, 28g para o tijolo vermelho, e de 23g para a argamassa interna. Estes dados mostram que o tijolo amarelo é mais leve que o vermelho. Já em relação à friabilidade, a amostra do tijolo vermelho se demonstrou mais friável que o amarelo ao realizarmos o ato de quebra, verificando também, maior facilidade de triturar a pasta dos tijolos vermelhos, que dos amarelos.



Figura 6: Tijolo vermelho, a) face superior e b) face inferior, unidade FOTV-PP.01.



Figura 7: Tijolo Amarelo, a) face superior e b) face inferior, unidade FOTA-PP.01

Na tabela 3, foram registrados, com o auxílio de um estereoscópio binocular, utilizando um aumento de 0,8x. Para cada grau de seleção da pasta, foram observados nas intrusões: granulometria, esfericidade e angulação dos grãos, conforme a porcentagem de cada intrusão identificada, segundo as tabelas de Wentworth, 1922 e Compton, 1962, e Matos, 2009.

Diante da granulometria da pasta, em ambos os casos, observou-se pastas constituídas unicamente de argila. Também podemos observar que o tijolo amarelo apresenta mais tipos de intrusões quando comparado com o tijolo vermelho o que nos indica que este último teve sua matéria-prima melhor selecionada. Mesmo assim, de forma geral, podemos afirmar que tratasse de uma mesma técnica de elaboração considerando, tamanho, pasta, homogeneização, molde e a presença de alguns atributos similares.

Tabela 3: Observações de pasta e intrusões no tijolo amarelo.

Tijolo	Amarelos	Vermelho
Os grãos de pasta são observáveis á lupa:	Não	Não
Intrusões		
% de Cal	~2%, com granulometria ~5mm e esfericidade não identificada.	Não observado
% de Material enegrecido	10%, com granulometria de até ~2 mm (Areia muito grossa), com alta esfericidade.	10%, com granulometria de até ~2 mm (Areia muito grossa), com alta e baixa esfericidade.
% de Material avermelhado	-1%, com granulometria de ~2mm (Areia muito grossa), com alta esfericidade.	Não observado
% de Buracos	5%, com granulometria de até 2mm (Areia muito grossa), com esfericidade alta	3%, com granulometria de até 1 mm (Areia grossa), com alta e baixa esfericidade
Grau de seleção da matéria-prima	Pobremente selecionado	Moderadamente selecionado

Na figura 8 se observa o aspecto visual da argamassa interna e quando fazemos uso da lupa, observamos a presença de grãos na pasta, de forma moderadamente selecionada por conter poucas intrusões identificadas como 3% de manchas de cal em tamanhos de 0,5 a 3 mm e 15% de pequenos grãos enegrecidos menores que 0,5 mm. Sua pasta no geral demonstrou um bom refinamento, seja nos grãos e na sua homogeneidade.



Figura 8: Argamassa interna.

Análise Microscópica

Análise Microscópica por Lâmina Petrográfica

Na figura 9, podemos observar a presença de algumas fases minerais contidas no tijolo vermelho, código FOTV-PP01. Como por exemplo, na figura 9^a é possível observar a presença do feldspato identificada pela sua clivagem paralela, além da presença do feldspato também foi possível observar a presença do quartzo anguloso, ver figura 9b e por último podemos mencionar a presença de nódulos ferruginosos os quais provavelmente são os responsáveis pela coloração avermelhada dos tijolos, ver figura 9c.

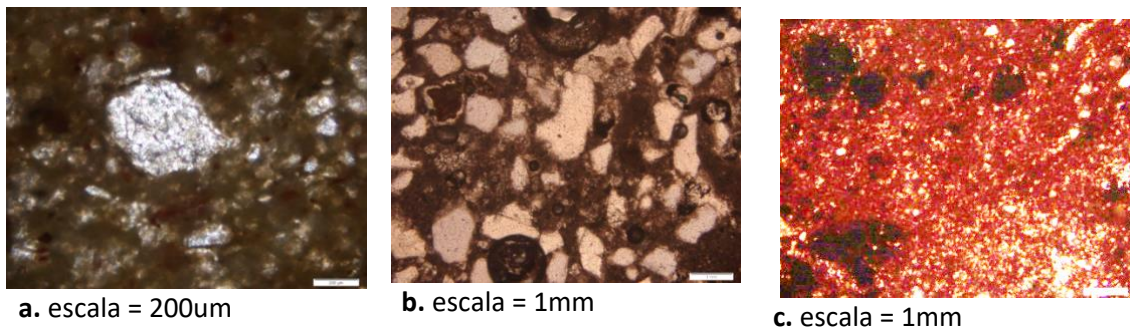


Figura 9. Fases mineralógicas da amostra FOTV-PP01, observadas ao microscópio polarizado a) Feldspato b) quartzo e c) nódulos ferruginosos

Contudo, na análise das lâminas petrográficas da pasta do tijolo amarelo, código *FOTA-PP01*, observamos novamente a presença de feldspato e quartzo ângulos, porém não foi possível observar os nódulos ferruginosos. Em relação à argamassa as lâminas petrográficas mostraram a presença de grãos de quartzo e de zonas opacas associadas com a presença de material orgânico, como pode ser observado na figura 10.

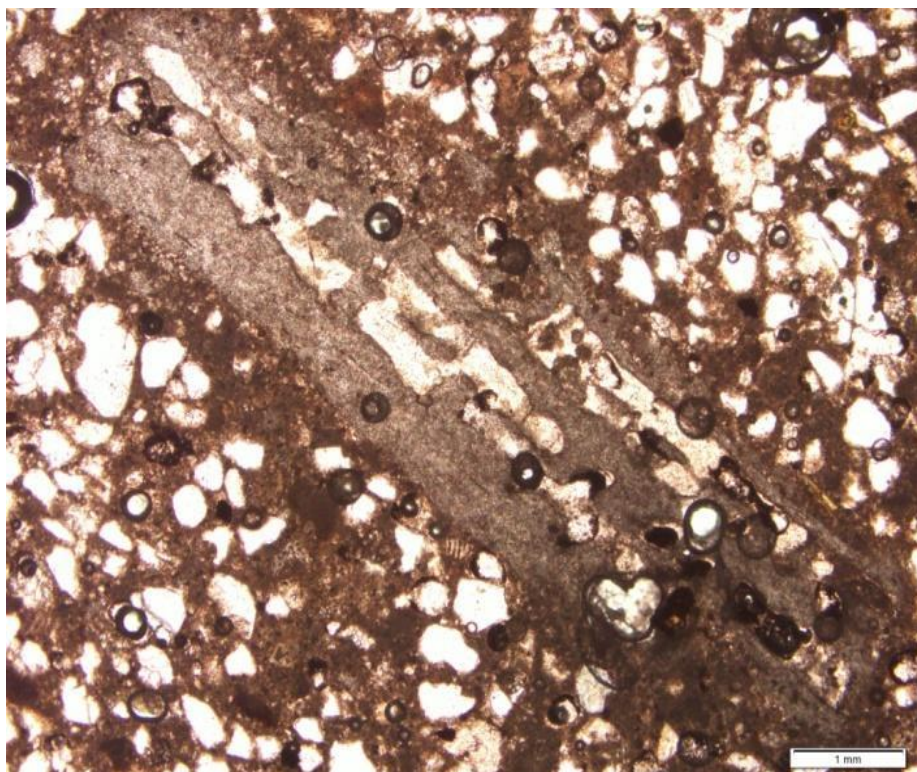


Figura 10. Lâmina correspondente a argamassa interna, com identificação de mancha opaca que pode corresponder à presença de matéria orgânica no material. Escala de 1mm

Caracterização mineralógica e química por DRX e FRX

Na figura 11, podemos observar o difratograma da amostra *FOTA-PP.02*. Nele foram indexadas as fases minerais cristalinas a partir da base de dados do software Match! E posteriormente foi feita uma quantificação das fases cristalinas observadas. Neste caso foi possível quantificar as fases minerais do quartzo e calcita em 82% e 16% respectivamente. O difratograma também mostra um pico em ~28 graus o qual pode estar associado com a presença de algum tipo de feldspato (provavelmente Anortita) porém em pouca quantidade. Resultados semelhantes foram observados em amostras de tijolos estudadas na cidade de Riga na Letônia, em que os espécimes calcários corresponderam a coloração amarelada e não calcárias a coloração avermelhada (Cultrone, Sidraba & Sebartián, 2004),

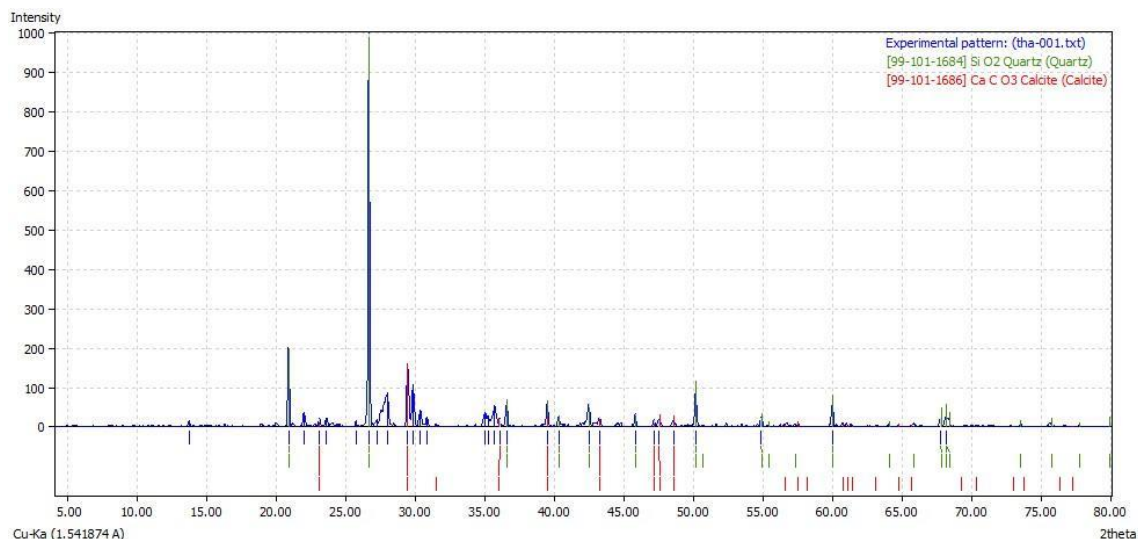


Figura 11: Gráfico correspondente ao resultado da análise por DRX da amostra FOTA-PP.02.

Tabela 4. Quantificação relativa das fases cristalinas identificadas nos tijolos e argamassa interna, utilizando o software Match!

Amostra (código)	Quartzo	Anortita (Feldspato)	Calcita
FOTV-PP02	~95%	~<5%	--
FOTA-PP02	~80%	~<4%	~16%
Argamassa interna	~36%	~<2%	~62%

Na tabela 4 observamos o quadro resumo das fases cristalinas observadas nos tijolos e argamassa interna. Como observado, ambos os tijolos têm fases cristalinas remanentes semelhantes, quartzo e anortita, entretanto o tijolo amarelo apresenta outra fase identificada

como calcita. Isto reflete que a argila referente ao tijolo amarelo trata-se de uma argila carbonática. Estes sedimentos são encontrados comumente em ambientes tropicais e subtropicais, além de algumas regiões do norte europeu, como os Países Baixos (Grotzinger e Jordan, 2013), são elementos bioclásticos, de alta plasticidade e resistência quando bem homogêneos. Suas fontes argilosas e de sedimentação podem conter diversos outros elementos como impurezas além da calcita, gerando uma variação de cores que varia entre o branco, bege, amarelado ou rosa claro (Grotzinger e Jordan, 2013). Já a argamassa com um maior percentual de calcita em relação ao quartzo o que representa uma argamassa de maioria calcária, portanto de boa resistência, com presença argilosa ou arenosa em sua composição, possivelmente como antiplástico para aumentar o seu índice de elasticidade e coesão entre os elementos (Coelho, Torgal e Jalali, 2009)

Na figura 12, são mostrados os principais elementos químicos que constituem os tijolos e argamassa, foi possível observar que o tijolo amarelo e vermelho (FOTA-PP.02) apresenta alto índice de silício, que infere a presença de quartzo. Podemos destacar a presença do elemento Ca, em maior quantidade no tijolo amarelo, condizente com a presença de calcita identificado na DRX, o que poderia estar também associado com a coloração amarelada. Por outro lado, a presença de valores maiores de K e Si no tijolo vermelho, mostra que tratasse de uma argila silicosa misturada com algum tipo de feldspato potássico, e na sedimentação em sua maioria encontra-se na forma de quartzo cristalino extremamente fino (Grotzinger e Jordan, 2013).

Na mesma figura 12, foram observados, porém em menores concentrações, os elementos químicos Mn, Sr e Zr, com quantidades maiores no tijolo amarelo. Outros dois elementos, Rb e Zn, também foram observados em concentrações muito baixas, semelhantes em ambos os tijolos.

Na figura 13, que mostra os resultados obtidos da FRX na argamassa, foi possível observar altos índices de cálcio e silício, além de altas concentrações ferro, alumínio e estrôncio. Trata-se, como visto anteriormente pela técnica de DRX, de uma argamassa de maioria calcária, portanto de boa resistência (Santiago, 2007).

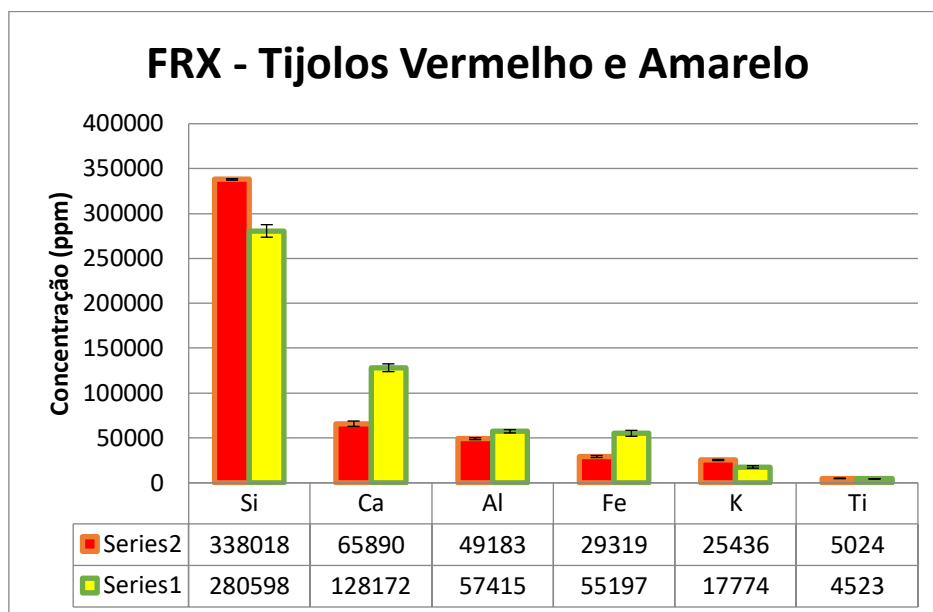


Figura 12: Resultados dos maiores índices de concentração da FRX nos tijolos correspondentes a etiquetas FOTA-PP.02 e FOTV-PP.02, com margem de erro ao topo de cada barra.

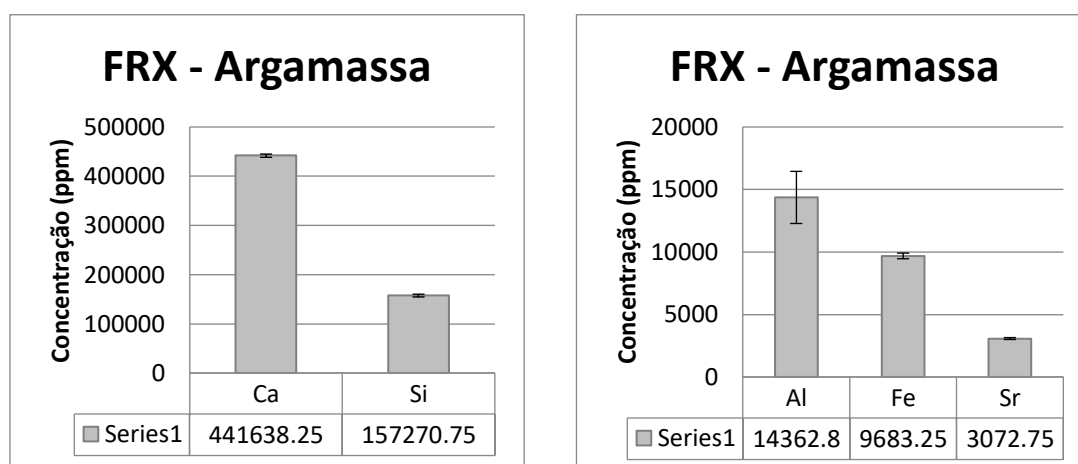


Figura 13: Composição química da argamassa por FRX.

A associação da matéria-prima dos tijolos e argamassa com as estruturas geológicas que afloram no Litoral Norte de Pernambuco onde está localizado a Fortaleza de Santa Cruz junto aos vestígios da fortaleza em estudo, o Forte Orange, está distribuída em: Formação Barreiras; Formação Beberibe; Formação Gramame; Formação Maria Farinha e Embasamento Cristalino (Andrade, Oliveira e Albuquerque, 2003).

A Formação Barreiras é constituída por sedimentos areno-argilosos não consolidados, constituídos por arenitos conglomeráticos com seixos de quartzo e blocos de laterita, nos quais se intercalam camadas siltico-argilosas, compostas por depósitos de granulometria variada, por areias quartzo-feldspáticas claras, incoerentes, de granulação fina a média, intercaladas, a argila cinza-esverdeada e matéria orgânica (Andrade, Oliveira e Albuquerque, 2003); inserindo contextualmente as características apresentadas pela matriz sedimentar da argamassa; além de traduzir alguns elementos que foram identificados nos tijolos como as porções siltico-argilosas.

Já a Formação Beberibe está constituída por arenitos continentais, apresentando na base uma predominância de leitos arenosos frequentemente conglomeráticos intercalados com níveis argilosos, e na parte superior arenitos finos com níveis de siltito e argilas cinzentas contendo restos de vegetais carbonizados; esta aflora na porção sudeste dos municípios de Igarassu e Goiana e em quase todo o município de Itapissuma; o que não se assemelha a nossas amostras (Andrade, Oliveira e Albuquerque, 2003).

De origem marinha, a Formação Gramame é fossilífera e tem sua deposição associada à fase marinha transgressiva do Cretáceo Superior. Apresenta uma face fosfática, e uma calcária sobreposta à anterior e constituída por calcários areno-argilosos e argilosos (Andrade, Oliveira e Albuquerque, 2003); o que pode ser associado às porções de calcário identificadas na matriz sedimentar da argamassa, e do tijolo amarelo caso sua proveniência fosse desconhecida.

A Formação Maria Farinha é constituída de calcários detríticos cinzentos e cremes; o que também poderíamos associar a matriz sedimentar do tijolo amarelo e as argamassas (Andrade, Oliveira e Albuquerque, 2003).

Por outro lado, considerando o tijolo amarelo, possivelmente proveniente da região da atual Frísia (Albuquerque e Barthel, 2016) e o tijolo vermelho, da atual região de Leisen (Mello Neto, *et al.*, 1981), foi pesquisado algumas das principais fontes calcário-argilosas, como também as fontes arenosas da região dos Países Baixos, Holanda mostrados na tabela 5.

Tabela 5: Algumas das principais fontes calcário-argilosas e arenosas da região da Holanda.

Fontes de Matéria-Prima	Coordenadas Geográficas		Elevação (M)
	N	L	
Nimegue	51°51'36.81"	5°51'06.94"	10
Winterwijk	51°57'52.19"	6°47'14.83"	56
Mount Saint Peter	50°49'22.33"	5°41'03.78"	41
Soest	52°09'26.59"	5°17'38.39"	13
Landgraaf	50°53'18.04"	6°00'41.11"	147
Oirlo	51°31'14.68"	6°02'18.43"	22
	51°29'31.30"	6°04'09.34"	20
Tienray	51°29'12.53"	6°05'49.40"	22
Schildersbuurt	52°04'52.08"	5°08'51.24"	3
Tolsteegsingel	52°04'56.95"	5°08'03.09"	3
Nijland	53°11'46.07"	5°46'15.45"	1
Wassenaar	52°08'29.18"	4°22'21.40"	21
Heksenberg	50°54'56.26"	5°59'29.91"	115

Fonte: Adaptado de (Keijers, Hanssen e Lipsch, 2012, p. 9-11).

Entre estas podemos citar as provenientes das formações geológicas, as quais a região dos Países Baixos está inserida, composta simplificada pela Formação Hannut, caracterizada por areia fina, calcário silicoso e argiloso; a Formação Kortrijk, composta por depósitos de argila Saint-Maur de camadas argilosas homogêneas com interfaces muito finas de silte e areias calcárias; a Formação de Leiden, composta por bancos de areia e cal, todas elas contextualizam a matriz argilosa do tijolo amarelo; a Formação de Sint-Huibrechts-Hern, composta de areia e sedimento argiloso, arenito, ferro e quartzitos, muito usados em materiais construtivos locais; contextualizando a matriz argilosa do tijolo vermelho; entre outras.

Com isso é considerado que a matriz argilosa dos tijolos é similar a matriz argilosa no entorno no qual o Forte Orange está inserido, assim como também é similar a outras regiões de mesma formação, seja o norte Europeu ou as regiões subtropicais e tropicais dos países baixos. Já a

argamassa é possuidora da matriz sedimentar correspondente a Formação Barreiras com intercalações sedimentares das Formações Gramame e Maria Farinha.

Determinação da temperatura da Queima

A partir dos espectros de RPE obtidos foi determinado o valor de g das amostras experimentais e construídos um gráfico que associa os valores de g com a temperatura de queima (figura 14), posteriormente foram obtidos os espectros RPE das amostras de tijolos e seu respectivo valor do fator g. Interpolando os valores de g, dos tijolos, na figura 14, obtivemos uma temperatura de queima de 865°C para o tijolo amarelo e 820°C para o tijolo vermelho.

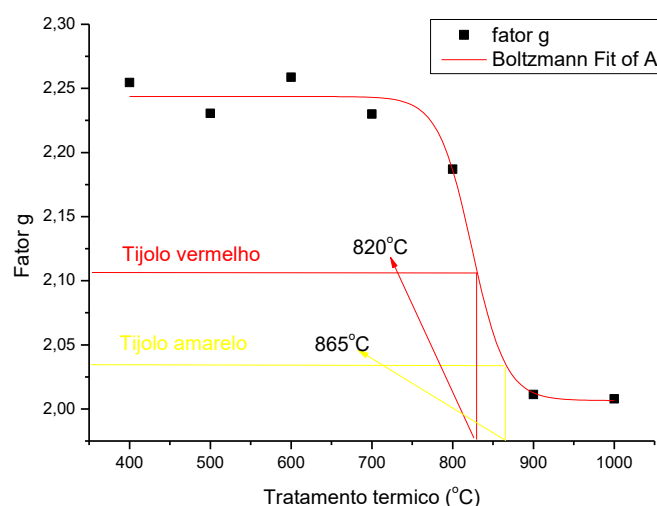


Figura 14: Gráfico correspondente a interpolação dos valores do fator g dos tijolos na curva de calibração das amostras teste em função do tratamento térmico.

Estes resultados nos mostram uma semelhança entre as temperaturas de queima dos tijolos, o que corrobora a ideia de ambos terem sido feitos por uma mesma técnica de produção. Consequentemente, um fato que se torna interessante de ser avaliado é o tempo de queima do tijolo amarelo em relação ao tijolo vermelho, pois este tempo pode também estar associado com a origem da cor amarela.

Considerações Finais

A partir deste trabalho foi possível construir uma metodologia de pesquisa baseada em análises físicas e químicas, utilizando-se de técnicas como a Difração de Raios-X para a caracterização mineralógica dos elementos construtivos; a Fluorescência de Raios-X para a caracterização química dos mesmos; a Microscopia Petrográfica para a análise das faces mineralógicas e a percepção de elementos opacos relacionados à presença de matérias orgânicas e a Ressonância Paramagnética Eletrônica para a estimativa da temperatura de queima dos tijolos.

Em uma análise macroscópica, foi possível perceber que ambos os tijolos, possuem uma mesma técnica de produção; resultado compatível com os valores obtidos da temperatura de queima, uma vez que estes foram similares em valores de 865°C para o tijolo amarelo e 820°C para o tijolo vermelho; visualizando macroscopicamente características similares como, tamanho, forma, homogeneidade, granulometria e grau de seleção; indicando que todos foram produzidos por uma mesma ocupação, que aqui se revela como holandesa devido à existência de documentos históricos citados que confirmam a morfologia destes tijolos.

Em uma análise microscópica foi possível observar: a composição química dos tijolos e argamassa interna. Os tijolos diferem entre si nas concentrações de cálcio, silício e ferro, demonstrando que o tijolo amarelo, seja provavelmente proveniente da região holandesa da Frísia, é mais rico em calcário e ferro que o vermelho, se revelando fruto de uma argila calcária, de alta plasticidade, refratária, portanto mais resistente e menos porosa; presente em diversas localidades nos Países Baixos.

É demonstrado também que o tijolo vermelho, o qual possivelmente é proveniente da região holandesa de Leiden, possui maiores índices de silício que o tijolo amarelo, se traduzindo em uma argila silicosa, arenosa, menos plástica que a calcária, portanto contextualizando sua maior friabilidade, possuindo também índices de ferro, cálcio e alumínio, que contextualiza a matriz argilosa de sua possível região de origem e sua cor avermelhada; contextualizada como pertencente, possivelmente a Formação Sint-Huibrechts-Hern; vale salientar que estas formações percorrem toda a região do dos Países Baixos, Bélgica e Alemanha, e estão intercaladas entre si, podendo uma matriz argilosa conter em seu arranjo interfaces de mais de uma destas (Keijers, Hanssen e Lipsch, 2012).

A diferença na coloração entre ambos os tijolos pode estar associada a sua matéria-prima, mineralogia, no caso do tijolo amarelo foi observado uma maior presença da fase cristalina de quartzo. Outra possibilidade a ser avaliada é o tempo de queima destes tijolos. Já a coloração dos tijolos vermelhos se justifica pela presença dos pequenos nódulos ferruginosos observados nas lâminas petrográficas, pode parecer contraditório já que estes tijolos apresentaram menor quantidade de Fe, quando comparado com os tijolos amarelos, acreditamos que a fonte do Fe nos tijolos amarelos este nas argilas, de forma estrutural, pelo que não são responsáveis pela coloração.

Nas argamassas, foi possível observar microscopicamente, a presença de elementos opacos correlacionados a matérias orgânicas em sua composição, assim como fases mineralógicas de quartzo, feldspato e calcita, a análise com a lupa mostra uma boa homogeneização, granulometria fina e um melhor grau de seleção dos grãos, a fim de reduzir a porosidade e aumentar a resistência, fato confirmado no considerável índice de cálcio presente nesta. Estes dados também contextualizam a sua matriz sedimentar como provavelmente pertencente à Formação Barreiras com intercalações sedimentares da Formação Gramame e em minoria da Formação Maria Farinha.

Sendo assim, este trabalho apresenta os primeiros passos para o estudo dos materiais construtivos, caracterizando-os e contribuindo assim, com a Arqueologia nas áreas de conservação e nos estudos de um momento histórico de relevante importância para o estado de Pernambuco, que é o período holandês.

Referências

ALBERS, A. P. F. et al. 2002. Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X. Scielo, São Paulo, v. 48, p. 34 - 37.

ALBUQUERQUE, M. A. G. D. M. D. 2007. As escavações arqueológicas no Forte de Orange. Revista Brasileira de Arqueometria, Restauração e Conservação, Olinda, v. 1, n. 2, p. 051 - 055 .

ALBUQUERQUE, M.; BARTHEL, S. 2016. Arqueologia de uma fortificação: O Forte Orange e a Fortaleza de Santa Cruz em Itamaracá, Pernambuco. Clio Arqueológica, Recife, v. 31, n. 1, p. 94-104.

ANDRADE, E. A. D.; OLIVEIRA, F. P.; ALBUQUERQUE, M. M. B. D. 2003. Diagnóstico Socio Ambiental do Litoral Norte. CPRH. Recife, p. 19-31. 2003.

ARAMIDE, F. O. Effect of Firing Temperature on Mechanical Properties of Fired Masonry Bricks Produced from Ipetumodu Clay. *Leonardo Journal of Sciences*, Issue, 21 Dezembro 2012. 70-82.

BARTHEL, S. G. A. 2007. Arqueologia de uma fortificação: O Forte Orange e a Fortaleza de Santa Cruz, em Itamaracá, Pernambuco. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 1-167.

COELHO, A. Z. G.; TORRALBA, F. P.; JALALI, S. 2009. A cal na construção. Universidade do Minho. Guimarães, p. 5-130.

CULTRONE, G.; SIDRABA, I.; SEBARTIÁN, E. 2004. Mineralogical and physical characterization of the bricks used in the construction of the "Triangul Brastion" Riga (Latvia). *Applied Clay Science*, Riga, 14 297-208.

GROTZINGER, J.; JORDAN, T. 2013. Sedimentação: rochas formadas por processos de superfície. In: JORDAN, T.; GROTZINGER, J. Para entender a terra. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, v. 1, Cap. 5, p. 139-150.

MAGALHÃES, W. 2015. O emprego da microscopia petrográfica no estudo da cerâmica arqueológica e de fontes de proveniência: um exemplo prático. *Arqueometria para Bens Culturais*, São Paulo, v. 28, n. 43, p. 77-87.

MATOS, M. X. G. D. 2009. Análise de estruturas em alvenaria: modelo para análise e identificação dos processos construtivos e das etapas de execução de uma edificação de valor histórico/cultural. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 1-241.

MELO NETO, U. P. D. et al. 1981. O Cabo de Santo Agostinho e a Baía de Suape. *Revista do Instituto Histórico Arqueológico, Histórico e Geográfico Pernambucano*, Recife, v. LIII, p. 9-244.

KEIJERS, D. M. G.; HANSEN, J.; LIPSCH, M. A. H. 2012. Studie archeologie Oppem en Kapittelbeek, gemeenten Wezembeek-Oppem en Beersel; archeologisch vooronderzoek: een bureau- en inventariserend veldonderzoek. RAAP Archeologisch Adviesbureau B.V., Weesp, 11 p. 1-62.

SANTIAGO, C. C. 2007. Argamassas tradicionais de cal. Universidade Federal da Bahia. Salvador, p. 1-194.

SANTOS, J. O. D. et al. 2012. Espectroscopia de Ressonância Paramagnética Eletrônica aplicada ao estudo da temperatura de queima da cerâmica arqueológica do sítio arqueológico Justino, localizado no baixo São Francisco/Sergipe. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo.

SILVA, R. M. D. C. E. et al. 2006. Fluorescência de raios-X aplicada a amostras arqueológicas. *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia*, São Paulo, v. 15-16, p. 371-382.

SOUTH, S. 2007. Reconhecimento de padrões na arqueologia histórica. *Vestígios*, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 135-148.

SULLASI, H. L. et al. 2008. Comparação dos métodos de dose aditiva e dose regenerativa no processo de datação por termoluminescência. *Clio Arqueológica*, Recife, v. 1, n. 23, p. 1-17.