

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

OS SAIS SOLÚVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

IRACIRA JOSÉ DA COSTA RIBEIRO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CAMPINA GRANDE - PB

Março / 1996

IRACIRA JOSÉ DA COSTA RIBEIRO

OS SAIS SOLÚVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado
em Engenharia Civil da Universidade Federal da
Paraíba em cumprimento às exigências para
obtenção do grau de Mestre (M.Sc.).

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO : GEOTECNIA

ORIENTADORES : Dr. HEBER CARLOS FERREIRA
: Dr. HANS RAJ GHEYI

CAMPINA GRANDE - PB

MARÇO/1996



R484s Ribeiro, Iracira Jose da Costa
Os sais soluveis na construcao civil / Iracira Jose da
Costa Ribeiro. - Campina Grande, 1996.
79f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Civil) -
Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e
Tecnologia.


1. Sais Soluveis 2. Tijolos para Construcao 3. Compostos
de Sais - Tijolos 4. Geotecnia - Fundacoes 5. Construcao 6.
Dissertacao I. Ferreira, Heber Carlos, Dr. II. Gheyi, Hans
Raj, Dr. III. Universidade Federal da Paraiba - Campina
Grande (PB). IV. Título

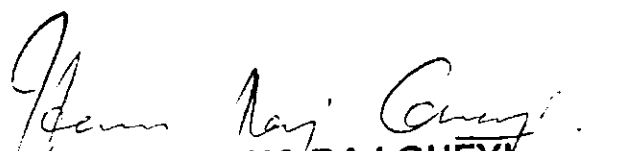
CDU 631.423.5(043)


OS SAIS SOLÚVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

IRACIRA JOSÉ DA COSTA RIBEIRO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 08/10/1996


Prof. Dr. HEBER CARLOS FERREIRA
Orientador


Prof. Dr. HANS RAJ GHEYI
Orientador


Dr. CHEN TSUNG JYE
Examinador Externo


Prof. M.Sc. GELMIRES DE ARAÚJO NEVES
Examinador Interno

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela força que nos dá nos momentos difíceis de nossa caminhada.

Aos orientadores Dr. Heber Carlos Ferreira e Dr. Hans Raj Gheyi pela paciência e disponibilidade em transmitir seus conhecimentos.

Aos professores Annemarie König e Rui de Oliveira, da Área de Engenharia Sanitária e Ambiental, pela orientação e fornecimento de equipamentos para realização de ensaios.

Ao professor Orlando Carlos Batista Damin, da Universidade de Santa Cecília dos Bandeirantes, pelo envio de referências bibliográficas.

Ao professor Gelmires de Araújo Neves, do Departamento de Engenharia de Materiais, pela ajuda nas análises estatísticas.

Ao professor Edson da Costa Pereira pela contribuição na revisão do texto.

Ao meu esposo, Roberto da Silva Ribeiro, pelo incentivo e orientação na revisão do texto.

A meus pais José Ursulino Teodózio e Iraci Porto da Costaa, a quem devo minha estrutura educacional.

Ao funcionário Washington Franklin Pedreira da Silva, responsável pela digitação do texto.

Ao motorista José Nogueira Sobrinho, pela ajuda no transporte do material.

Aos funcionários, José Wilson da Silva Barros, Francisco de Assis Clementino de Oliveira e Francisco Alves da Silva, do Laboratório de Salinidade, pela ajuda nos ensaios.

Às amigas Mauriza Bezerra de Araújo e Rosiclér Maria Vital Arruda pelo incentivo na forma de orações.

À todos os funcionários do Laboratório de Solos, Saneamento, EXTRABES, CCT e Bibliotecas que ajudaram nesta pesquisa.

Às Indústrias Cerâmicas do Estado da Paraíba pelo fornecimento de material.

À CAPES e ATECEL pela ajuda financeira.

Enfim, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho.

DEDICATÓRIA

A minha avó, Leopoldina Porto de Lima, *in
memoriam.*

RESUMO

O presente trabalho contribui para o estudo da patologia da construção civil e em especial a causada pelos efeitos dos sais solúveis nos tijolos de cerâmica vermelha produzidos no Estado da Paraíba. Estes sais provocam o fenômeno conhecido como eflorescência e se manifestam geralmente como manchas brancas aflorando nas superfícies das peças estruturais.

Esta pesquisa propõe relacionar o grau de eflorescência dos tijolos com o teor de sais dos tijolos e de sua matéria-prima, sendo utilizados o ensaio de eflorescência segundo a ASTM C-67, a metodologia da EMBRAPA e um método adaptado para determinar o teor de sais extraídos dos tijolos.

Os resultados permitem concluir que a maioria das amostras apresentaram eflorescências e estas não se relacionam à quantidade de sais presentes na matéria-prima, somente relacionando-se aos sais extraídos dos tijolos.

ABSTRACT

The present study contributes towards problems faced by civil construction specially the one caused by effects of soluble salts in bricks of clay structure produced in the State of Paraíba. These salts provoke efflorescences generally manifested as white stains on the surfaces of structural pieces.

This research proposed to correlate the degree of efflorescence with salt content extracted from bricks and salt content of raw material utilising efflorescence test following methodology of ASTM C67, methods recommended by EMBRAPA for estimation of salt content and a method adopted to determine salt content extracted from bricks.

The results obtained permit to conclude that most of the specimens studied present efflorescence problem and it is not correlated with salt content of raw material but shows a significant relationship with extracted salt content of bricks.

ÍNDICE

	Páginas
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
2.1 - Origem dos Sais no Solo.....	3
2.2 - Salinização dos Solos.....	3
2.3 - Efeito dos Sais Solúveis.....	5
2.4 - Compostos que Formam as Eflorescências.....	6
2.5 - Tipos de Eflorescências.....	8
2.6 - Eflorescências em Produtos Cerâmicos.....	9
2.7 - Eflorescências nos Cimentos e Argamassas.....	11
2.8 - Eflorescências no Concreto.....	13
2.9 - Metodologias e Especificações.....	15
2.10 - Medidas para Reduzir ou Eliminar as Eflorescências.....	17
2.10.1 - Redução das Eflorescências nos Produtos Cerâmicos.....	17
2.10.2 - Redução das Eflorescências nos Produtos de Concreto.....	19

	Páginas
2.10.3 - Redução das Eflorescências nas Argamassas.....	19
2.10.4 - Eliminação e Prevenção das Eflorescências nas Construções...	20
CAPÍTULO III - MATERIAIS E MÉTODOS	
3.1 - Introdução.....	21
3.2 - Materiais.....	21
3.2.1 - Tijolos e Argilas.....	21
3.2.2 - Água.....	27
3.2.3 - Piso Cerâmico para Estudo de Caso.....	27
3.3 - Métodos.....	28
3.3.1 - Ensaio de Salinidade.....	28
3.3.1.1 - Condutividade Elétrica.....	28
3.3.1.2 - Análise Química.....	29
3.3.1.3 - Medida de pH.....	30
3.3.2 - Ensaio de Absorção.....	30
3.3.3 - Ensaio de Eflorescência.....	30
3.3.4 - Análise Estatística.....	31
3.3.5 - Metodologia Empregada no Estudo de Caso.....	32

CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Introdução.....	33
4.2 - Ensaio de Salinidade.....	33
4.2.1 - Análise do Solo.....	33
4.2.2 - Análise dos Tijolos.....	35
4.3 - Ensaio de Eflorescência.....	37
4.4 - Análise Estatística.....	42
4.5 - Estudo de Caso.....	44

CAPÍTULO V - CONCLUSÕES

5.1 - Ensaio de Salinidade.....	47
5.2 - Ensaio de Eflorescência.....	48
5.3 - Estudo de Caso.....	48

CAPÍTULO VI - SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS..... 50

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 52

ANEXO 1 - NORMAS E METODOLOGIAS..... 59

ANEXO 2 - DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA..... 79

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Os cuidados e os custos da construção civil não se encerram com a execução da obra, mas perduram por toda vida útil da estrutura. Assim sendo, o estudo das patologias nas edificações ocupam um capítulo à parte na engenharia civil, não apenas como curiosidade acadêmica, mas principalmente tendo em vista fins práticos. Afora as patologias causadas por vícios de projeto, má execução e catástrofes naturais, são as provocadas pelos sais solúveis que causam maiores estragos nas construções, preocupando construtores e usuários.

Os sais solúveis são originados de processos de intemperização de solos e rochas com conseqüente solubilização dos minerais existentes. Os sais também podem ser provenientes dos rios e oceanos, mas a fonte mais provável é a água superficial e a subterrânea, pois elas sempre estão lixiviando o solo (Jackson, 1970).

Geralmente os sais do solo são formados pelos íons sódio, cálcio, magnésio, potássio, cloreto, sulfato, carbonato e bicarbonatos. Do ponto de vista agronômico um solo se torna salinizado quando apresenta uma alta concentração de sais solúveis ou de sódio trocável ou ambos, isso ocorre quando as condições climáticas são desfavoráveis (Richards, 1954). Os sais presentes no solo de fundações ou nos materiais de construção são transportados pela água até as superfícies das alvenarias, formando manchas brancas denominadas "eflorescências" (Anderegg, 1952). Para que as eflorescências ocorram são necessárias algumas condições, como a presença de umidade, possibilidade de evaporação e alto índice de absorção dos

materiais (Uemoto, 1988a). A maioria dos casos de eflorescência ocorre em produtos cerâmicos porque estes apresentam porosidade suficiente para permitir a percolação da água. O mesmo se dá com o concreto, sendo, porém, mais grave porque os sais corroem as armaduras e provocam a ruptura das peças (Brownell, 1950 e Canovas, 1988).

A recuperação das estruturas atingidas por eflorescências representa um custo muito alto para a construção civil, mostrando assim a necessidade de estudos mais detalhados para prevenir tais fenômenos, pois estes têm causas variadas.

Desde o século passado estudam-se as eflorescências de um modo geral, mas o problema continua sem solução. Na literatura consultada não se encontrou uma medida que eliminasse totalmente esse fenômeno, havendo somente soluções paliativas para cada caso específico.

O objetivo desta pesquisa consiste em estudar a relação entre o teor de sais solúveis dos tijolos (blocos de vedação furados), fabricados no Estado da Paraíba, com os sais presentes em sua matéria-prima e com o seu grau de eflorescência. Apresenta-se também um estudo de caso em piso cerâmico contaminado com sais solúveis.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Origem dos Sais no Solo

As rochas expostas na superfície da terra sofrem intemperização através de processos contínuos físico-mecânicos e/ou químico-orgânicos, originando assim a camada de sedimentos da superfície. Os sais contidos no solo podem ser provenientes destes processos e da solubilização dos seus minerais primários (Jackson, 1970). Ainda segundo Jackson (1970), a origem dos sais deve-se também ao transporte de outras regiões. Rios e oceanos podem ser a fonte de sais em solos cuja matriz é constituída de depósitos de eras geológicas antigas e que, com o tempo, foram sendo trazidos à superfície da crosta. A presença de sais no solo depende também da variação do lençol freático que permite a acumulação de sais na superfície por evaporação, principalmente quando a profundidade varia entre 1,0 e 2,5 m (Richards, 1954).

2.2 - Salinização dos Solos

Os solos salinizados são os que apresentam uma maior concentração de sais solúveis ou de sódio trocável ou de ambos. Os sais solúveis do solo contém principalmente os cátions sódio, cálcio e magnésio e os ânions cloretos e sulfatos e, em menor quantidade, ocorrem potássio,

bicarbonatos, carbonatos e nitratos, geralmente 98% dos sais solúveis dos solos são formados por estes íons (Richards, 1954).

Segundo Kovda (1977) a salinização dos solos ocorre devido às condições climáticas desfavoráveis como elevada evaporação, baixa infiltração, ventos contínuos e baixa precipitação, o que explica a existência de maior concentração de sais nas regiões áridas e semi-áridas. Este mesmo autor afirma que, aproximadamente 10% do total da superfície dos continentes é constituída de solos afetados por diferentes tipos de sais, sendo inadequados para produção agrícola. Na Tabela 1 pode-se observar a distribuição dos solos afetados por sais no mundo.

Tabela 1 - Extensão das Áreas Afetadas por Salinidade no Mundo.

Locais	Área x 10 ⁶ ha
América do Norte	15.755
México e América Central	1.965
América do Sul	129.163
África	80.538
Sul da Ásia	84.838
Ásia do Norte e Central	211.686
Sudoeste da Ásia	19.938
Austrália / Ásia	357.340
Europa	50.804
TOTAL	952.027

Fonte: Kovda (1977).

Os íons mencionados anteriormente são, frequentemente, os mais encontrados em análises de solos para fins agrícolas e são os que mais ocorrem na natureza. Entretanto, para fins de construção civil, podem-se encontrar sais prejudiciais formados por íons mais raros. Compostos de vanádio, cromo, níquel, ferro e molibdênio, que são raramente encontrados no

solo, podem contribuir para formação de sais solúveis nas argilas utilizadas na construção civil (Hammer, 1953).

2.3 - Efeito dos Sais Solúveis

Os sais presentes no solo e/ou nos materiais utilizados na construção podem afetar as alvenarias e concretos, pois estes são solúveis em água e migram até a superfície e quando se dá a evaporação, os sais depositam-se e se cristalizam-se, formando manchas, geralmente de cor branca, denominadas de eflorescências (Chatterji e Dhariyal, 1958 e Pinto, 1986). Porém, vários pesquisadores encontraram eflorescências de cor amarela, marrom e verde, resultante de compostos de vanádio, molibidênio, cromo e níquel (Hammer, 1953 e Stahmann, 1955). Chin e Petry (1993) advertem que os compostos de ferro e manganês não produzem eflorescências marrons, pois estes não são solúveis em água.

As eflorescências provocam danos na aparência das construções, principalmente quando há um contraste de cor entre os depósitos de sais e a alvenaria (Ritchie, 1955a e Uemoto, 1988b). Por si só as eflorescências não afetam a resistência e a durabilidade das paredes de tijolos. Mas, se estas surgirem continuamente dentro dos poros dos tijolos, que estejam confinados por camadas de impermeabilizantes e/ou revestimentos cerâmicos, podem exercer significativa expansão, desagregando o revestimento e comprometendo, além da aparência, a durabilidade e a resistência das alvenarias (Chin e Petry, 1993).

2.4 - Compostos que Formam as Eflorescências

As eflorescências são formadas por diferentes tipos de compostos tais como sulfatos, carbonatos, cloretos e nitratos. Segundo Brownell (1950), Muzzin (1982), Chin e Petry (1993), o sulfato de sódio e o sulfato de potássio são mais frequentemente detectados nas eflorescências. Ainda segundo Chin e Petry (1993), ocorrem com menor frequência sulfatos de magnésio e cálcio; carbonatos de sódio, potássio e cálcio; cloretos de sódio e potássio e glicolato de cálcio.

Na Tabela 2 apresentam-se compostos formadores de eflorescências, identificados na literatura consultada, e suas principais características.

Tabela 2 - Identificação dos Compostos Químicos Presentes nas Eflorescências.

Compostos	Fórmula Química	Solubilidade em Água	Origem Provável da Eflorescência
Carbonato de Cálcio	CaCO ₃	Pouco Solúvel	Argamassa
Carbonato de Magnésio	MgCO ₃	Pouco Solúvel	Argamassa
Carbonato de Potássio	K ₂ CO ₃	Muito Solúvel	Cimento portland
Carbonato de Sódio	Na ₂ CO ₃	Muito Solúvel	Cimento portland
Hidróxido de Cálcio	Ca(OH) ₂	Pouco Solúvel	Cimento portland e cal
Hidróxido de Ferro	Fe(OH) ₃	Insolúvel	Ferro em contato com tijolo
Sulfato de Cálcio Bi-hidratado	CaSO ₄ .2H ₂ O	Solúvel	Tijolo
Sulfato de Magnésio	MgSO ₄	Muito Solúvel	Tijolo
Sulfato de Potássio	K ₂ SO ₄	Muito Solúvel	Reação tijolo-cimento
Sulfato de Sódio	Na ₂ SO ₄	Muito Solúvel	Reação tijolo-cimento
Sulfato de Vanádio	VSO ₄	Muito Solúvel	Tijolo
Cloreto de Cálcio	CaCl ₂	Muito Solúvel	Água de amassamento
Cloreto de Magnésio	MgCl ₂	Muito Solúvel	Água de amassamento
Nitrato de Sódio	NaNO ₃	Muito Solúvel	Excrementos e solo adubado
Nitrato de Potássio	KNO ₃	Muito Solúvel	Solo adubado
Nitrato de Amônia	NH ₄ NO ₃	Muito Solúvel	Solo adubado
Nitrato de Cálcio	Ca(NO ₃) ₂	Muito Solúvel	Excrementos e urinas
Glicolato de Cálcio	(C ₂ H ₄ O ₂) ₂ Ca	Pouco Solúvel	Aditivo anti-congelante (etileno glicol).
Cloreto de Alumínio	AlCl ₃	Solúvel	Limpeza com ácido muriático
Cloreto de Ferro	FeCl ₃	Solúvel	Limpeza com ácido muriático

Fonte: Muzzin (1982), Chin e Petry (1993) e Bauer (1993).

2.5 - Tipos de Eflorescências

As eflorescências podem ser classificadas em dois tipos, as que surgem durante o processo de manufatura do material cerâmico e as que aparecem durante a vida útil das edificações.

As eflorescências do primeiro tipo, conhecido por termos como "scum" e "scumming", se forma durante a queima do produto cerâmico e deve-se a reações entre os constituintes da matéria-prima e os gases sulfurados originados dos combustíveis. Esse tipo de eflorescência não é nociva por si só, apenas quando o material está em contato com outros contaminados de sais e ambos submetem-se a mecanismos contínuos de molhagem e secagem (Jackson, 1925 e Reynolds, 1925).

As do segundo tipo, ou seja, as eflorescências que se manifestam nas construções podem aparecer de diversas formas, como depósitos cristalinos ou viscosos e com outras denominações, dependendo dos tipos de sais presentes. O tipo mais comum é em forma de cristais (pó branco) que aparece tanto em construções de tijolos e concreto quanto em rochas ou minerais (Mike e Brownell, 1956)⁹.

Segundo Barzaghi (1983), as eflorescências podem aparecer como exudação viscosa, ou seja, um gel que aparece em pontos isolados ou juntas de ladrilhos esmaltados. Este tipo de eflorescência ocorre em ambientes muito úmidos e principalmente nos locais de difícil secagem e quando os sais são deliqüescentes (cloreto de cálcio hidratado, cloreto de magnésio, cloreto de zinco, carbonato de potássio e silicatos alcalinos).

Popularmente as eflorescências são conhecidas pelo termo "salitre". Porém, segundo Kleinlogel (1955), o "salitre" é um composto de nitrato de cálcio que se forma nas paredes quando estão em contato com substâncias nitrogenadas decompostas, principalmente urinas, excrementos e

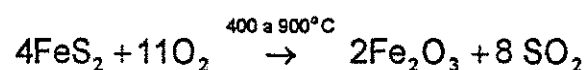
vapores amoniacais. Muzzin (1982) afirma que o "salitre" é um composto de nitrato de potássio e que denominar as outras eflorescências a base de sulfatos com este termo deve ser evitado.

2.6 - Eflorescências em Produtos Cerâmicos

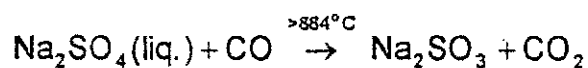
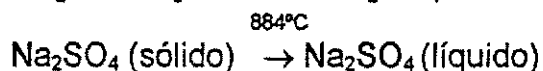
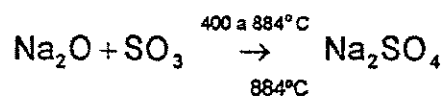
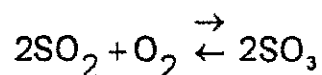
Há muitos casos de eflorescências em produtos cerâmicos, como tijolo, telhas, ladrilhos, pisos cerâmicos esmaltados entre outros. Isso se dá porque a cerâmica é porosa, facilitando a percolação e permitindo, assim, o transporte dos sais pela água (Barzaghi, 1983).

As eflorescências, como já foi dito, podem surgir nos materiais cerâmicos durante o processo de manufatura. A queima do produto geralmente é responsável pela formação da maior parte dos seus sais. Segundo Brownell (1950 e 1958a) isso se deve, principalmente às reações que ocorrem quando a matéria-prima contém pirita, como mostrado nas equações:

oxidação da pirita:



formação de sulfato de sódio:



Durante a queima, podem-se gerar também outros sulfatos que são favoráveis à formação de eflorescências nos produtos cerâmicos. Segundo Reynolds (1925), a pirita se oxida pela ação do ar e da umidade, formando o sulfato de ferro e quando reage com calcário resultará em sulfato de cálcio. O controle da temperatura de queima dos materiais em questão, minimiza os problemas de eflorescência, pois os sulfatos são eliminados a temperaturas acima de 950°C (Brownell, 1958b e Uemoto, 1988b).

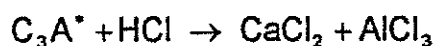
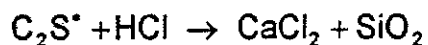
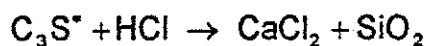
Se o produto acabado contiver anidrido sulfúrico (SO_3), este pode se transformar, pelo contato com água de chuva, em ácido sulfúrico que ataca os componentes dos tijolos e da argamassa, produzindo eflorescências (Muzzin, 1982).

As eflorescências também podem ser originadas das cinzas de combustíveis. Segundo Hammer (1953), o carvão e o óleo podem ser fonte de vanádio, que origina eflorescências verdes ou amarelas.

Mesmo se a cerâmica não contiver nenhum tipo de sal solúvel, pode servir de veículo para solução salina de outros produtos ou mesmo do solo (Young, 1957). Para que isso não ocorra, deve-se melhorar as condições de drenagem no solo ou controlar o nível de absorção do produto cerâmico já que segundo Brownell (1949) um produto com absorção entre 0% e 6% não apresenta eflorescências. As normas brasileiras não especificam um limite de absorção para bloquear o efeito dos sais, apenas a NBR 7171 (1992) estabelece que a absorção de água para blocos cerâmicos não deve ser inferior a 8%, nem superior a 25%. Verifica-se que estes limites são muito amplos, mostrando assim a necessidade de estudos específicos para se obter um nível de absorção ideal que dificulte ou evite a formação de eflorescências.

Após a execução de revestimentos cerâmicos é usual proceder-se a limpeza com uma solução de ácido clorídrico. Caso não se tome os cuidados necessários, esta solução pode penetrar no rejuntamento, gerando

grande quantidade de eflorescências, pois o ácido reagirá com o cimento, formando vários tipos de sais (Bauer, 1993). Estas reações são evidenciadas nas equações abaixo:

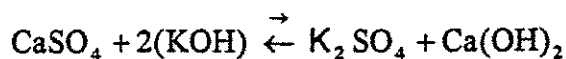
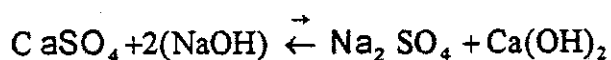


Os tipos de sais mais nocivos que ocorrem nestas reações são cloretos de cálcio, alumínio e ferro e principalmente o primeiro que se forma em todas as reações e é altamente solúvel em água, contribuindo para a formação de eflorescências. Estes compostos também podem surgir dos aditivos utilizados como aceleradores de pega e endurecimento.

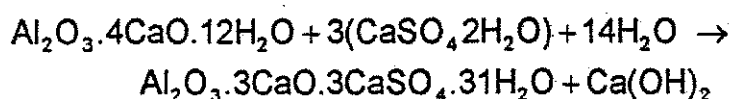
2.7 - Eflorescências nos Cimentos e Argamassas

Segundo Verçoza (1975) e Muzzin (1982) ocorrem reações entre os hidratos alcalinos do cimento e os sulfatos contidos nos tijolos, durante o processo de cura da argamassa, surgindo os hidróxidos de cálcio, representadas pelas equações:

* Os termos C_3S , C_2S , C_3A e C_4AF representam as abreviaturas dos compostos químicos do cimento portland.



Quando o sulfato de cálcio reage com o aluminato hidratado de cálcio do cimento, aparece o sulfoaluminato hidratado de cálcio ou sal de Candlot, evidenciado pela equação:



Também, ainda segundo Verçoza (1975), o sulfato de magnésio reage com o aluminato hidratado de cálcio do cimento formando o mesmo sal e, sendo este muito expansivo, danifica as alvenarias e concretos, fazendo-as fissurar, desagregar e até ruir. Estas reações e outras mais ocorrem quando o cimento está associado a outros materiais da argamassa e em contato com os tijolos.

O cimento portland, rico em compostos alcalinos (Na_2O e K_2O) tem maior tendência gerar eflorescências quando associado aos outros constituintes da argamassa, do que os cimentos de alto forno e pozolânicos (Ritchie, 1955b, Cincotto e Helene, 1987). Os cimentos de alto forno e pozolânicos são aqueles em que se adiciona escória granulada de alto forno ou material pozolânico, respectivamente. O material pozolânico é constituído principalmente de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 . A vantagem do uso de cimento pozolânico é que apresenta menor calor de hidratação que o cimento portland e menor permeabilidade aos líquidos resultando em maior resistência aos agentes agressivos (Lima, 1993).

Os constituintes da argamassa também podem contribuir para a formação de eflorescências. Como já vimos, os cimentos reagem com estes constituintes para formar diversos tipos de sais. A areia empregada deve ser

isenta de sais, segundo limites estabelecidos por normas brasileiras (NB-1, 1978). Não é aconselhável o uso de argila arenosa ou areia argilosa, também conhecidos regionalmente como "massame", "saibro", "piçarro", "massará", "barro" e outros, pois possuem alto teor de álcalis, tanto maior quanto maior for a fração argilosa, pois as partículas de argila adsorvem cátions em sua superfície (Guimarães e Cincotto, 1985).

Wilson (1928) realizou ensaios com vários tipos de argamassas e verificou que tanto as de cimento e areia quanto as de cal e areia produzem eflorescências, cuja formação nas argamassas contendo cal se deve mais ao hidróxido de cálcio coloidal em suspensão do que ao hidróxido da solução e também se deve a presença de óxidos não hidratados originados de uma má extinção da cal. A utilização da cal hidratada minimiza os defeitos que a cal virgem (extinta durante a confecção da argamassa) proporciona. Já os autores Ritchie (1955b), Guimarães e Cincotto (1985) afirmam que argamassas contendo cal hidratada e areia na proporção de 1:3 (em volume) evitam a formação de eflorescências. Diante destas afirmações contraditórias, torna-se necessário fazer estudos específicos das eflorescências nas argamassas.

2.8 - Eflorescências no Concreto

O surgimento de eflorescências em peças de concreto é um problema grave, cuja recuperação é de custo muito alto, principalmente quando os sais atacam o concreto armado e provocam corrosão na armadura.

O fenômeno se dá da mesma forma que ocorre nos produtos cerâmicos, porém não é muito evidente porque muitas vezes as eflorescências confundem-se com a cor cinza do concreto (Wilson, 1928).

O concreto armado deve reunir não apenas condições de resistência mecânica, mas também condições de constituição que o leve a

suportar as ações externas de caráter físico e químico. As ações de tipo físico que podem chegar a destruí-lo são devidas a efeitos expansivos produzidos por reações internas gelo e degelo ou pela cristalização dos sais dentro de seus poros. As ações de tipo químico são mais prejudiciais e podem ser causadas pelos gases contidos na atmosfera (CO_2 , SO_2), pelas águas (puras ou contaminadas) e pelos compostos de natureza orgânica como óleos, gorduras, combustíveis entre outros (Cánovas, 1988 e Anderegg, 1929).

Os constituintes do concreto, como areia, brita, cimento e água contribuem para a formação de eflorescências. A areia empregada deve conter poucos cloretos e sulfatos, portanto deve-se evitar o uso de areia da praia. A brita não deve conter sulfeto de ferro, principalmente pirita e pirrotita em quantidades superiores a 10%, pois quando se oxidam formam sulfatos (mesma reação vista anteriormente) e estes produzem eflorescências e conseqüentemente a corrosão das armaduras (Cánovas, 1988). A principal característica, que denuncia a presença de pirita e pirrotita no agregado, é a formação de vesículas na superfície das peças, cujos interiores apresentam cor preta e muitas vezes tem propriedades magnéticas (Guimarães e Cincotto, 1985). Os álcalis livres do cimento reagem com os outros constituintes do concreto, formando cristais de sais que geralmente permanecem dentro dos poros do concreto, causando expansão e fissuras no mesmo (Parsons e Insley, 1948). Segundo Mehta (1994), os efeitos da umidade e a cristalização de sais são os fatores mais destrutivos na degradação de monumentos históricos de pedra. Tem-se como exemplo o cloreto de sódio que cristalizando de 0°C a 50°C , produz pressões de 554 atm e 654 atm, respectivamente, que são tensões suficientes para romper a maioria das rochas. A água de amassamento não deve ser pura ou destilada pois dissolvem a cal e outros constituintes do cimento, mas pode conter impurezas dentro de certos limites (Anderegg, 1929).

Os principais íons que provocam eflorescência nos concretos são os cloretos e os sulfatos, por isso são especificados pelas normas brasileiras e estrangeiras.

Os cloretos podem estar no concreto através de seus constituintes ou penetrarem desde o exterior pela rede de poros. Geralmente os cloretos e os demais sais podem penetrar rapidamente no concreto através de forças capilares, próprias de ambientes marinhos quentes, onde os sais estão suspensos nas gotículas de umidade do ar. Os cloretos podem ser encontrados dentro dos concretos de duas formas: como cloretos livres, ou seja, na forma de solução intersticial ou como cloretos combinados, formando parte das fases hidratadas do cimento. No primeiro caso trata-se dos cloretos realmente perigosos e agressivos à armadura e, no segundo, geralmente se encontram combinados na forma de cloroaluminatos, mas podem voltar à dissolução devido a fenômenos como carbonatação ou elevação de temperatura (Andrade, 1992).

Os sulfatos podem estar no cimento como consequência de seus compostos e, nesse caso, não são muito perigosos, mas os que procedem do exterior podem penetrar no concreto, provocando uma certa expansão ao formarem os trissulfoaluminatos de cálcio. O concreto pode sofrer corrosão pelos sulfatos do solo, principalmente quando este é de natureza gessífera (Cánovas, 1988 e Andrade, 1992).

2.9 - Metodologias e Especificações

Foram desenvolvidos muitos métodos para determinação das eflorescências. O mais utilizado é o "efforwick test" que consiste de corpos de prova na forma de barras confeccionados com argilas que funcionam como "pavios" e servem para determinar o grau de eflorescência de solos e

argamassas. Vários pesquisadores utilizaram este método, como também a metodologia adotada pela ASTM C-67 (1992), sendo adaptados valores para classificar as eflorescências. Nas pesquisas realizadas por Amberg e Washburn (1946) e Brownell (1950) as eflorescências foram classificadas apenas qualitativamente, enquanto Ritchie (1955b) e Rogers (1959) utilizaram o "efforwick" para medir a quantidade de material solúvel das argamassas.

Pode-se também determinar o grau de eflorescência de tijolos pela norma NBN B 24-209 (1974).

Os diversos tipos de sais que compõem as eflorescências podem ser determinados por difração de raios-X ou análise química. Na literatura consultada verificou-se que certos limites de sais podem ser prejudiciais, como especificado por Stahmann (1955) que 0,5% ou até menos de sais em cada corpo cerâmico pode causar eflorescências. Já Mehta (1994) afirma que concentrações de sulfatos maiores do que 0,1% no solo (150 mg/l na água) põem o concreto em perigo e mais que 0,5% no solo (acima de 2000 mg/l SO_4 na água) pode causar sérios efeitos. Segundo Oliveira (1994), teores de sulfato de cálcio e magnésio acima de 1% provocam desagregação do solo cimento.

As normas usadas na construção civil especificam teores de sais na água de amassamento e em alguns casos nos agregados.

A ABNT especifica valores para água de amassamento do concreto na NB-1 (1978), incluindo uma observação que os mesmos limites servem para o agregado. Os limites indicados são:

Resíduo sólido.....	500 mg/l
Sulfatos.....	300 mg/l
Cloretos.....	500 mg/l
pH.....	5,8 e 8,0

A instrução espanhola EH-80 especifica os seguintes valores para água de amassamento do concreto (Cánovas, 1988):

Substâncias dissolvidas.....	≤15 g/l
Sulfatos.....	≤ 1 g/l
Cloretos.....	≤ 6 g/l
pH.....	≥ 5

Para fins agrícolas adota-se valores que definem solos normais e solos salinos. Estes valores são baseados na condutividade elétrica do extrato de saturação (CE) e no pH do solo saturado (Richards, 1954). Estes limites, também adotados pela EMBRAPA, são:

Solo normal:	CE < 4 mmhos/cm a 25°C e pH = 4 a 8,5
Solo salino:	CE > 4 mmhos/cm a 25°C e pH ≤ 8,5

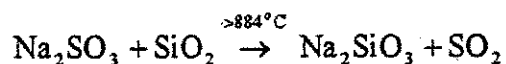
2.10 - Medidas para Reduzir ou Eliminar as Eflorescências

Na bibliografia consultada encontraram-se algumas soluções para minimizar o potencial de eflorescência nas construções. As medidas adotadas se referem a produtos cerâmicos, concretos, argamassas e obras civis de forma geral.

2.10.1 - Redução das Eflorescências nos Produtos Cerâmicos

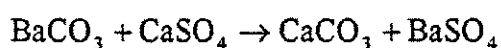
As medidas para reduzir ou eliminar as eflorescências nos produtos cerâmicos são:

a) quando contém pirita na matéria-prima, deve-se adicionar sílica que reage com o sulfito de sódio formando silicato de sódio, relativamente insolúvel. Esta reação é mostrada na equação (Brownell, 1950):



b) adição de cloreto de amônia para reagir com o ferro da pirita e formar cloreto de ferro que combinado com enxofre forma-se sulfeto de hidrogênio. Esta reação se dá a cerca de 350°C e todos os seus produtos são voláteis (Brownell, 1950).

c) adição de compostos de bário, pois estes precipitam o sulfato de bário e diminui a porosidade do produto (Hammer, 1953). Os sulfatos de cálcio e magnésio, presentes na matéria-prima, podem ser insolubilizados adicionando-se carbonato de bário durante a preparação do produto cerâmico, evitando assim a formação de "scum" (Reynolds, 1925 e Grimshaw, 1971). Isto é evidenciado nas seguintes equações:



d) reduzir a quantidade de gases sulfurados dentro dos fornos e melhorar a circulação de ar para evitar, principalmente, a formação de "scum" (Grimshaw, 1971).

e) adição de resíduos cerâmicos, geralmente rejeitos industriais. Estes resíduos contêm muita sílica e óxido de chumbo e reduzem a porosidade do produto cerâmico, evitando a formação de depósitos de sais nos mesmos (Ortelli e Vincenzini, 1984).

2.10.2 - Redução das Eflorescências nos Produtos de Concreto

As eflorescências podem ser reduzidas ou eliminadas com as seguintes medidas:

a) adição de cinzas volantes para reduzir a porosidade do concreto (Sauman, 1992);

b) adição de fumos de sílica também reduz a porosidade do concreto;

c) aumento do conteúdo de sílica do cimento, ou seja, o preparo de cimentos pobres em cal para aumentar o silicato bicálcico em detrimento do tricálcico para reduzir o ataque de águas puras e ácidas (Cánovas, 1988).

2.10.3 - Redução das Eflorescências nas Argamassas

As medidas para reduzir ou eliminar as eflorescências nas argamassas são:

a) substituir o cimento pela cal hidratada e o "massame" por areia e, se possível, areia lavada (Guimarães e Cincotto, 1985);

b) adições de compostos de bário foram ensaiadas por Wilson (1928), verificando-se que o carbonato de bário previne temporariamente eflorescências de sulfatos de cálcio e magnésio; o cloreto de bário não é eficaz, pois origina compostos muito solúveis e o hidróxido de bário é o melhor destes, pois resulta compostos pouco solúveis.

2.10.4 - Eliminação e Prevenção das Eflorescências nas Construções

As medidas encontradas para eliminar as eflorescências nas construções são:

a) no início da construção deve-se colocar uma camada de impermeabilizante (asfalto ou outro material adequado) sobre a fundação, antes da alvenaria para evitar a ascensão capilar d'água através dos tijolos (Anderegg, 1952).

b) assentamento de revestimentos cerâmicos secos sobre um contrapiso também seco com uso de argamassa colante (Fiorito, 1994).

c) quando as eflorescências surgem nas alvenarias de construções concluídas, aparecendo até cerca de um metro acima do nível do solo, pode-se solucioná-las com a retirada do reboco e lavagem dos sais dos tijolos com água quente ou com água oxigenada (Stahmann, 1955). Após a secagem da água, aplicar um novo reboco.

d) drenagem da água do solo de fundação e das alvenarias. A utilização do método eletrosmótico adaptado por Damin (S/D) e citado por Marques (1989) é de grande eficácia para drenar a água das alvenarias.

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Introdução

Neste capítulo são apresentados os materiais escolhidos e os métodos de ensaios utilizados para viabilização desta pesquisa.

Para escolha dos materiais fez-se um levantamento das indústrias cerâmicas do Estado da Paraíba através do Catálogo da FIEP - Federação das Indústrias do Estado da Paraíba, dos catálogos telefônicos da TELPA - Telecomunicações da Paraíba S/A e de informações de terceiros.

3.2 - Materiais

3.2.1 - Tijolos e Argilas

As amostras foram coletadas em vinte e cinco indústrias cerâmicas do Estado da Paraíba com unidades de produção de tijolos em funcionamento durante o segundo semestre de 1994 e o primeiro semestre de 1995, representando 80,6% das indústrias contactadas.

Cada amostra coletada consistia de cerca de 40 tijolos acabados (blocos de vedação furados) e cerca de 50 kg de argila, matéria-prima usada na fabricação destes, sendo utilizados para os ensaios 22 tijolos e cerca de 5 kg de argila.

A seguir são listadas todas as indústrias cerâmicas que forneceram material, sua localização geográfica e respectiva bacia hidrográfica.

1 - Cerâmica CECIDA

Proprietário: Valter de Azevedo Porpino

Localização: Distrito Cachoeira dos Guedes, s/nº

Guarabira-PB - Telefone: 271-2047

Bacia Hidrográfica: Mamanguape

2 - Cerâmica CEMARIZA

Proprietário: Gerônimo Salustiano Costa

Localização: Distrito Cachoeira dos Guedes, s/nº

Guarabira-PB - Telefone: 271-2549

Bacia Hidrográfica: Mamanguape

3 - Cerâmica CACEL

Proprietário: José da Silva Souza

Localização: Distrito Cachoeira dos Guedes, s/nº

Guarabira-PB

Bacia Hidrográfica: Mamanguape

4 - Cerâmica ESPÍRITO SANTO

Proprietário: Newton Luiz Gonçalves da Silva Jr.

Localização: Rodovia BR-104 - Telefone: 241-3744

Cruz do Espírito Santo-PB

Bacia Hidrográfica: Paraíba

5 - Cerâmica CINCERA

Proprietário: Maria do Carmo Santiago

Localização: Av. Juarez Távora, 729

Santa Rita-PB - Telefone: 229-1017

Bacia Hidrográfica: Paraíba

6 - Cerâmica CAIONGO

Proprietário: Piragibe Paiva Barbosa

Localização: Rodovia BR-101 - km 78

Santa Rita-PB - Telefone: 229-1333

Bacia Hidrográfica: Paraíba

7 - Cerâmica CEMAL

Proprietário: Genésio Martins da Silva

Localização: Faz. Engenho Novo ou

Rua Senador Cunha Vasconcelos, 354

Mamanguape-PB

Bacia Hidrográfica: Mamanguape

8 - Cerâmica SALEMA

Proprietário: Francisco Xavier Andrade

Localização: Faz. Salema

Rio Tinto-PB - Telefone: 292-2344

Bacia Hidrográfica: Mamanguape

9 - Cerâmica IRMÃOS BORGES

Proprietário: Manoel de Andrade Borges

Localização: Propriedade Veloso

Rio Tinto-PB - Telefone: 291-2444

Bacia Hidrográfica: Mamanguape

- 10 - Cerâmica PINDOBAL FEBEMA A
Proprietário: Carlos Gomes
Localização: Centro Educacional do Menor, s/nº
Pindobal - Mamanguape-PB
Bacia Hidrográfica: Mamanguape
- 11- Cerâmica NEY DE ARRUDA
Proprietário: Ney de Arruda Câmara
Localização: Rua Vera Cruz, s/nº
Alagoa Grande-PB
Bacia Hidrográfica: Mamanguape
- 12- Cerâmica JARDIM
Proprietário: Valdevino José Cosme
Localização: St. Jardim
Mulungu - PB - Telefone: 288-1028
Bacia Hidrográfica: Mamanguape
- 13- Cerâmica SANTA BÁRBARA
Proprietária: Germana Gomes Santiago
Localização: Fazenda Várzea de Baixo
Mulungu - PB - Telefone: 288-1051
Bacia Hidrográfica: Mamanguape
- 14- IND. E COM. DE MODULADOS REMÍGIO
Proprietário: Armando José de Lima
Localização: Lagoa do Mato
Remígio - PB - Telefone: 364-1248
Bacia Hidrográfica: Mamanguape

- 15- Cerâmica SOLEDADE
Proprietário: Raimundo
Localização: Soledade-PB
Bacia Hidrográfica: Paraíba
- 16- Cerâmica SÃO JOSÉ
Proprietário: Expedito Francisco dos Santos
Localização: Rodovia BR-230 - km 55
Soledade-PB
Bacia Hidrográfica: Paraíba
- 17- Cerâmica ARLINDO
Proprietário: Arlindo Franco Borborema
Localização: Soledade-PB
Bacia Hidrográfica: Paraíba
- Obs: 18- Cerâmica ZÉ PASCOAL
Proprietário: José Robério Ramos Pascoal
Localização: Rua Quintino Bocaiúva, s/nº
Juazeirinho-PB
Bacia Hidrográfica: Paraíba
- 19- Cerâmica BOA VISTA
Proprietário: Ademar Alves da Silva
Localização: Rua da Sudene, 4
Juazeirinho-PB
Bacia Hidrográfica: Paraíba
- 20- Cerâmica TORRES
Proprietário: Antônio Torres
Localização: Rua da Sudene, s/nº
Juazeirinho-PB
Bacia Hidrográfica: Paraíba

- 21- Cerâmica SERIDÓ
Proprietário: Vandik Cordeiro
Localização: São Vicente do Seridó - PB
Bacia Hidrográfica: Seridó
- 22- Cerâmica TANQUES
Proprietário: Manoel Júlio
Localização: Pedra Lavrada-PB - Telefone: 349-1085
Bacia Hidrográfica: Seridó
- 23- Cerâmica PALMEIRENSE
Proprietário: Aluizio Gomes de Medeiros
Localização: Rua Almeida Rosa, 62
Nova Palmeira-PB - Telefone: 349-1117
Bacia Hidrográfica: Seridó
- 24- Cerâmica CASA DE PEDRA
Proprietário: José Antônio
Localização: Picuí-PB
Bacia Hidrográfica: Seridó
- 25- Cerâmica BARBADIN
Proprietário: Paulo César Araújo Ribeiro
Localização: Distrito Industrial
Campina Grande-PB - Telefone: 331-4250
Bacia Hidrográfica: Paraíba

3.2.2 - Água

Utilizou-se água potável, fornecida pela CAGEPA - Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba, para o sistema de abastecimento público da cidade de Campina Grande-PB. Esta água foi destilada para realização de parte dos ensaios.

3.2.3 - Piso Cerâmico para Estudo de Caso

Foram coletadas amostras de piso cerâmico esmaltado afetado por eflorescências na residência do Sr. Carlos Antônio de Araújo Bomfim situada à Rua Francisco Maria de Oliveira, 65, Palmeira, Campina Grande, PB. Retirou-se as amostras a partir do ponto mais afetado, nas seguintes profundidades:

- Amostra 1 - Profundidade (P) = 0: piso
- Amostra 2 - P = 1 cm: camada de concreto.
- Amostra 3 - P = 6 cm: camada de concreto.
- Amostra 4 - P = 13 cm: camada de aterro.
- Amostra 5 - P = 28 cm: camada de aterro.
- Amostra 6 - P = 39 cm: camada de aterro.
- Amostra 7 - P = 39 cm: tijolos (suporte para a cinta).
- Amostra 8 - P = 108 cm: solo de fundação.
- Amostra 9 - P = 152 cm: solo de fundação.

3.3 - Métodos

3.3.1 - Ensaio de Salinidade

No ensaio de salinidade determinou-se as características das argilas e dos tijolos. Para determinar as características das argilas, utilizou-se o método 2.32 da EMBRAPA (1979) (vide Anexo 1) para retirar o extrato de saturação para análise dos sais. Para caracterizar a salinidade dos tijolos adotou-se uma metodologia que consistiu em imergir o tijolo em um recipiente com água quente ($90^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$) sendo o volume de água suficiente para cobrir os tijolos. Após 24 h recolhe-se uma amostra da água e analisa-se os sais.

Os sais existentes nas argilas foram determinados pela condutividade elétrica, análise química e medida do pH e os dos tijolos apenas pela condutividade elétrica.

3.3.1.1- Condutividade elétrica

Utilizou-se o condutivímetro E 527 METROHM HERISAU de leitura direta com precisão de duas casas decimais.

Para determinar a condutividade elétrica seguiu-se o método 2.33 da EMBRAPA (1979) e ajuste da temperatura pelo fator de correção determinado por Richards (1954).

Os valores obtidos para condutividade elétrica em mmhos/cm foram convertidos em porcentagens de sais totais, como mostrado a seguir:

$$\text{Porcentagem de sais nas argilas: \% Sais} = \frac{\text{CE} \cdot 640 \cdot \text{PS}}{10^3 \cdot 10^3}$$

$$\text{Porcentagem de sais nos tijolos: \% Sais} = \frac{\text{CE} \cdot 640 \cdot \text{V} \cdot 100}{10^3 \cdot P_t}$$

onde, CE é o valor da condutividade elétrica (mmhos/cm).

640 é o fator de transformação em ppm (mg/l).

PS é a porcentagem de saturação da argila.

V é o volume de água para saturar o tijolo (e).

P_t é o peso do tijolo (g).

3.3.1.2 - Análise química

A análise química consistiu da determinação dos íons cálcio, magnésio, sódio, potássio, carbonato, bicarbonato, cloretos e sulfatos. Foram utilizados métodos 2.34 a 2.40 da EMBRAPA (1979), exceto para os sulfatos que foram determinados pelo método da APHA (1989) (vide Anexo 1).

O total dos cátions solúveis deve ser aproximadamente igual ao total de ânions solúveis. Estas concentrações, expressas em meq/l, devem ser aproximadamente iguais à condutividade elétrica, em mmhos/cm, multiplicada por dez, relação válida para condutividades variando de 0 a 5 mmhos/cm. Para verificação dos resultados determinam-se as porcentagens de precisão pela expressão (Richards, 1954):

$$\% \text{Precisão} = \left| \frac{\text{Total cations} - \text{Total anions}}{\text{Total cations} + \text{Total anions}} \right| \times 100$$

Conforme Richards (1954) os resultados com valores abaixo de 5% são considerados de excelente precisão, valores entre 5% e 10% são aceitáveis e, acima de 10%, devem ser reanalisados.

3.3.1.3 - Medida de pH

Utilizou-se o medidor de pH digital DMPH-2 DIGIMED, calibrado com solução de pH = 4 e pH = 7. A precisão das leituras é de duas casas decimais. O pH foi medido no solo saturado. O pH da água potável foi medido diretamente nesta.

3.3.2 - Ensaio de Absorção

O ensaio de absorção nos tijolos foi baseado no método da ABNT, NBR 8947 (1985).

3.3.3 - Ensaio de Eflorescência

O ensaio de eflorescência foi baseado no método da ASTM C 67 (1992) (vide Anexo 1). Por ser um ensaio qualitativo, fotografou-se todas as amostras para se obter uma melhor visualização das eflorescências e conseqüentemente uma melhor análise dos resultados, conforme está documentado no Anexo 2. Em alguns trabalhos utilizou-se o ensaio de eflorescência baseado nessa norma, adaptando-se escalas, geralmente variando de 0 a 5 ou de 1 a 10, para classificar as eflorescências (Young, 1957 e Amberg e Washburn, 1946). De acordo com esses dados e numa tentativa de tornar o ensaio sem quantitativo, adotou-se uma escala, variando de zero a oito, para melhor classificação das eflorescências:

- 0 - não ocorre eflorescência;
- 2 - leves eflorescências;
- 4 - médias eflorescências;
- 6 - consideráveis eflorescências;
- 8 - abundantes eflorescências.

Por isso denominou-se de ensaio de eflorescência modificado.

Utilizamos além da água destilada, também a água potável do abastecimento de Campina Grande para realizar os citados ensaios porque esta apresenta elevada dureza e é muito empregada na construção civil. Utilizamos a mesma metodologia e a classificação da ASTM C 67 (1992), bem como a escala adotada.

3.3.4 - Análise Estatística

Com os resultados obtidos para eflorescências e concentração de sais, foram efetuadas análises estatísticas através de correlações lineares simples, verificando-se a interdependência entre estas variáveis. Essas análises foram processadas em computador IBM utilizando o programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versão H (Nie et al, 1975).

A equação $y = a + bx$ relaciona o tipo de ajustamento, onde x e y são respectivamente as variáveis dependentes e independentes, onde b é a inclinação da reta e a a interseção com o eixo y . A significância da correlação verifica-se através do coeficiente de correlação (r) e do nível de significância (α). Se não existe correlação entre as duas variáveis, o coeficiente é zero, e, se existe correlação perfeita o coeficiente é igual a ± 1 . O nível de significância é significativo se for menor do que 0,05 e altamente significativo se menor do que 0,01 (Lima, 1993).

3.3.5 - Metodologia Empregada no Estudo de Caso

Utilizou-se o método da ABNT, NBR 9917 (1987) para preparação das amostras. A condutividade elétrica e as análises químicas foram determinadas segundo metodologia já citada anteriormente.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Introdução

São apresentados e discutidos neste capítulo os resultados obtidos dos ensaios de salinidade com argilas e com tijolos e no ensaio de eflorescência. Apresentar-se-á também uma análise estatística dos dados e um estudo de caso referente a eflorescências.

4.2 - Ensaio de Salinidade

4.2.1 - Análise do Solo

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados da análise da água de abastecimento da cidade de Campina Grande e do extrato de saturação das vinte e cinco amostras do solo.

Tabela 3 - Análise do Extrato de Saturação do Solo e da Água de Saneamento de Campina Grande.

A M O S T R A S	CÁTIONS					ÂNIONS					CE no extrato mmhos/cm	pH na pasta saturada	Porcentagem de Saturação	Porcentagem de Sais Totais
	Ca ²⁺ meq/l	Mg ²⁺ meq/l	Na ⁺ meq/l	K ⁺ meq/l	Total meq/l	CO ₃ ²⁻ meq/l	CO ₃ H- meq/l	Cl ⁻ meq/l	SO ₄ ²⁻ meq/l	Total meq/l				
0*	1,75	2,58	5,50	0,012	9,82	0,00	2,50	5,25	0,64	8,39	0,90	7,44**	-	-
1	10,00	18,87	34,00	0,006	62,87	0,00	2,20	58,25	1,59	60,04	5,30	6,58	84,4	0,22
2	18,87	27,63	47,00	0,004	91,50	0,00	1,10	85,25	3,01	89,36	7,80	6,38	83,4	0,32
3	8,62	12,50	27,00	0,010	48,13	0,00	1,70	44,50	0,87	46,67	4,20	6,61	61,5	0,16
4	1,87	3,25	9,90	0,009	15,03	0,00	0,80	11,75	2,70	15,35	1,50	6,55	50,5	0,05
5	2,37	4,25	9,00	0,009	15,63	0,00	1,40	12,25	3,15	16,80	1,71	5,37	87,9	0,09
6	19,50	22,25	23,00	0,039	64,79	0,00	0,30	14,75	82,67	77,72	4,99	4,23	60,1	0,19
7	0,87	1,50	6,30	0,004	8,67	0,00	1,50	2,50	5,45	9,45	0,75	4,60	68,2	0,03
8	1,62	3,50	4,50	0,006	9,62	0,00	1,90	3,00	3,33	8,23	0,85	5,33	34,0	0,02
9	3,87	7,88	15,00	0,010	26,76	0,00	0,90	9,75	17,28	27,93	2,18	4,52	50,3	0,07
10	3,87	6,25	8,90	0,006	19,02	0,00	0,70	17,00	0,63	18,33	1,97	4,89	61,0	0,06
11	8,87	17,13	41,00	0,004	67,00	0,00	2,70	41,25	23,42	67,37	5,49	7,02	67,5	0,24
12	12,75	30,00	55,00	0,010	97,76	0,00	1,00	93,25	0,50	94,75	9,45	6,06	52,0	0,31
13	13,37	22,00	57,00	0,010	92,38	0,00	1,00	91,75	0,69	93,44	9,25	5,74	64,9	0,38
14	7,62	13,13	83,00	0,020	103,77	0,00	1,90	90,75	12,28	104,93	10,22	6,97	88,2	0,58
15	17,25	19,25	32,00	0,040	68,54	0,00	5,90	53,50	5,14	64,54	5,98	6,14	52,4	0,20
16	3,87	6,25	5,20	0,025	15,34	0,00	5,90	7,25	1,89	15,04	1,40	5,58	59,0	0,05
17	9,12	7,88	14,00	0,201	31,20	0,00	2,20	18,00	6,08	28,28	3,04	5,83	48,8	0,09
18	38,50	37,50	80,00	0,035	156,04	0,00	4,00	134,50	38,23	174,73	13,49	7,06	47,1	0,40
19	37,00	73,62	94,00	0,088	204,71	0,00	3,90	162,25	44,87	211,12	15,52	6,28	76,0	0,76
20	25,12	39,75	77,00	0,088	141,98	0,00	3,00	118,75	19,47	139,22	10,98	6,28	51,1	0,36
21	20,25	45,12	79,00	0,032	144,40	0,00	3,40	121,75	12,41	137,56	11,95	7,09	47,5	0,36
22	3,50	10,50	30,00	0,020	44,02	0,00	2,70	29,25	6,45	38,40	3,56	6,90	33,9	0,08
23	6,75	8,65	18,00	0,025	33,42	0,00	1,00	18,90	0,85	20,75	2,99	5,02	42,6	0,08
24	0,37	2,00	2,50	0,006	4,87	0,00	1,60	1,25	1,35	4,20	0,38	5,51	38,9	0,01
25	3,00	11,25	71,00	0,027	85,28	0,00	0,60	70,50	0,58	71,68	7,52	4,02	59,7	0,29

* A amostra 0 corresponde a água de abastecimento de Campina Grande-PB.

** Determinado diretamente na água.

Os valores obtidos, na água de abastecimento de Campina Grande, para pH, cloretos e sulfatos estão dentro dos limites estabelecidos pela NB-1 (1978) e pela Instrução EH-80 (Cánovas, 1988). Segundo limites adotados para fins agrícolas, esta água se classifica com alta salinidade e pH praticamente neutro. Verifica-se que os valores obtidos para cátions, ânions e condutividade elétrica apresentam uma boa precisão, verificando-se também que o total de cátions e de ânions é equivalente a condutividade elétrica multiplicada por dez. A condutividade elétrica no extrato de saturação do solo variou de 0,38 a 15,52 mmhos/cm, correspondendo a 0,01% e 0,76% de sais totais na matéria-prima. De acordo com valores adotados pela EMBRAPA (1979), para fins agrícolas, 56% das amostras, ou seja, as de números 1, 2, 3, 6, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 19, 20, 21 e 25, representam solos salinos ($CE > 4$ mmhos/cm).

Em todas as amostras de solo, os carbonatos foram ausentes e os bicarbonatos não ultrapassaram 5,90 meq/l, resultados que se combinam com valores de pH inferiores a 7,09. Os principais íons, ou seja, os que se apresentaram com maiores concentrações foram Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} e SO_4^{2-} , sendo detectados em quase todas as amostras os íons Cl^- e Na^+ , indicando provavelmente a presença de cloreto de sódio que é um sal bastante comum na nossa região, apesar de que na literatura não se detectou eflorescências formadas por este tipo de sal.

4.2.2 - Análise dos Tijolos

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados da absorção d'água, condutividade elétrica e de teor de sais determinados na solução salina extraída dos tijolos.

Tabela 4 - Absorção de Água, Condutividade Elétrica e Teor de Sais Extraídos nos Tijolos de Cerâmica Vermelha ou Estrutural Produzidos no Estado da Paraíba.

Amostras	Absorção %	CE mmhos/cm	Teor de Sais %
1	10,3	0,07	0,013
2	12,6	0,29	0,077
3	11,1	0,08	0,014
4	10,8	0,19	0,037
5	10,4	0,15	0,032
6	11,4	0,24	0,048
7	12,8	0,05	0,009
8	14,9	0,30	0,074
9	13,3	0,19	0,045
10	17,1	0,27	0,047
11	14,5	0,25	0,045
12	11,0	0,12	0,025
13	10,7	0,09	0,022
14	12,9	0,24	0,053
15	15,7	0,16	0,033
16	16,5	0,74	0,176
17	17,1	0,10	0,022
18	12,5	0,52	0,094
19	14,4	0,54	0,145
20	12,8	0,27	0,079
21	13,1	0,21	0,055
22	10,5	0,03	0,007
23	6,6	0,02	0,004
24	13,6	0,04	0,010
25	18,0	0,18	0,038

Observa-se que o teor de sais nos tijolos variou de 0,004% a 0,176%. Segundo Stahmann (1955), valores próximos de 0,5% de sais já são suficientes para causarem eflorescências, portanto a maioria das amostras

estudadas apresentam potencial inerente de eflorescência, exceto as amostras de número 1, 3, 7, 22, 23 e 24, em que os teores são inferiores ou iguais a 0,014%..

A absorção d'água variou de 6,6% a 18,0%. De acordo com os limites estabelecidos pela NBR 7171 (1992), apenas a amostra 23 não obedece essa norma, apresentando absorção de 6,6% e tal fato ocorreu provavelmente porque os tijolos estavam superqueimados.

4.3 - Ensaio de Eflorescência

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentados os resultados obtidos do ensaio de eflorescência das vinte e cinco amostras de tijolos.

As características gerais referem-se aos tijolos ensaiados com água destilada e potável, pois apresentam manchas semelhantes. A altura que as eflorescências atingiram em cada tijolo são caracterizadas como até a metade (em torno de 50%), até menos da metade (entre 20% e 40%) e até mais da metade (entre 60% e 80%).

Os resultados são apresentados como uma média de cinco tijolos ensaiados.

Tabela 5 - Ensaio de Eflorescência segundo a ASTM C 67 (1992) em Tijolos de Cerâmica Vermelha ou Estrutural Produzidos no Estado da Paraíba.

Amostras	Classificação da Eflorescência		Características Gerais
	Água Destilada	Água Potável	
1	Não	Não	Nada a comentar
2	Sim	Sim	Eflorescências até metade dos tijolos ensaiados
3	Não	Sim	Leves manchas nos bordos dos tijolos ensaiados com água potável
4	Sim	Sim	Eflorescências em mais da metade de todos os tijolos
5	Sim	Sim	Eflorescência até metade dos tijolos
6	Sim	Sim	Eflorescências até menos da metade dos tijolos
7	Não	Não	Nada a comentar
8	Sim	Sim	Eflorescências até metade dos tijolos
9	Sim	Sim	Eflorescências até menos da metade de quase todos os tijolos
10	Sim	Sim	Eflorescências em alguns tijolos
11	Sim	Sim	Eflorescências em forma de faixa em alguns tijolos
12	Sim	Sim	Eflorescências nos bordos e em cima dos tijolos
13	Sim	Sim	Faixa de eflorescências no meio dos tijolos
14	Sim	Sim	Eflorescências espaçadas até metade dos tijolos
15	Sim	Sim	Eflorescências até metade dos tijolos
16	Sim	Sim	Faixa de eflorescências
17	Sim	Sim	Eflorescências até metade das faces em alguns tijolos
18	Sim	Sim	Eflorescências até mais da metade e em cima dos tijolos
19	Sim	Sim	Faixa larga de eflorescência
20	Sim	Sim	Eflorescências até metade e em cima dos tijolos
21	Sim	Sim	Eflorescência até metade de alguns tijolos
22	Sim	Sim	Leves eflorescências em cima e nos bordos de 2 tijolos
23	Não	Não	Nada a comentar
24	Não	Não	Nada a comentar
25	Sim	Sim	Leves eflorescências em alguns tijolos

Tabela 6 - Ensaio de Eflorescência Modificado em Tijolos de Cerâmica Vermelha ou Estrutural Produzidos no Estado da Paraíba.

Amostras	Classificação da Eflorescência		Características Gerais
	Água Destilada	Água Potável	
1	0	0	Nada a comentar
2	6	6	Eflorescências brancas atingiram metade das faces laterais e faces superiores dos tijolos
3	0	2	Leves eflorescências nos tijolos com água potável
4	8	8	As eflorescências atingiram mais da metade dos tijolos e faces superiores
5	6	6	Eflorescências atingiram metade das faces laterais e faces superiores dos tijolos
6	6	8	As eflorescências atingiram menos da metade dos tijolos e algumas faces superiores
7	0	0	Ocorrem leves manchas nos bordos de apenas um tijolo
8	8	8	Eflorescências atingiram metade das faces laterais e faces superiores dos tijolos
9	6	6	A maior parte dos tijolos foi atingido em menos da metade
10	2	4	Leves e médias eflorescências em alguns tijolos
11	2	2	Formou-se uma leve faixa de eflorescência no meio de alguns tijolos
12	4	4	Pequena faixa de eflorescência nos bordos e faces superiores bem atingidas
13	2	2	Faixa de eflorescência no meio dos tijolos
14	6	6	Idem amostra 2, ocorrendo manchas espaçadas
15	6	6	Eflorescências brancas atingiram metade das faces laterais e faces superiores dos tijolos
16	8	6	Formou-se uma faixa larga no meio dos tijolos
17	2	2	Em alguns tijolos ocorreram eflorescências até metade das faces
18	8	8	As faces laterais e superiores foram bem atingidas
19	6	8	Formou-se uma faixa larga no meio dos tijolos
20	6	8	Metade das faces laterais e faces superiores dos tijolos foram atingidas
21	4	2	Metade das faces laterais e faces superiores de alguns tijolos apresentaram eflorescências
22	2	2	Leves eflorescências nos bordos e faces superiores de 2 tijolos dos 5 analisados
23	0	0	Nada a comentar
24	0	0	Nada a comentar
25	2	2	Poucas eflorescências em algumas faces e nos bordos.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se verificar que as eflorescências, visíveis em fotografias (Anexo 2), apresentam cor branca.

No ensaio de eflorescência foram obtidos resultados para água destilada e para água potável, conforme consta nas tabelas. As discussões serão apresentadas para cada tipo de água.

1 - Água Destilada

Segundo a classificação da ASTM (1992), pode-se afirmar que as amostras 1, 3, 7, 23 e 24 não apresentaram eflorescências e o restante, ou seja, as de número 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 e 25 apresentaram, ou seja, 80% das amostras estudadas mostraram eflorescências.

Segundo a classificação adotada no trabalho, verifica-se que as amostras 1, 3, 7, 23 e 24 não apresentaram eflorescências (20%); as amostras 10, 11, 13, 17, 22 e 25 mostraram manchas leves (24%); as amostras 12 e 21 tiveram médias eflorescências (8%); as amostras, 2, 5, 6, 9, 14, 15, 19 e 20 apresentaram-nas consideráveis eflorescências (32%) e o restante, ou seja, as de números 4, 8, 16 e 18 apresentaram manchas abundantes (16%).

2 - Água Potável

No ensaio com água potável do abastecimento público de Campina Grande, verificou-se que, segundo a ASTM (1992), não surgiram eflorescências nas amostras 1, 7, 23 e 24 (16%) e as restantes apresentaram eflorescências (84%).

Pela classificação adotada, constatou-se que em 16% das amostras não surgiram eflorescências, ou seja, as de números 1, 7, 23 e 24; apresentaram eflorescências leves as amostras 3, 11, 13, 17, 21, 22 e 25 (28%); as amostras 10 e 12 apresentaram-nas médias (8%); as amostras 2, 5, 9, 14, 15 e 16 mostraram eflorescências consideráveis (24%) e as últimas, ou seja, as de números 4, 6, 8, 18, 19 e 20 surgiram abundantes manchas (24%). A maioria das amostras teve a sua classificação igual a obtida com água destilada, ou seja,

verificou-se esse fato nas amostras 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 22, 23, 24 e 25 (72%); enquanto outras superaram a classificação da água destilada, como as amostras 3, 6, 10, 19 e 20 (20%) e as amostras 16 e 21 (8%) tiveram valores inferiores aos da classificação da água destilada. Verifica-se, nestas duas últimas amostras, que não poderia ocorrer tal fato, pois a água potável utilizada no estudo contém um teor apreciável de sais ($CE = 0,90$ mmhos/cm). Isso se deve provavelmente à escolha das amostras, que mesmo sendo a mais semelhante possível podem apresentar fatores diferentes, interferindo nos resultados, como por exemplo, a temperatura de queima, o índice de absorção e o tipo de sal da matéria-prima. Também esta foi uma classificação visual e subjetiva.

Apesar de algumas amostras terem sido classificadas como "não eflorescentes", segundo a ASTM C-67 (1992), notam-se pequenas manchas de sais em um dos cinco tijolos ensaiados, como vê-se nas fotografias das Figuras 1 e 3 (vide Anexo 2). Tal fenômeno se justifica porque se analisa a amostra a uma distância de 3 m com certa intensidade de luminosidade (538 lm/m^2) e nestas condições algumas manchas se tornaram imperceptíveis ao olho humano, não ocorrendo o mesmo com as fotografias. O mesmo se verificou na classificação modificada, sendo que nesta obteve-se uma média dos resultados nos cinco tijolos analisados.

Em 56% das amostras, as eflorescências atingiram mais da metade dos tijolos, aparecendo geralmente nas quatro faces, em cima e no interior destes.

Analisando as amostras de acordo com a influência da bacia hidrográfica, verifica-se que, nas 11 amostras pertencentes à bacia do Mamanguape (1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14), 3 não apresentaram eflorescências, 3 mostraram manchas leves, uma foi classificada como média, 3 tiveram eflorescências consideráveis e como abundantes uma delas. Nas 10

amostras da bacia do rio Paraíba (4, 5, 6, 15, 16, 17, 18, 19, 20 e 25) têm-se 2 com leves eflorescências de sais, 5 com eflorescências consideráveis e 3 tiveram-nas abundantes. Nas 4 amostras da bacia do Seridó, 2 não apresentaram eflorescências, uma apresentou leves manchas e uma foi classificada como média. Apesar da bacia hidrográfica poder indicar uma diferença da qualidade da água e da argila, não foi encontrada influência significativa deste fator nos dados analisados, verificando-se apenas que as maiores ocorrências de eflorescências são das amostras pertencentes à bacia do Paraíba.

4.4 - Análise Estatística

Os resultados obtidos pelas análises estatísticas, através de correlações lineares simples, entre o grau de eflorescência (ensaio modificado e com água destilada) e diversas características dos tijolos e de suas matérias-primas estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Correlações Estatísticas entre Diversas Propriedades Relativas à Salinidade de Tijolos Cerâmicos Produzidos no Estado da Paraíba.

Variáveis (y, x)	Equação ($y = a + bx$)	Coefficiente de Correlação (r)	Nível de Significância.(α)
Eflorescência vs. Condutividade Elétrica do Extrato de Saturação do Solo	$y = 3,10 + 0,16x$	0,237	0,253
Eflorescência vs. Condutividade Elétrica da Solução Extraída do Tijolo.	$y = 1,52 + 11,62x$	<u>0,693</u>	0,000
Eflorescência vs. Sais do Extrato de Saturação do Solo.	$y = 3,25 + 3,45x$	0,224	0,282
Eflorescência vs. Sais Extraídos do Tijolo.	$y = 1,85 + 43,84x$	<u>0,671</u>	0,000
Eflorescência vs. pH da Pasta Saturada do Solo.	$y = 1,63 + 0,40x$	0,130	0,535
Eflorescência vs. Absorção de Água pelos Tijolos.	$y = 1,52 + 0,19x$	0,176	0,399
Sais Extraídos do Solo vs. Sais Extraídos do Tijolo.	$y = 0,14 + 1,52x$	0,359	0,078
Sais Extraídos do Solo vs. pH da Pasta Saturada do Solo.	$y = -0,27 + 0,08x$	0,418	0,037

As correlações entre eflorescência e condutividade elétrica ou porcentagem de sais dos tijolos apresentaram resultados significativos, com coeficientes de correlações de 0,693 e 0,671. Já as correlações entre eflorescências e condutividade elétrica ou porcentagem de sais da matéria-prima não foram significativas. Também não apresentaram bons resultados as correlações de eflorescências com pH da matéria-prima e com absorção do tijolo.

Verifica-se, nas correlações estatísticas que não há uma relação direta entre o grau de eflorescência dos tijolos e os sais contidos na matéria-prima e também entre os sais das matéria-prima e os sais dos tijolos. Quantidades de sais das argilas variando de 0,01% a 0,22% correspondem a

tijolos que não apresentaram eflorescências, porém estes valores também correspondem a tijolos que apresentaram muitas eflorescências. Estes resultados reafirmam os conceitos da revisão bibliográfica, onde se verifica que os sais contidos nos produtos cerâmicos podem também ser originados durante a manufatura, e isto provavelmente aconteceu com as amostras 4, 5, 6, 8, 9, 15 e 16 em que a porcentagem de sais é baixa e as eflorescências são muitas. Também pode ocorrer o contrário, onde o teor de sais é elevado e praticamente não ocorre eflorescências e isto se justifica também na literatura, pois alguns sais podem ser insolubilizados ou gerar produtos voláteis quando submetidos a altas temperaturas de queima ou quando se combinam com outras substâncias.

Diante dos resultados obtidos nas correlações, verifica-se que não há necessidade de determinar os sais da matéria-prima para analisar o grau de eflorescência nos tijolos, mas apenas verificar a quantidade de sais em cada tijolo e que teores a partir de 0,02% já provocam eflorescências. A porcentagem máxima de sais no tijolo foi de 0,176%, verificando-se nessa amostra grande quantidade de eflorescências, apesar deste limite ser inferior ao máximo admitido por Stahmann (1955).

4.5 - Estudo de Caso

Os resultados obtidos para o teor de umidade, condutividade elétrica, teor de sais e principais íons das amostras da área com piso cerâmico estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Teor de Umidade, Condutividade Elétrica, Porcentagem de Sais Totais e Principais Íons das Amostras Coletadas em Piso Cerâmico Afetado por Eflorescências.

Amostras	Profundidade (cm)	Teor de Umidade %	CE mmhos/cm	Porcentagem de Sais Totais ¹	Principais Íons		
					Ca ⁺	CO ₃ ²⁻	CO ₃ H ⁻
1	0,0	5,16	0,790	1,264	4,61	4,52	0,64
2	1,0	12,50	1,430	2,288	7,28	7,51	0,74
3	6,0	10,82	0,770	1,232	-	-	-
4	13,0	8,12	0,200	0,320	-	-	-
5	28,0	6,36	0,090	0,144	-	-	-
6	39,0	6,73	0,050	0,080	-	-	-
7	39,0	11,43	0,240	0,384	-	-	-
8	108,0	5,68	0,062	0,099	-	-	-
9	152,0	7,93	0,057	0,091	-	-	-

$$^1 \text{ \% Sais} = \frac{\text{CE} \times 640 \times 500 \times 100}{1000 \times 20 \times 1000}$$

O teor de umidade variou de 5,16% a 12,50%, apresentando-se com maior intensidade na camada de concreto e nos tijolos abaixo da cinta. Esta umidade deve-se provavelmente a infiltração através das juntas do piso e não à ascensão capilar uma vez que não se verifica um aumento da umidade com a profundidade.

A condutividade elétrica e/ou porcentagem de sais apresentou maior intensidade nas três primeiras camadas, valores correspondentes ao piso e concreto. Os tijolos apresentaram valor considerável, porém as outras camadas mostraram valores tão baixos, que em termos de porcentagem podem ser consideradas insignificantes. Como as primeiras camadas apresentaram

quantidade razoável de sais, foi possível determinar os principais íons, predominando Ca^+ , CO_3^{2-} e CO_3H^- . Não foi possível determinar os íons das outras camadas porque a alíquota não era suficiente para detectar pouca quantidade de sais. No piso e na camada de concreto, há maior concentração de carbonatos e de cálcio, podendo-se concluir que as eflorescências são formadas principalmente de CaCO_3 e segundo Muzzin (1982), este composto se forma em argamassas de concreto, devido as reações do hidróxido de cálcio liberado pelo cimento com o anidrido carbônico do ar, aparecendo geralmente como exsudações muito aderentes, pouco solúveis em água e efervescentes na presença de ácido. Um ensaio adicional com ácido clorídrico diluído confirmou presença de carbonatos nas manchas brancas do piso (Fig. 26 - Anexo 2), no entanto várias tentativas de dissolver ou remover totalmente a mancha não obtiveram êxito. Para prevenir este tipo de eflorescência deve-se evitar a infiltração d'água no piso e para recuperá-lo seria aconselhável remover os ladrilhos contaminados e aplicar as recomendações de Fiorito (1994) vistas no ítem 2.10.4. Em base deste estudo de caso, podemos afirmar que os teores de sais variando de 1,264% a 2,288% no piso e contrapiso são suficientes para o surgimento de eflorescências, porém não pode-se considerar estes valores como limites mínimos e máximos para teores de sais, pois dispomos de apenas um estudo de caso. Pode-se também verificar que os teores de sais dos tijolos, variando de 0,014% a 0,176%, são valores muito inferiores aos acima mencionados, mas que já provocam eflorescências, podendo ser considerados como limites mínimos e máximos, uma vez que foram estudadas vinte e cinco amostras.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

Tendo em vista o reduzido número de estudos sobre sais solúveis, tornou-se necessário iniciar este trabalho com o objetivo de analisar os sais dos tijolos e de suas matérias-primas. Analisou-se também um piso cerâmico com eflorescências. Dos resultados obtidos pode-se enumerar as seguintes conclusões:

5.1 - Ensaio de Salinidade:

A água de abastecimento de Campina Grande apresenta valores de pH, Cl⁻ e SO₄²⁻ dentro dos limites estabelecidos pelas normas NB-1 (1978) e EH-80 (1988), podendo ser utilizada em construção civil sem nenhuma restrição para amassamento do concreto.

As amostras de argilas utilizadas na fabricação dos tijolos apresentaram teores de sais variando entre 0,01% e 0,76%, estimado em base da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo.

A porcentagem de sais extraídos dos tijolos variou entre 0,004% e 0,176%; este último considerado suficiente para provocar eflorescência. Teores de sais abaixo de 0,014% não mostraram eflorescências, podendo ser considerado como limites para o teor de sais em cada tijolo 0,014% (como valor mínimo) e 0,176% (como máximo)

5.2 - Ensaio de Eflorescência:

Todas as eflorescências apresentaram cor branca e em 56% das amostras se mostraram muito intensas, atingindo mais da metade da altura, as faces superiores e o interior dos tijolos.

80% das amostras de tijolos apresentaram eflorescências no ensaio com água destilada, enquanto para água potável essa porcentagem foi de 84%.

Conforme classificação adotada no trabalho, a porcentagem das amostras que mostraram eflorescências leves, média, consideráveis e abundantes foi respectivamente 24%, 8%, 32% e 16% para o ensaio com água destilada, enquanto os valores de 28%, 8%, 24% e 24% foram observados para água potável.

Embora maiores tendências de sais foram encontradas nas amostras de matéria-prima pertencentes à bacia do rio Paraíba, não se verificou influência da bacia hidrográfica no aparecimento das eflorescências.

As eflorescências nos tijolos não depende^{do} do teor de sais da matéria-prima, pois o estudo de regressão linear não mostrou correlação significativa ($r = 0,224$ e $\alpha = 0,282$).

O estudo de regressão linear revelou correlação significativa ($r = 0,671$ e $\alpha = 0,00$) entre eflorescências e teor de sais extraídos dos tijolos.

5.3 - Estudo de Caso:

As maiores concentrações de sais foram encontradas no piso e no contrapiso, contendo os principais íons de Ca^{2+} , CO_3^{2-} e CO_3H^- .

As eflorescências são formadas de carbonato ou bicarbonato de cálcio, no entanto, ácido clorídrico diluído não remove totalmente as manchas.

Em resumo pode-se concluir que a maioria dos tijolos produzidos no Estado da Paraíba apresentaram eflorescências e estas não se relacionam a quantidade de sais da matéria-prima e sim aos teores de sais do próprio tijolo. Portanto, para se comprar tijolos não contaminados deve-se determinar apenas a condutividade elétrica e fazer o ensaio de eflorescência, porque além de serem ensaios de baixo custo, podem ser realizados nos laboratórios da Universidade Federal da Paraíba ou no próprio canteiro de obra.

CAPÍTULO VI

SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

O presente trabalho pretendeu reunir algumas soluções para o problema de sais solúveis na construção civil, fazendo um estudo geral do problema e um estudo específico dos sais presentes nos tijolos fabricados no Estado da Paraíba. Com base nesse estudo, verifica-se a necessidade de outros que possam ajudar a encontrar novas soluções, portanto indica-se as seguintes sugestões:

1. Fazer um estudo da temperatura de queima e absorção dos tijolos e compará-los com o grau de eflorescência. Pode ser utilizada a metodologia do "efforwick test".

2. Utilizar a metodologia do "efforwick test" para quantificar os sais e especificar um limite para materiais cerâmicos.

3. Reaproveitar o material cerâmico que foi submetido ao ensaio de eflorescência para determinar os tipos de sais existentes e compará-los com os sais solúveis da matéria-prima.

4. Reaproveitar o material cerâmico já ensaiado e submetê-lo a um novo ensaio de eflorescência e verificar a influência na sua resistência.

5. Utilizar a metodologia do "efforwick test" para determinar os sais de diversos materiais como areias, massames, cimentos e argamassas.

6. Fazer um estudo dos sais das areias e massames utilizados nas argamassas e comparar os resultados com alvenarias afetadas por eflorescências.

7. Estudar a influência dos compostos de bário, adicionando-os à matéria-prima dos tijolos e as argamassas, na formação de eflorescências.

8. Fazer um estudo de sais nos pisos cerâmicos mais comercializados, verificando a influência nos casos de eflorescências.

9. Estudar as eflorescências no concreto, adaptando-se o "efforwick test" e verificar a influência de adições de pozolanas, sílica e cinzas volantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

✓ ABNT, NB 1, Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado, 1978.

ABNT, NBR 8947, Telha Cerâmica - Determinação da Massa e da Absorção de Água, 1985.

ABNT, NBR 9917, Agregados para Concreto - Determinação de Sais, Cloretos e Sulfatos Solúveis, 1987.

✓ ABNT, NBR 7171, Bloco Cerâmico para Alvenaria, Especificação, 1992.

AMBERG, C. R. e WASHBURN, L., A Wick for Testing Efflorescence Tendencies of Materials, Am. Cer. Society Bulletin, 25(1), 7-9, (1946).

✓ ANDEREGG, F. O., The Mechanism of Corrosion of Portland Cement Concrete with Special Reference to the Role of Crystal Pressure, J. Am. Conc. Inst., 25, 332-343, (1929).

✓ ANDEREGG, F. O., Efflorescence, ASTM Bulletin, Nº 185, oct, 155-161, (1952).

ANDRADE, C., Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras, ed. PINI, São Paulo, 24-77, 1992.

APHA, Turbidimetric Method (SO_4^{2-}), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17 ed., Washington, 1989.

ASTM. C 67-92a, Standard Test Methods of Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile, 1992.

~~BARZAGHI, L., Eflorescência em Ladrilhos Esmaltados, Cerâmica, 29 (164), 187-190 (1983).~~

~~BAUER, R. F., ² Eflorescência em Revestimentos Argamassas Industrializadas Usos e Desempenhos, Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados, CB-18, ABNT, São Paulo (1993).~~

BROWNELL, W. E., Fundamental Factors Influencing Efflorescence of Clay Products, J. Am. Cer. Soc. , 32 (12), 375-389, (1949).

BROWNELL, W. E., Application of New Technique to the Solution of an Efflorescence Problem, J. Am. Cer. Soc. 33 (12), 360-363, (1950).

BROWNELL, W. E., Efflorescence Resulting from Pyrite in Clay Raw Materials, J. Am. Cer. Soc. , 41 (7) , 261-266, (1958a).

BROWNELL, W. E., Efflorescence Resulting from Sulfates in Clay Raw Materials, J. Am. Cer. Soc. , 41 (8) , 310-314, (1958b).

CÁNOVAS, M. F., Patologia e Terapia do Concreto Armado, ed. PINI, São Paulo, 38-69, 1988.

CHATTERJI, A. K. e DHARIYAL, K. D., Efflorescence in Brickwork: Part I - Movement of Salts Through Bricks, J. Sc. Ind. Research, 17(8), 311-317 , (1958).

CHIN, I. R. e PETRY, L., Design and Testing to Reduce Efflorescence Potential in New Brick Masonry Walls, ASTM Spec. Tech. Publ. , 1180, 3-17 , (1993).

CINCOTTO, M. A. e HELENE, P. R. L., Patologia de Estruturas de Concreto Armado, A Construção Norte Nordeste, 175 , 35-38 , (1987),

DAMIN, O. C. B., Anomalias em Revestimento de Parede, Inédito.

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análises de Solos (Parte 2 - Análises Químicas, Mét. 2.24 à 2.41), Rio de Janeiro, 1979.

FIORITO, A. J. S. I., Manual de Argamassas e Revestimentos : Estudos e Procedimentos de Execução, ed. PINI, São Paulo, 117-122, 1994.

GRIMSHAW, R. W., The Chemistry and Physics of Clays and Allied Ceramic Materials, Ernest Benn, Londres, 38-56, 1971.

~~GUIMARAES, J. E. P. e CINCOITO, M. S., As Aplicações da Cal nas~~
~~Construções Cíveis e Patologia das Argamassas, ABPC, São Paulo, 26-30,~~
~~1985.~~ 2

HAMMER, A. J., You Can Eliminate Green Efflorescence, Brick & Clay Record ,
123(3), 37-85, (1953).

JACKSON, F. G., A Descriptive Bibliography of Scumming and Efflorescence,
Am. Cer. Soc. Bul. , 4(8), 376-401 , (1925).

JACKSON, M. L., Análisis Químico de Suelos, Omega, Barcelona, 311-342,
1970.

KLEINLOGEL, A. et al., Influências Físico-Químicas sobre los Hormigones en
Masa y Armados, Labor, Barcelona, 151-260, 1955.

KOVDA, V.A., Arid Land Irrigation and Soil Fertility: Problems of Salinity,
Alkalinity, Compaction. In: WORTHINGTON, E. B. (Ed), Arid Land Irrigation
in Developing Countries: Environmental Problems and Effects Oxford,
Pergamon Press, 1977.

LIMA, J. B. M, Cais Pozolânicas, Caracterização e Desempenho Mecânico, Dissertação de Mestrado, UFPb, Campina Grande, 1993.

MARQUES, M. T., *Mágica Eletrolítica, A Construção Norte Nordeste*, 191, 15-16, (1989).

MEHTA, P. K., *Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais*, Ed. PINI, São Paulo, 26-163, 1994.

MIKE, T. M. e BROWNELL, W. E, Effect of Sulfur Dioxide Atmospheres on Efflorescence, *J. Am. Cer. Soc.* , 39 (7) , 253-256, (1956).

MUZZIN, G, Les Efflorescences dans les Maçonneries en Briques, *C. S. T. C. Revue*, 4, 2-11, (1982).

NBN B 24-209, *Essais de Materiaux de Maçonnerie - Efflorescence*, 1994.

NIE, N. H. et al., *SPSS - Statistical Package for the Social Science*, Editora McGraw-Hill Book Company, New York, 1975.

OLIVEIRA, L.C.D., *A Estabilização de Solos Aplicada a Habitação, um Estudo de Misturas de Solo-Cimento*, Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1994.

ORTELLI, G. e VINCENZINI, P., Reduction of Efflorescence in Brick Through Addition of Ceramic Sludges, Am. Cer. Soc. Bulletin, 63(8), 1025-1029, (1984).

PARSONS, W. H. e INSLEY, H., Aggregate Reaction with Cement Alkalies, J. Am. Concrete Institute, 19(8), 625-632, (1948).

PINTO, J. A. N., Elementos para a Dosagem de Argamassas, Santa Maria, Ed. UFSM, 133-135, 1986.

REYNOLDS, M. E., Scumming and Efflorescence, Am. Cer. Soc. Bulletin, 4(12), 677-683, (1925).

RICHARDS, L. A., Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils, Agriculture Handbook 60, U.S. Dep. of Agriculture, 28-90, 1954.

RITCHIE, T., Study of Efflorescence on Experimental Brickwork Piers, J. Am. Cer. Soc. , 38(10), 357-361, (1955a).

RITCHIE, T., Study of Efflorescence Produced on Ceramic Wicks by Masonry Mortars, J. Am. Cer. Soc. , 38(10), 362-366, (1955b).

ROGERS, P. L., A Method of Test for Potential Efflorescence of Masonry Mortar, ASTM Bulletin, 235, 31-33, 1959.

SAUMAN, Z., Principle of the Formation of Efflorescence on the Surface of Autoclaved Porous Concrete Products, *Ceramics Silikaty*, 36(3), 121-128, (1992).

STAHMANN, J. A., Vanadium-Molybdenum Staining on Building Products, *Am. Cer. Soc. Bul.*, 34(5), 138-144, (1955).

STIPHO, A. S., On the Engineering Properties of Saline Soil, *Q. J. Eng. Geol.*, 18, 129-137, (1985).

UEMOTO, K. L., Falhas Observadas em Piso Cerâmico Vidrado, Ed. PINI, São Paulo, 607-610, 1988a.

UEMOTO, K. L., Patologia: Danos Causados por Eflorescências, Ed. PINI, São Paulo, 561-564, 1988b.

VERÇOZA, E. J., *Materiais de Construção*, Vol. 1, Sagra, Porto Alegre, 132-133, 1975.

WILSON, H., Progress Report on the Efflorescence and Scumming of Mortar Materials, *J. Am. Cer. Soc.*, 11(1), 1-31, (1928).

YOUNG, J. E., Backup Materials as a Source of Efflorescence, *J. Am. Cer. Soc.*, 40(7), 240-243, (1957).

ANEXO 1

NORMAS E METODOLOGIAS

EMBRAPA - SNLCS MANUAL DE MÉTODOS DE ANÁLISE DE SOLO	
PARTE 2 - ANÁLISES QUÍMICAS	MÉTODO 2.32
% DE ÁGUA NA PASTA SATURADA	

MÉTODO USANDO TERRA FINA E EXTRAÇÃO POR SUCÇÃO:

- pesar 200 a 300 g de terra fina e colocar em depósito plástico de 400 a 500 ml;
- adicionar água destilada contida em proveta de 50 ml, em quantidade inicial de 25 ml para solos arenosos e 50 ml para os demais;
- amassar a amostra com espátula de aço inoxidável e continuar a adição de água, pouco a pouco, de preferência por meio de bureta de 50 ml;
- dar como concluída essa operação quando a massa do solo apresentar aspecto brilhante ou espelhante, ou quando uma quantidade de água adicionada já não é absorvida pela massa do solo, ou, ainda, quando a pasta desliza suavemente na espátula;
- anotar a quantidade de água utilizada e deixar a amostra em repouso durante 4 horas ou uma noite;
- decorrido este tempo, verificar se a massa do solo apresenta excesso ou falta de água; no primeiro caso adicionar mais 50 g de terra fina e repetir a operação de saturação; no segundo caso adicionar mais água até completar a saturação;

- calcular a percentagem de saturação (quando for o caso) de acordo com o método 1.24.1 descrito na parte 1 - Física do Solo;
- transferir a massa do solo para funil buckner contendo papel de filtro, adaptado a um kitasato, e aplicar a sucção;
- dar como concluída a operação quanto a maior parte de água de saturação foi extraída;
- transferir o extrato para o depósito plástico com tampa e anotar o número da amostra;

OBSERVAÇÃO: a quantidade de terra fina a ser usada depende das determinações a serem feitas; entretanto, para solos de textura média, 250 g são suficientes para se obter uma quantidade de extrato razoável; a pasta saturada não deve acumular água na superfície, perder seu brilho e endurecer durante o repouso; especial cuidado se deve ter quando se trata de solos orgânicos, muito argilosos ou sódicos.

REFERÊNCIA: Richards et alii (1954); Vetorri (1969).

MÉTODO EMPREGANDO O CONDUTIVÍMETRO:

- Utilizar o extrato de saturação obtido pelo método 2.32 e um condutivímetro de leitura direta;
- medir a temperatura do extrato e ajustar o aparelho para essa temperatura; ligar o aparelho com certa antecedência e aferir a leitura do mesmo com solução saturada de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (condutividade de 2,2 mmhos/cm/25°C) ou de KCl 0,01 N (condutividade de 1,40 mmhos/cm/25°C);
- lavar a célula de condutividade com água destilada 2 a 3 vezes e encher a mesma com o extrato de saturação;
- fazer a leitura direta de mmhos/cm/25°C; caso não se obtenha o ponto de equilíbrio, a condutividade pode ser inferior a 0,10 mmhos/cm ou superior a 10 mmhos/cm; no segundo caso, proceder à diluição de 1 parte do extrato para 9 partes de água e multiplicar o resultado por 10; proceder a outras diluições se necessário.

OBSERVAÇÃO: lavar bem a célula com água destilada depois de cada determinação para evitar interferência nos resultados.

PREPARO DE SOLUÇÕES:

- solução de cloreto de potássio 0.01 N: pesar 0,7456 g do sal previamente seco em estufa a 110°C, dissolver em água destilada e completar o volume para 1 litro. A CE dessa solução é de 1,42 mmhos/cm/25°C;

- solução saturada de sulfato de cálcio: pesar 10 g de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, colocar em balão aferido de 1 litro, agitar várias vezes durante o dia e completar.

REFERÊNCIA: Richards et alii (1954); Loveday (1974).

MÉTODO COMPLEXOMÉTRICO PELO EDTA:

- pipetar alíquota do extrato de saturação que contenha aproximadamente 0,1 meq de Ca^{++} e transferir para erlenmeyer de 125 ml;
- diluir com água destilada para volume de 25 a 30 ml, adicionar 5 gotas de hidróxido de sódio e uma pitada de purpurato de amônio;
- titular com o EDTA 0,025 N e anotar o volume gasto;
- calcular o teor de cálcio existente no extrato pela seguinte expressão:

$\text{ml de EDTA} \times 10 / \text{alíquota usada (ml)} = \text{meq de } \text{Ca}^{++} \text{ por litro de extrato de saturação.}$

OBSERVAÇÃO: usar de preferência microbureta de 10 ml; caso o consumo de EDTA seja superior a este volume, utilizar alíquota menor do extrato; a viragem é do roxo para o púrpura e, por não ser instantânea a mudança de cor, o final da titulação deve ser vagaroso, ou seja, com a aplicação de gota de EDTA a cada 5 a 10 segundos; o valor da condutividade elétrica e a natureza do solo (calcário gipsífero) constituem um bom critério para determinação da alíquota a ser tomada na titulação.

PREPARO DE SOLUÇÕES:

- hidróxido de sódio 4 N: pesar 160 de NaOH p.a., dissolver em água destilada e completar o volume para 1 litro;
- indicador purpurato de amônio: misturar, pulverizando em gral, 0,5 g do indicador com 10 g de sulfato de zinco em pó;

- solução de EDTA 0.01 N: pesar 1,862 g do sal sódico (etileno diaminotetracético dihidratado), 0,05 g de $MgCl_2$ em água e diluir para balão de 1 litro; esta solução é padronizada com uma solução de $CaCl_2$ 0,01 N descrita a seguir:
- solução de cloreto de cálcio 0.01 N: pesar 0,05 g de carbonato de cálcio p.a. (cristais de calcita), adicionar 10 ml de ácido clorídrico a 25% até dissolver e completar o volume para 1 litro.

Determinar o título do EDTA com esta solução, utilizando o mesmo processo indicado para a amostra.

REFERÊNCIA: Richards et alii (1954).

MAGNÉSIO NO EXTRATO DE SATURAÇÃO**MÉTODO 2.35**

DOSADO JUNTAMENTE COM O CÁLCIO POR MÉTODO COMPLEXOMÉTRICO E CALCULADO POR DIFERENÇA ENTRE ESSE VALOR E O DO CÁLCIO:

- pipetar uma alíquota do extrato de saturação que contenha aproximadamente 0,1 meq de $(Ca^{++} + Mg^{++})$ e transferir para erlenmeyer de 125 ml;
- diluir com água destilada para volume de 25 a 30 ml, adicionar 0,5 ml de solução de cloreto de amônio e hidróxido de amônio e 5 gotas de indicador eriochrome black;
- titular com solução de EDTA 0,025 N e anotar o volume gasto;
- determinar o teor de $(Ca^{++} + Mg^{++})$ contido na amostra pela seguinte expressão;

$ml\ EDTA \times 10 / alíquota\ do\ extrato\ (ml) = meq\ de\ (Ca^{++} + Mg^{++})\ por\ litro\ do\ extrato\ de\ saturação;$

- calcular a quantidade de Mg^{++} em função do teor de Ca^{++} determinado no método 2,34, conforme segue:

$(Ca^{++} + Mg^{++}) - Ca^{++} = meq\ de\ Mg^{++}\ por\ litro\ do\ extrato\ de\ saturação.$

OBSERVAÇÃO: a determinação de $(Ca^{++} + Mg^{++})$ pode ser feita na mesma alíquota após dosagem do Ca^{++} , principalmente para extratos com baixos valores desses elementos, ou em solos muito pobres em Mg^{++} .

PREPARO DE SOLUÇÕES:

- solução de NH_4Cl + NH_4OH : pesar 67,5 g de cloreto de amônio, dissolver em aproximadamente 250 ml de água destilada contida em balão de 1 litro e, em seguida, adicionar 570 ml de NH_4OH concentrado; agitar e completar o volume;
- indicador eriochrome black: dissolver 0,5 g de eriochrome black e 45 g de hidrocloreto de hidroxilamina em álcool etílico a 95%; completar o volume para 100 ml;
- solução de EDTA 0,01 N: conforme descrito no método 2.34.

REFERÊNCIA: Richards et alii (1954).

MÉTODO FOTOMÉTRICO OU ESPECTROFOTOMÉTRICO:

- passar o extrato de saturação no fotômetro ou espectrofotômetro utilizando o filtro próprio de Na⁺;
- proceder à leitura, diluindo o extrato quando a leitura ultrapassar a escala do aparelho;
- calcular o teor de Na⁺ no extrato pela seguinte expressão:
leitura da amostra x diluição x f_{Na} = meq de Na⁺ por litro do extrato.

OBSERVAÇÃO: obter o fator f para o N⁺ em função dos valores obtidos com os padrões de 0,1 - 0,2 - 0,3 e 0,4 meq de Na⁺ na mesma forma indicada para o método 2.13, adaptando-o para meq por litro; geralmente é necessário proceder a várias diluições para tornar possível a leitura no aparelho.

PREPARO DE SOLUÇÕES:

- conforme indicado no método 2.13.

REFERÊNCIA: Richards et alii (1954).

MÉTODO FOTOMÉTRICO OU ESPECTROFOTOMÉTRICO:

- passar o extrato de saturação no fotômetro ou espectrofotômetro utilizando o filtro próprio para o potássio;
- proceder à leitura e diluir o extrato quando a leitura ultrapassar a escala do aparelho;
- calcular o teor de potássio pela seguinte expressão:

leitura da amostra x diluição x f_k = meq de K^+ por litro do extrato.

OBSERVAÇÃO: O fator f para o potássio é obtido da mesma maneira indicada no método 2.12; usualmente as diluições para o potássio são bem menores do que para o sódio.

PREPARO DE SOLUÇÕES:

- conforme indicado para o método 2.12.

REFERÊNCIA: Richards et alii (1954).

CARBONATOS NO EXTRATO DE SATURAÇÃO	MÉTODO 2.38
------------------------------------	-------------

MÉTODO VOLUMÉTRICO COM TITULAÇÃO PELO ÁCIDO SULFÚRICO:

- pipetar alíquota de 10 a 25 ml do extrato de saturação e colocar em erlenmeyer de 125 ml;
- adicionar 3 gotas de fenolftaleína e titular com solução de H₂SO₄ 0,025 N, preferivelmente contida em microbureta de 10 ml;
- anotar o número de ml gastos; caso a extração não apresente coloração vermelha com a fenolftaleína, o valor de CO₃⁻ é nulo;
- calcular o teor de CO₃⁻ no extrato pela seguinte expressão:

ml de ácido gastos x 50 / ml da alíquota = meq de CO₃⁻ por litro de extrato.

OBSERVAÇÃO: a titulação deve ser feita em local bem iluminado (luz fluorescente), sendo o erlenmeyer colocado sobre azulejo branco; uma mesma quantidade de água deve ser colocada em erlenmeyer, assim como o mesmo número de gotas do indicador, para comparação com a amostra; esta mesma alíquota é usada para determinação dos bicarbonatos (método 2.39).

PREPARO DE SOLUÇÕES:

- solução de fenolftaleína a 1%: dissolver 1 g de fenolftaleína em 100 ml de álcool etílico ε 60%;
- ácido sulfúrico 0,025 N: preparar a partir de soluções normal ou decinormal de H₂SO₄.

REFERÊNCIA: Richards et alii (1954).

MÉTODO VOLUMÉTRICO COM TITULAÇÃO PELO ÁCIDO SULFÚRICO:

- após a titulação dos carbonatos, adicionar 3 gotas do indicador metil-orange e continuar a adição do ácido sulfúrico 0,25 N contido na bureta, até viragem de cor amarela para alaranjada;
- utilizar uma prova em branco, ou seja, o total usado com a fenolftaleína e com o metil-orange;
- calcular o teor de CO_3H^- no extrato pela seguinte expressão:

$(\text{ml total gastos} - \text{ml gastos com fenolftaleína} \times 2) \times 50 / \text{ml da alíquota de extrato} = \text{meq de } \text{CO}_3\text{H}^- \text{ por litro no extrato.}$

OBSERVAÇÃO: esta mesma alíquota pode ser usada para determinação dos cloretos.

PREPARO DE SOLUÇÕES:

- indicador metil-orange 0.01%: pesar 0,01 g do indicador, dissolver em água destilada e completar o volume para 100 ml;
- solução de H_2SO_4 0,025 N: preparada a partir de solução normal ou decinormal do ácido.

REFERÊNCIA: Richards et alii (1954).

CLORETOS NO EXTRATO DE SATURAÇÃO

MÉTODO 2.40

MÉTODO VOLUMÉTRICO PELO NITRATO DE PRATA:

- pipetar alíquota de 1 a 25 ml, do extrato de saturação; dependendo do teor salino da amostra, colocar em cápsula de porcelana de 150 ml e diluir para volume de 25 ml;
- adicionar 5 gotas do cromato de potássio e agitar bem com bastão de vidro;
- titular com solução de AgNO_3 0,005 N até a formação de coloração vermelha persistente;
- calcular o teor de Cl^- no extrato pela seguinte expressão:
$$(\text{ml gastos} - \text{ml na prova em branco}) \times 50 / \text{ml da alíquota de extrato} = \text{meq de } \text{Cl}^- \text{ no extrato de saturação.}$$

OBSERVAÇÃO: deve ser empregada microbureta âmbar de 10 ml; a titulação não deve ir além dos 12 ml de AgNO_3 , sendo feitas as diluições necessárias para que fique numa faixa de 2 a 8 ml; paralelamente deve ser feita uma prova em branco com cromato de potássio para verificação de viragem e do volume de AgNO_3 gasto, o qual participará do cálculo.

PREPARO DE SOLUÇÕES

- solução de cromato de potássio a 5%: pesar 5 g do K_2CrO_4 e dissolver em 50 ml de água destilada; adicionar, gota a gota, a solução de AgNO_3 0,05 N, até formação de precipitado permanente; filtrar e diluir para 100 ml;

- solução de nitrato de prata 0.05 N: pesar exatamente 8,495 g de AgNO_3 puro e dissolver em água destilada contida em balão aferido de 1 litro, agitar e completar o volume; guardar em vidro escuro.

REFERÊNCIA: Richards et alii (1954).

ASTM	STANDARD TEST METHODS OF SAMPLING AND TESTING BRICK AND STRUCTURAL CLAY TILE	C 67-92a Nov/1992
------	--	----------------------

10. Eflorescência

10.1. Aparelhagem

10.1.1. Bandejas e recipientes-panels ou bandejas rasas impermeáveis de material resistente a corrosão que não proporcione sais solúveis quando em contato com as lavagens dos tijolos em água destilada. A panela será de tais dimensões que proporcione não menos que 1 in de profundidade de água.

10.1.2. Sala de secagem - mantida a uma temperatura de $24^{\circ}\text{C} \pm 8^{\circ}\text{C}$ com umidade relativa entre 30% e 70% e livre de correntes de ar.

10.1.3. Estufa - que proporcione uma circulação do ar através da estufa e mantenha temperatura entre 110°C e 115°C .

10.2. Amostras

10.2.1. A amostra consistirá de 10 tijolos de tamanho natural.

10.2.2. Os 10 tijolos serão escolhidos em 5 pares de modo que ambos os tijolos de cada par sejam o mais semelhantes possível.

10.3. Preparação das amostras

Remover por escovamento alguma sujeira que adira ao tijolo que se poderia identificar como eflorescência. Secar as amostras em estufa a 110°C - 115°C por 24 h. Resfriar as amostras na sala de secagem, desamontoadas e em local separado por um período de 4 h.

10.4. Procedimento

10.4.1. Colocar um tijolo de cada um dos cinco pares, em pé, dentro do recipiente, parcialmente imerso em água destilada a uma profundidade de aproximadamente 1 in, durante 7 dias. As amostras devem permanecer na sala

de secagem. Quando várias amostras são testadas no mesmo recipiente, deve-se deixar um espaço de 2 in entre elas.

10.4.2. Guardar o segundo tijolo de cada um dos cinco pares na sala de secagem sem contato com a água.

10.4.3. No fim de 7 dias secar os 10 tijolos na estufa por 24 h.

10.5. Exame e Classificação

Depois de secar, examinar e comparar cada par das amostras, observando o topo e todas as quatro faces de cada amostra de uma distância de 10 ft (3m) sob uma iluminação de não menos que $538,2 \text{ lm/m}^2$ por um observador com visão normal. Se sob estas condições não notar nenhuma diferença, classificar como "não eflorescente". Se há uma perceptível diferença, classificar como "eflorescente".

MÉTODO TURBIDIMÉTRICO PARA DETERMINAÇÃO DE SULFATOS

1. Discussões

1.a) Fundamento: o íon Sulfato (SO_4^{2-}) é precipitado em um meio ácido acético com cloreto de bário, formando assim cristais de Sulfato de bário (BaSO_4) de tamanho uniforme. A luz absorvida (absorbância da luz) da suspensão de BaSO_4 é medida por um fotômetro e a concentração de SO_4^{2-} é determinada pela comparação da leitura com uma curva padronizada.

1.b) Interferência: Cor ou material suspenso em grande quantidades interferirá. Alguma matéria suspensa pode ser removida por filtração. Se ambos são em pequenas quantidades, podem ser corrigidas como em 4.d abaixo. Sílica em mais de 500 mg/l interferirá, e em águas com grande quantidades de matéria orgânica não será possível uma boa precipitação da BaSO_4 .

Em águas potáveis não há outros íons além de SO_4^{2-} que formará compostos insolúveis com bário sob condições fortemente ácidas. Fazer as determinações em temperatura ambiente; variações de $\pm 10^\circ\text{C}$ não causará erros apreciáveis.

1.c) Concentração mínima detectável: aproximadamente 1 mg SO_4^{2-} /l.

2. Aparelhagem

- a) Agitador magnético.
- b) Espectrofotômetro (420 nm, curveta de 2,5 a 10 cm).
- c) Cronômetro.
- d) Colher medida (capacidade: 0,2 a 0,3 ml).

3. Reagentes

a) Solução tampão A: Dissolver 30 g de Cloreto de magnésio, 5 g de acetato de sódio, 1 g de nitrato de potássio e 20 ml de ácido acético em 500 ml de água destilada e completar até 1000 ml.

b) Solução tampão B (quando a concentração de SO_4^{2-} na amostra é menor que 10 mg/l): Dissolve 30 g de cloreto de magnésio, 5 g de acetato de sódio, 1 g de nitrato de potássio, 0,111 g de sulfato de sódio e 20 ml de ácido acético (99%) em 500 ml de água destilada e completar até 1000 ml.

c) Cloreto de bário: cristais passando na malha 20 a 30.

d) Solução de sulfato padronizada: preparar a solução como descrita abaixo, desde que $1,0 \text{ ml} = 100 \mu\text{g SO}_4^{2-}$:

d.1) Diluir 10,4 ml de ácido sulfúrico 0,02 N em 100 ml de água destilada ou,

d.2) Dissolver 0,1479 g de sulfato de sódio anidro em água destilada e diluir até 1000 ml.

4. Procedimento

a) Formação da turbidez do sulfato de bário: medir 100 ml da amostra ou diluir uma porção para 100 ml e colocar dentro de um erlenmeyer de 250 ml de capacidade. Adicionar 20 ml da solução tampão e misturar no agitador magnético por 1 minuto. Fazer a primeira leitura para eliminar interferência de cor e turbidez. Colocar 1 colher medida de cloreto de bário e agitar por 1 minuto.

b) Medida da turbidez do sulfato de bário: depois de agitada, deixa a amostra em repouso por 5 minutos na curveta e então faz a segunda leitura.

c) Preparação da curva de calibração: estima-se a concentração de sulfatos da amostra, comparando-se a leitura da turbidez com a curva de calibração, preparada com concentrações de sulfatos variando de 0 a 40 mg/l. incrementadas de 5 mg/l.

5. Cálculos

Determina-se a concentração de sulfatos diretamente da curva de calibração, depois de subtrair a segunda leitura da primeira e também a prova em branco, obtendo-se resultados em mg/l.

$$\text{SO}_4^{2-} \text{ (meq/l)} = \frac{\text{SO}_4^{2-} \text{ (mg/l)} \times \text{Fator de diluição}}{\text{Peso equivalente}}$$

DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA

ANEXO 2

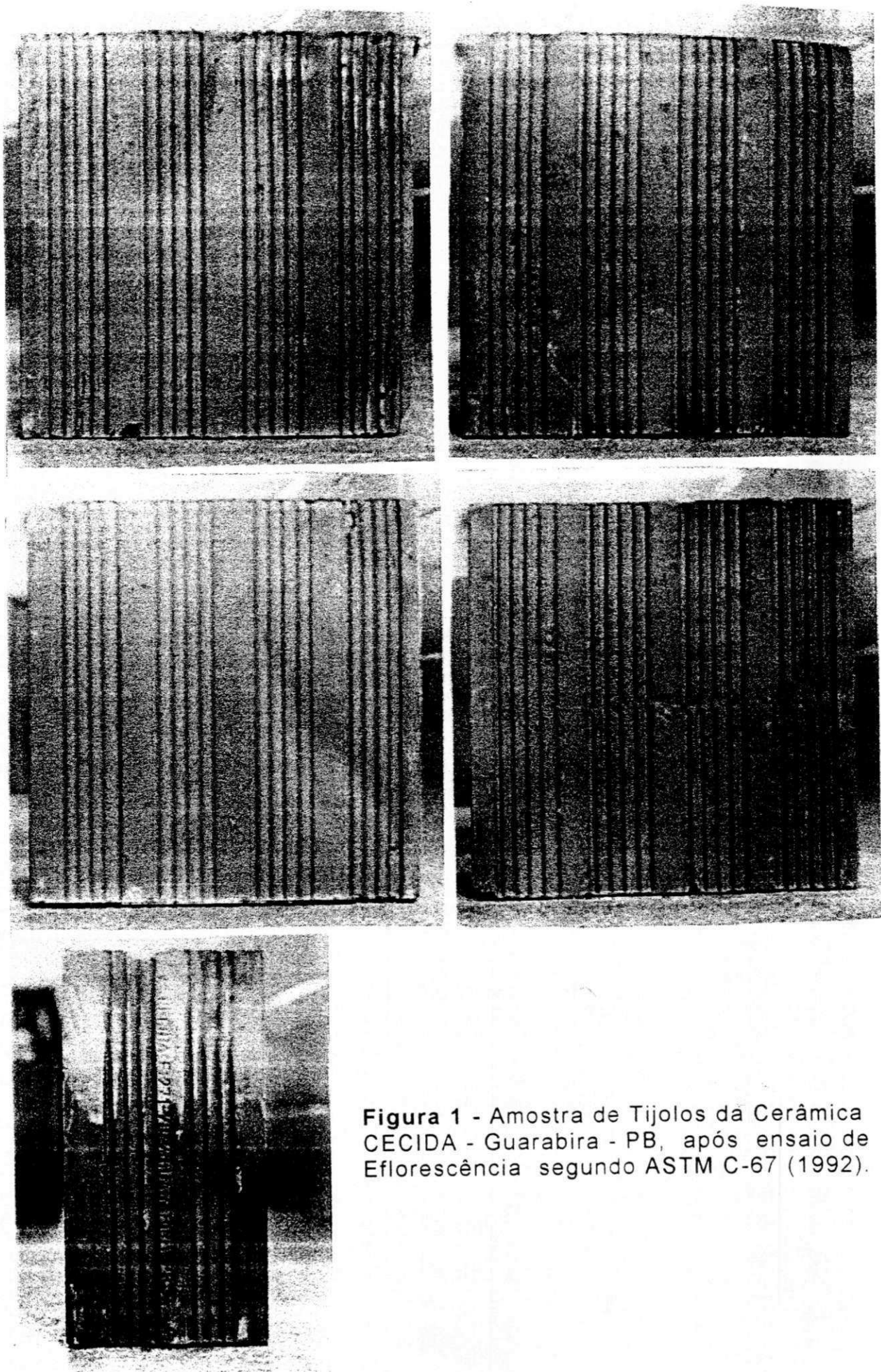


Figura 1 - Amostra de Tijolos da Cerâmica CECIDA - Guarabira - PB, após ensaio de Eflorescência segundo ASTM C-67 (1992).

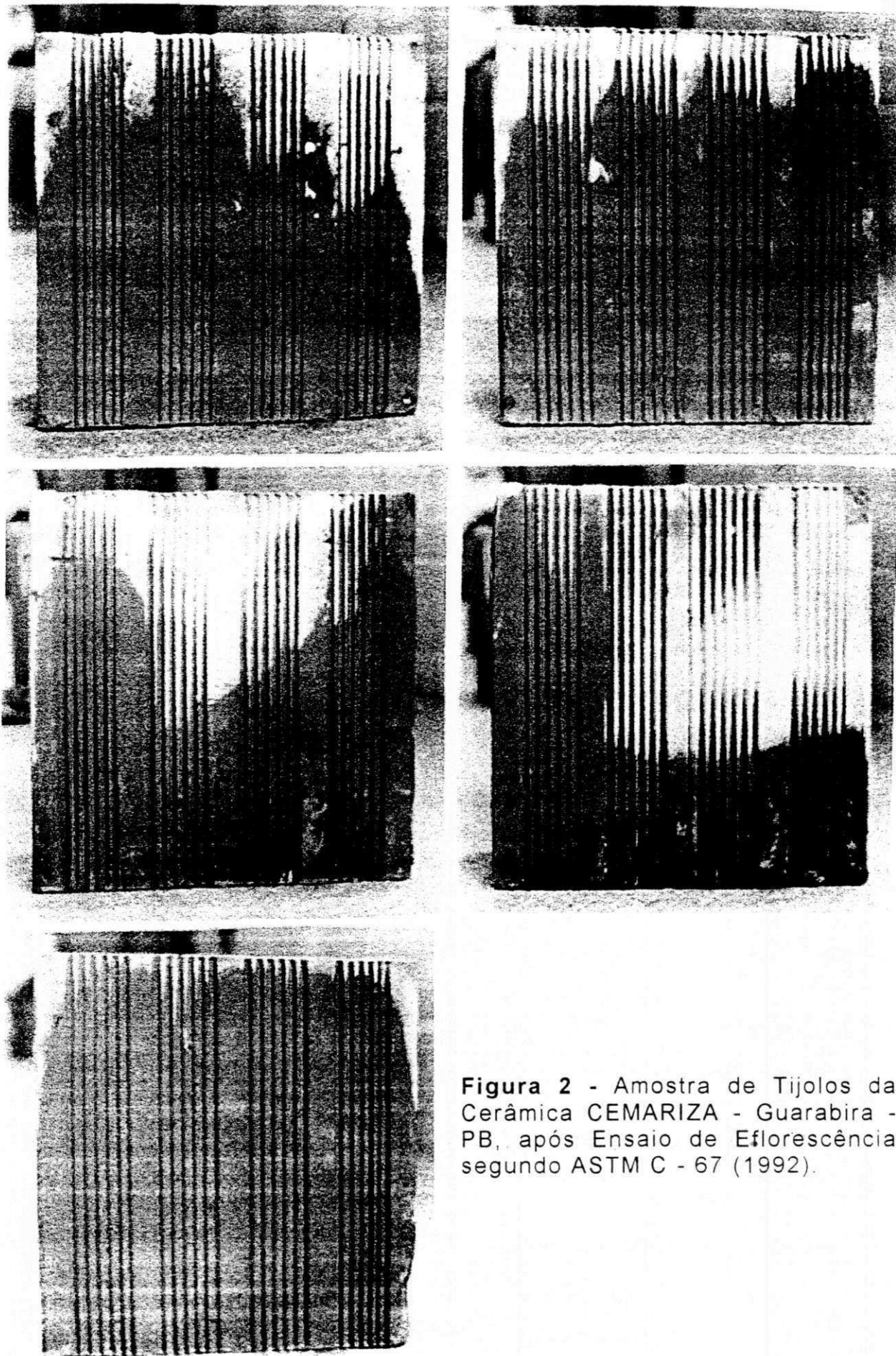


Figura 2 - Amostra de Tijolos da Cerâmica CEMARIZA - Guarabira - PB, após Ensaio de Eflorescência segundo ASTM C - 67 (1992).

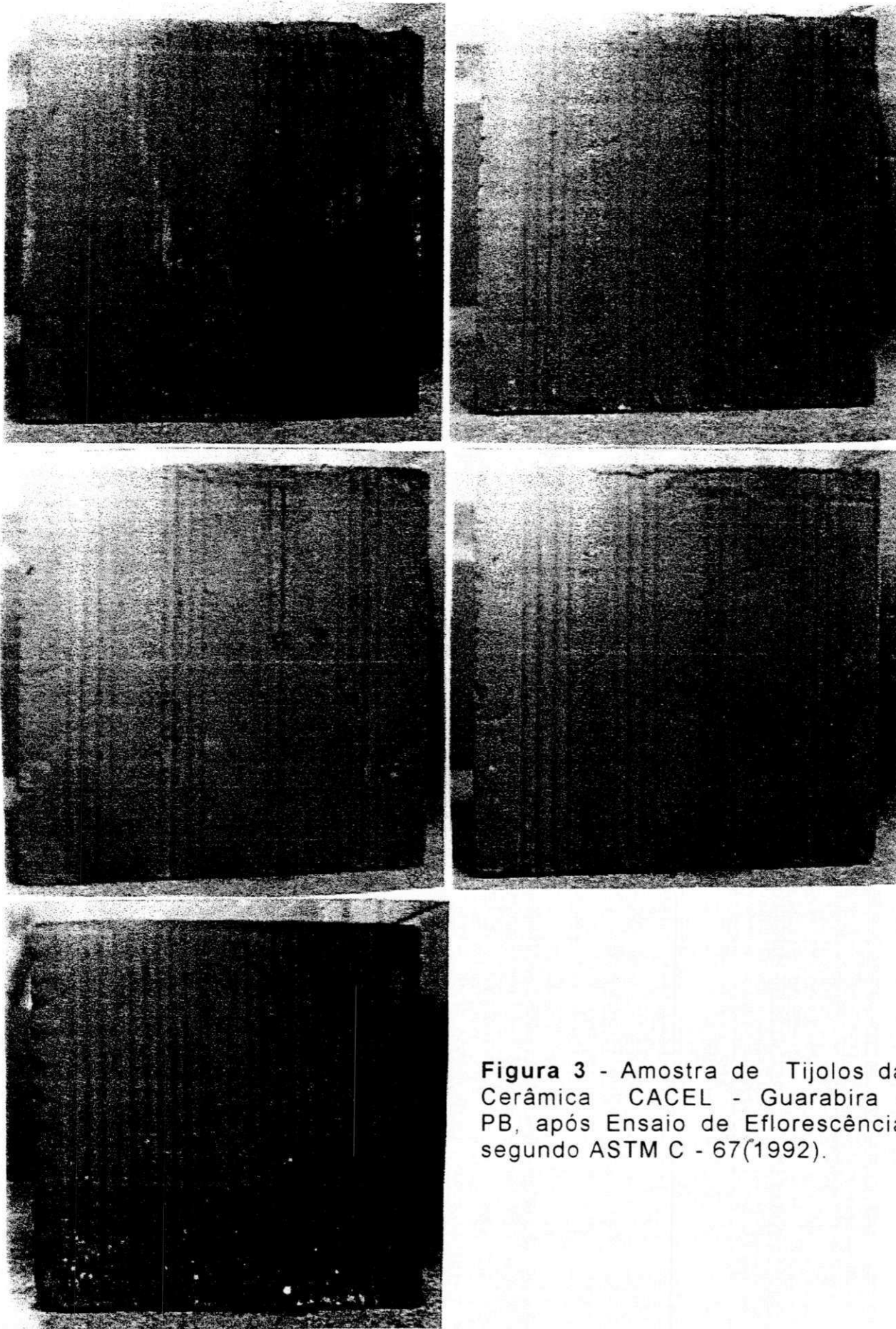


Figura 3 - Amostra de Tijolos da Cerâmica CACEL - Guarabira - PB, após Ensaio de Eflorescência segundo ASTM C - 67(1992).

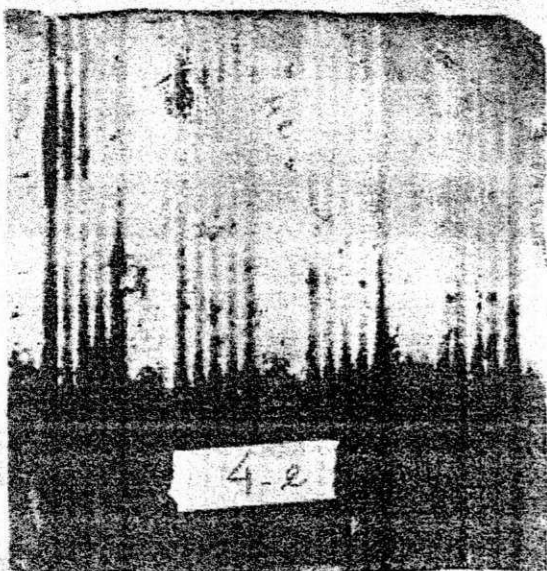
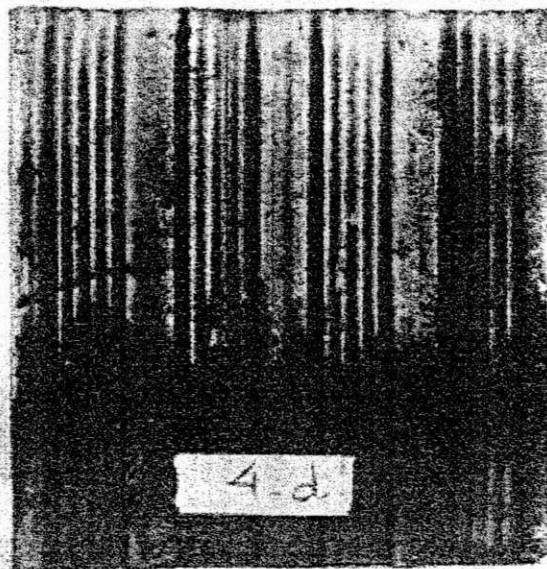
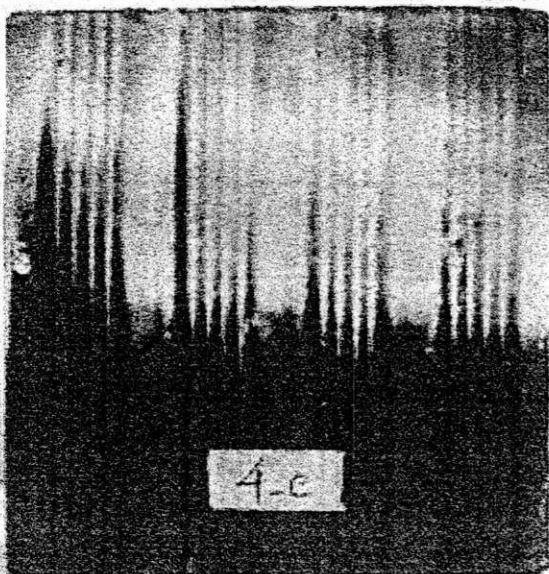
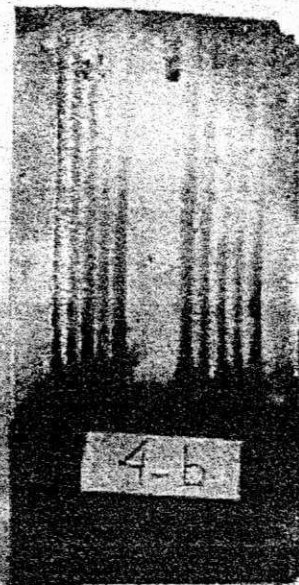
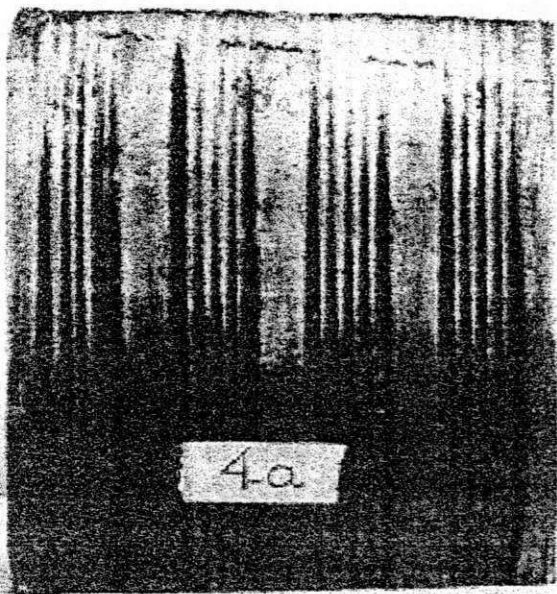


Figura 4 - Amostra de Tijolos da Cerâmica ESPÍRITO SANTO - Cruz do Espírito Santo - PB, após Ensaio de Eflorescência segundo ASTM C - 67(1992).

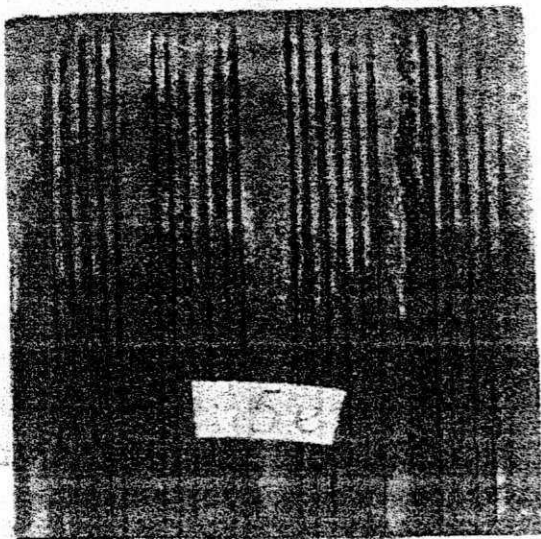
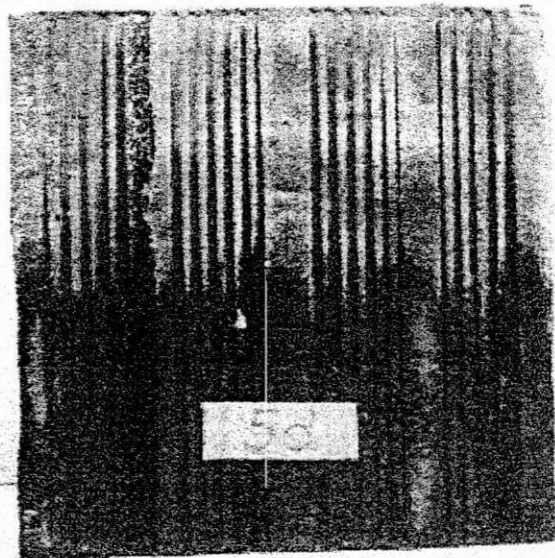
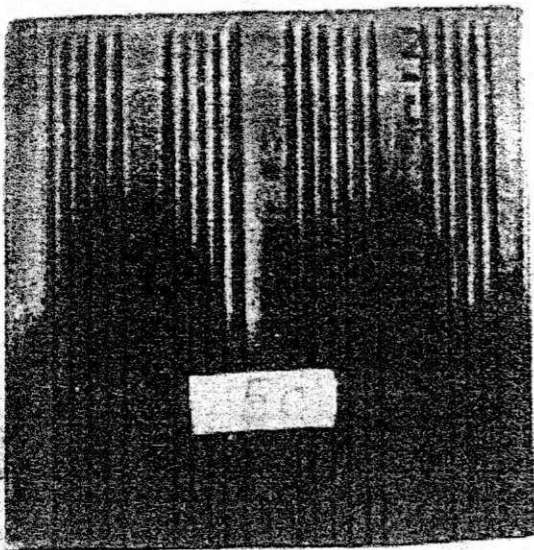
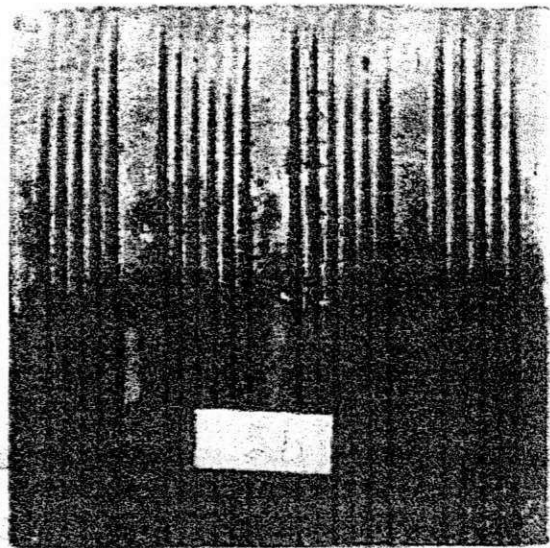
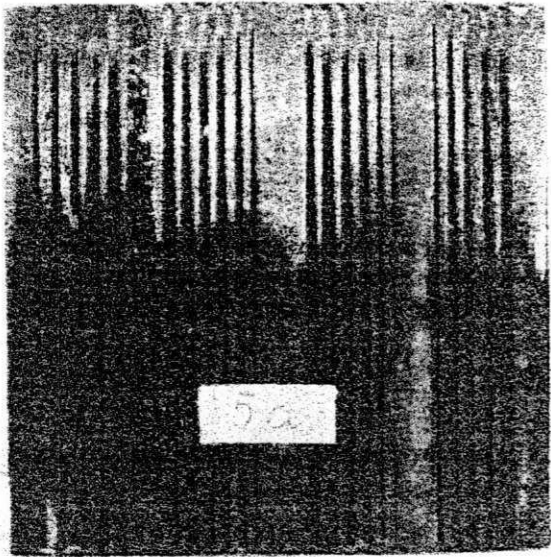


Figura 5 - Amostra de Tijolos da Cerâmica CINCERA - Santa Rita - PB, após Ensaio de Eflorescência segundo ASTM C -67(1992).

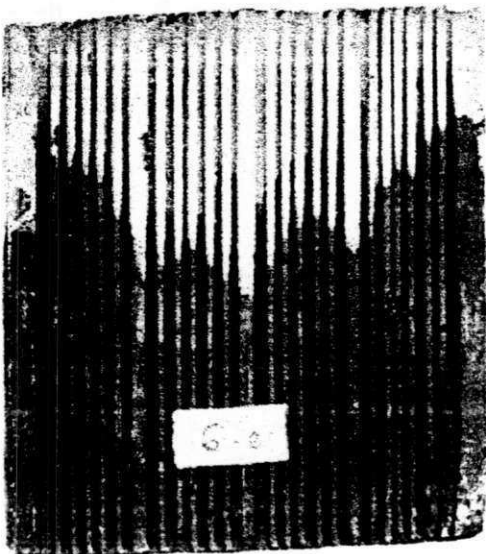
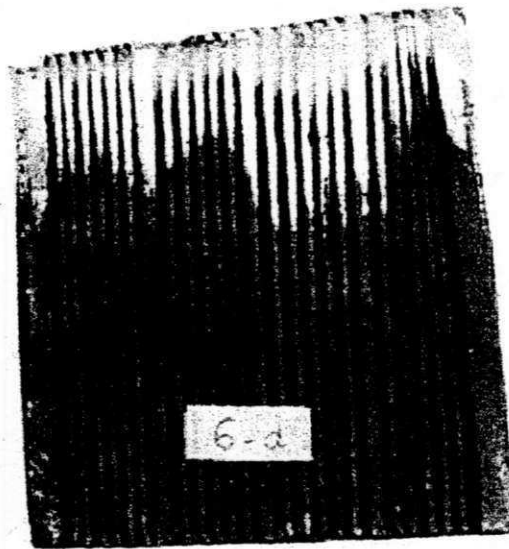
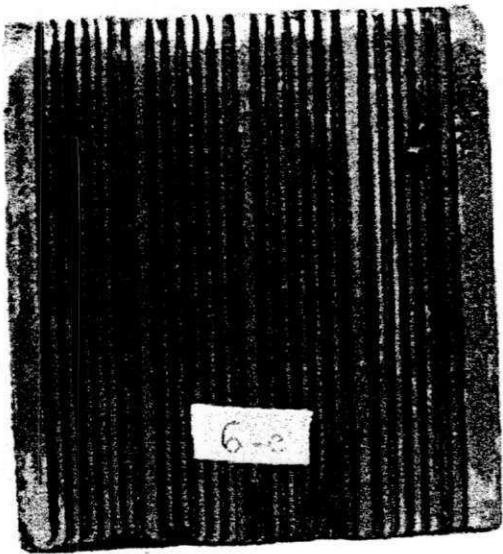
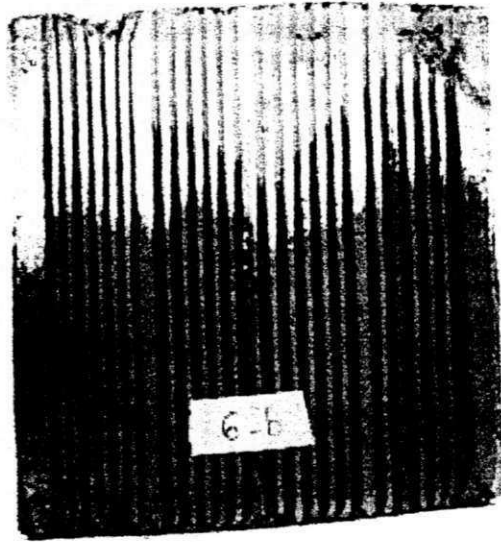
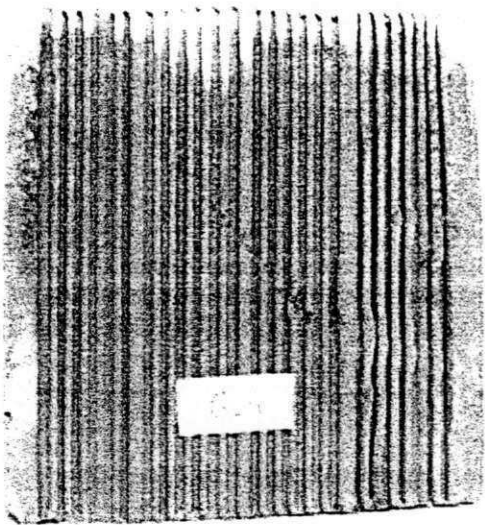


Figura 6 - Amostra de Tijolos da Cerâmica CAIONGO - Santa Rita - PB, após Ensaio de Eflorescência segundo ASTM C - 67(1992).

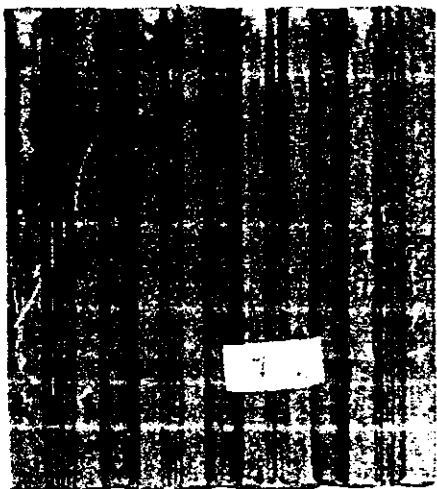
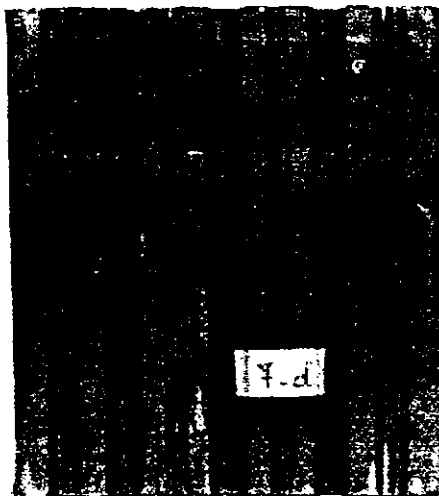
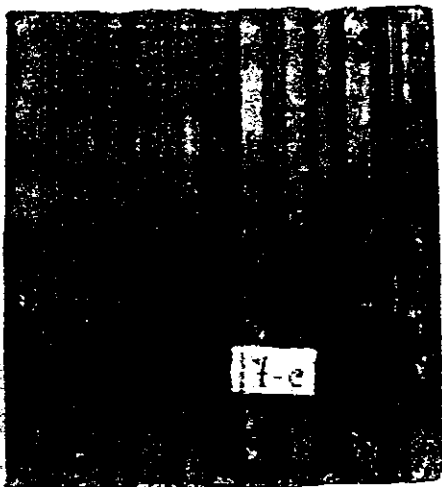
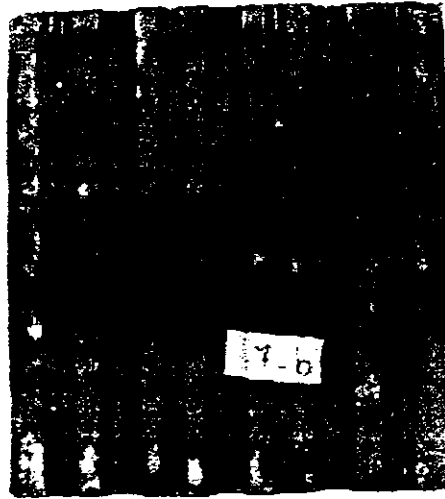
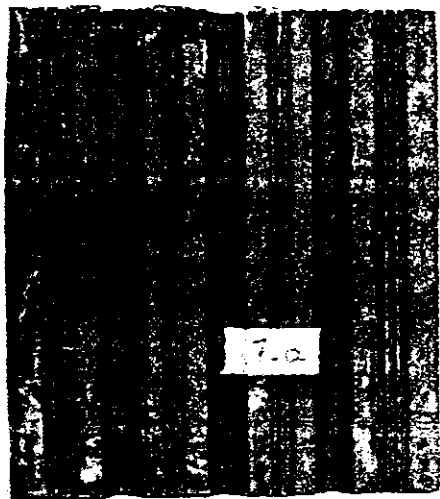


Figura 7 - Amostra de Tijolos da Cerâmica CEMAL - Mamanguape - PB. após Ensaio de Eflorescência segundo ASTM C - 67(1992).

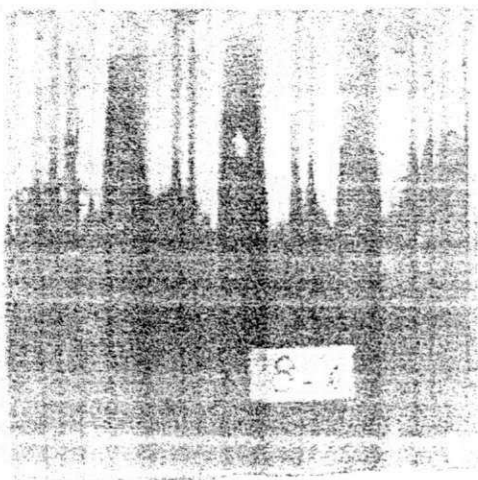
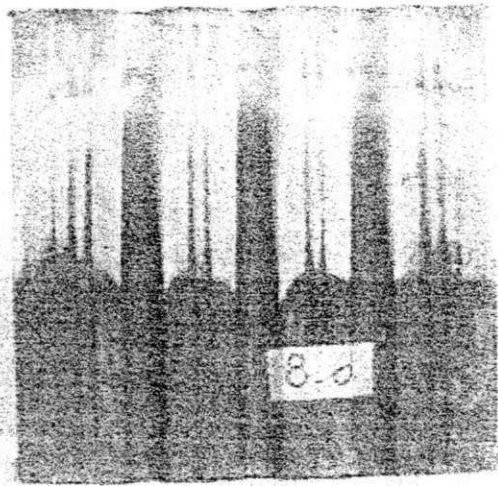
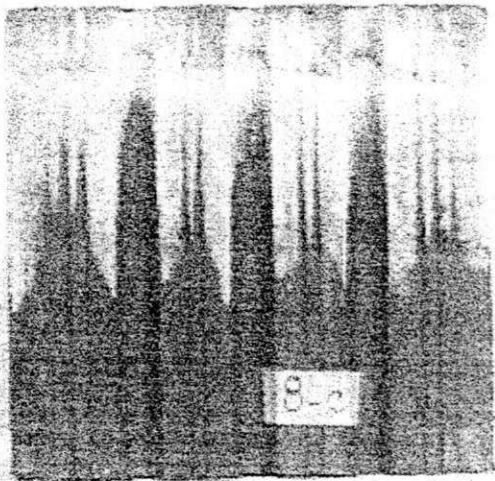
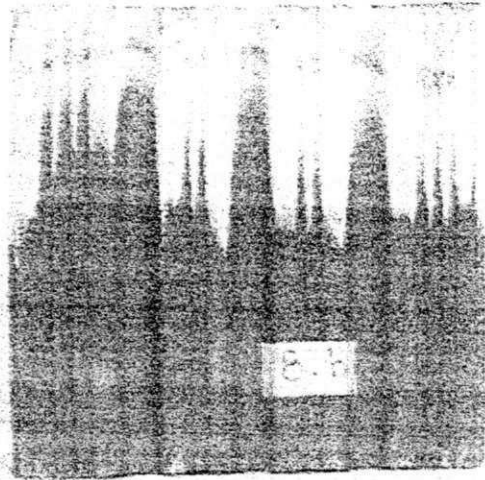
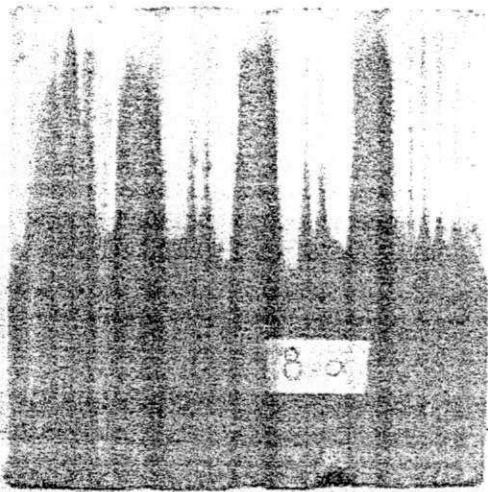


Figura 8 - Amostra de Tijolos da Cerâmica SALEMA - Rio Tinto - PB, após Ensaio de Eflorescência segundo ASTM C - 67(1992).

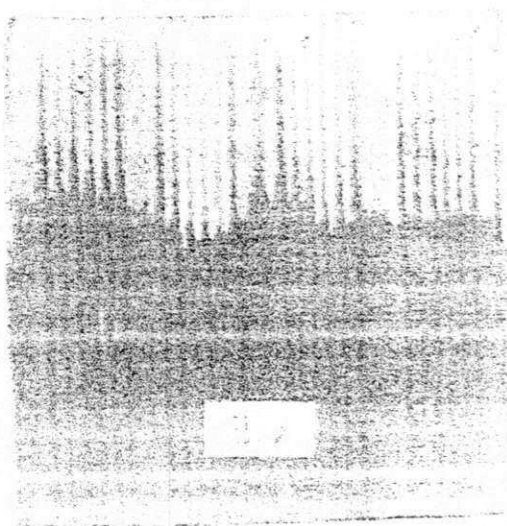
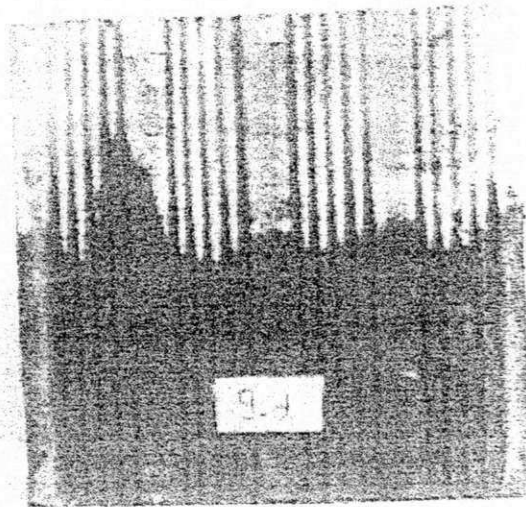
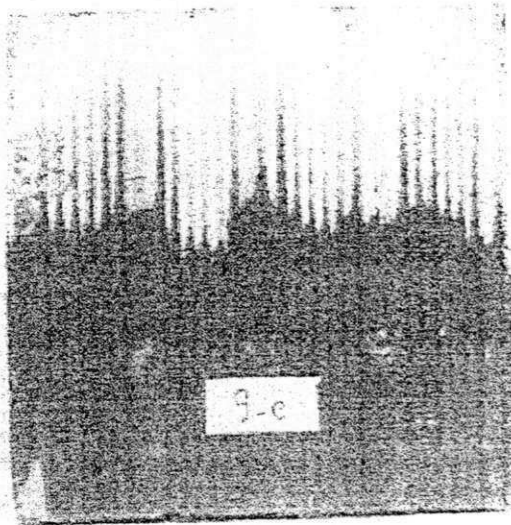
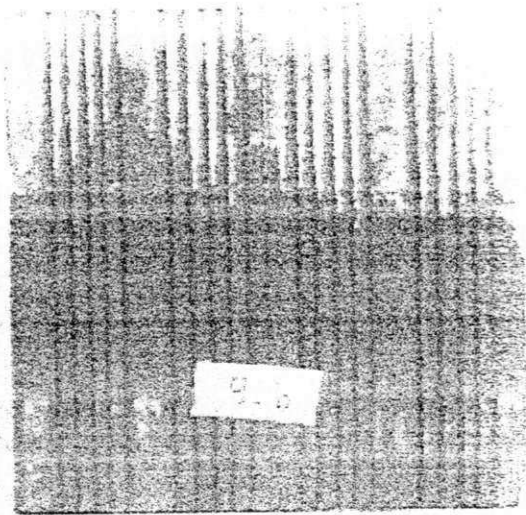
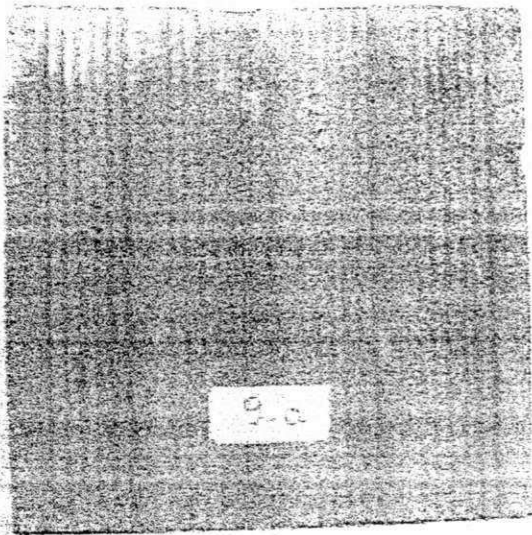


Figura 9 - Amostra de Tijolos da Cerâmica IRMÃOS BORGES - Rio Tinto - PB, após Ensaio de Efluorescência segundo ASTM C - 67(1992).

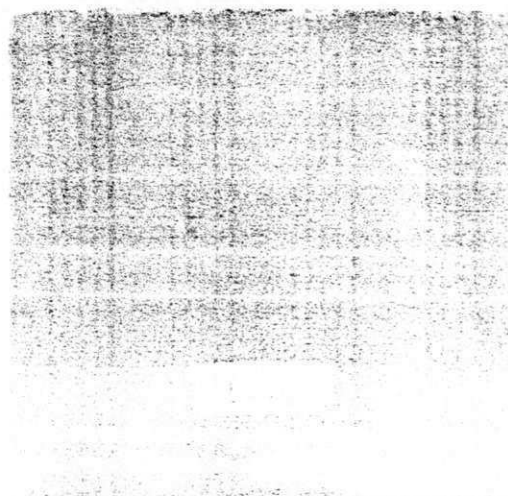
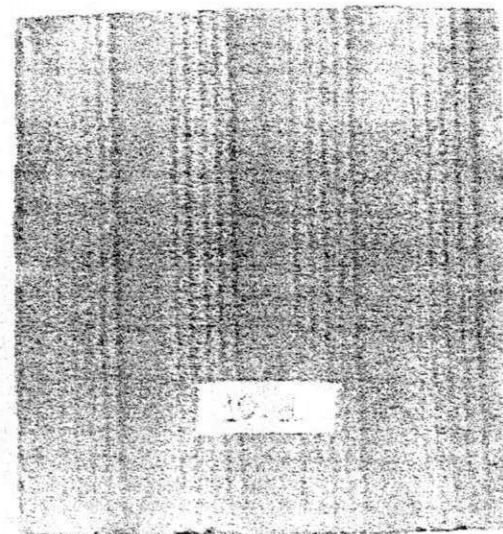
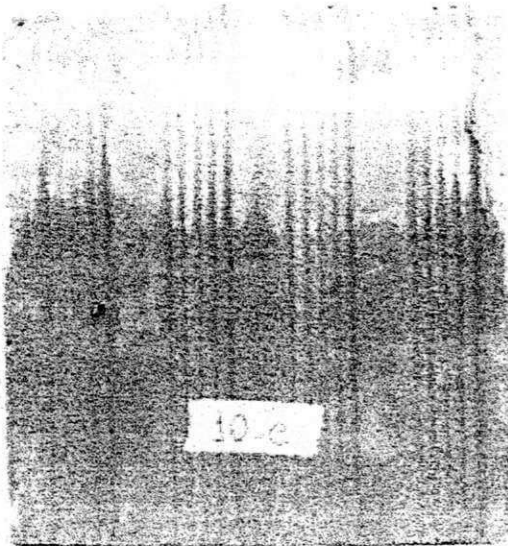
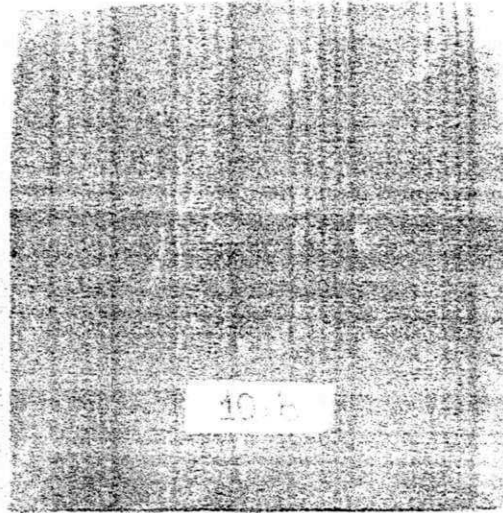
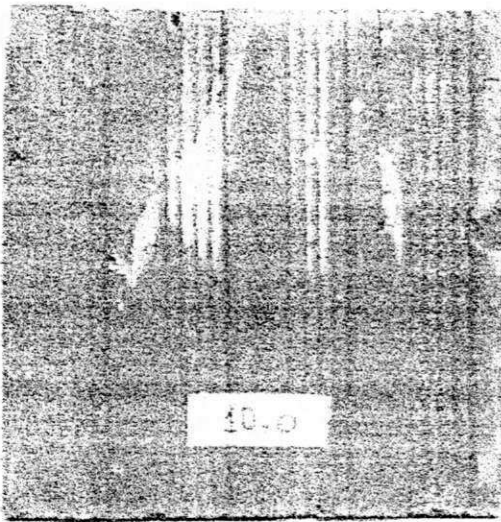


Figura 10 - Amostra de Tijolos da Cerâmica PINDOBAL FEBEMA A - Mamanguape - PB, após Ensaio de Eflorescência segundo ASTM C - 67(1992).

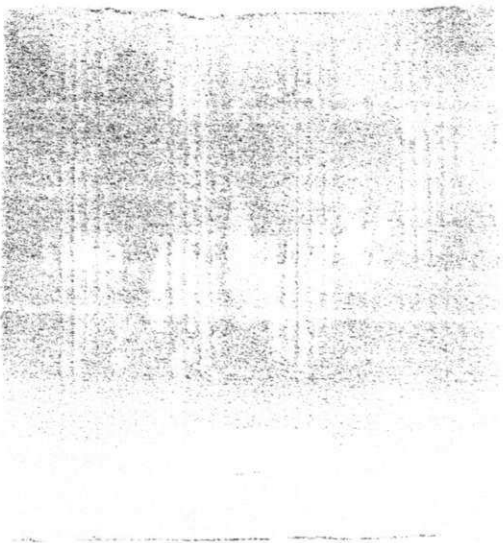
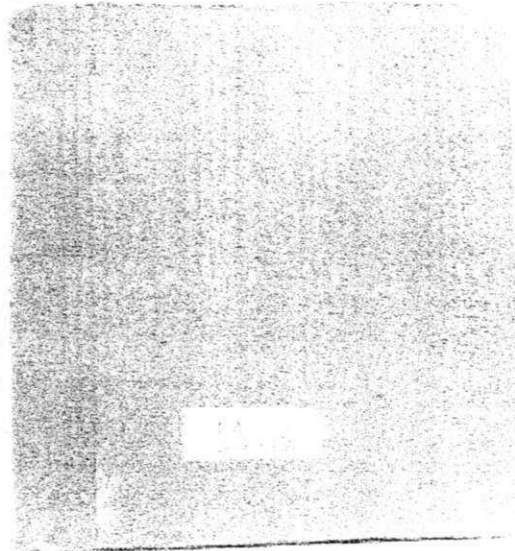
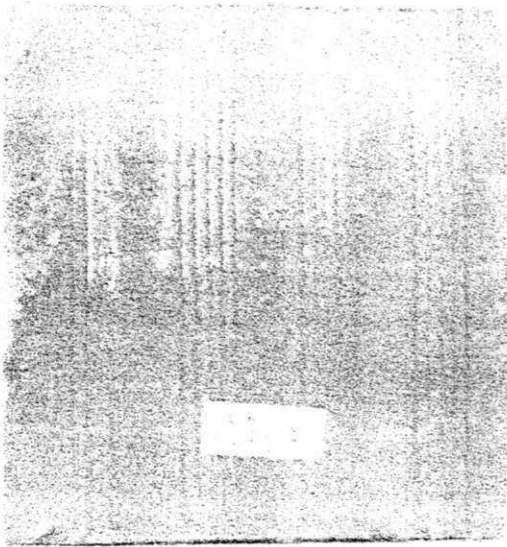
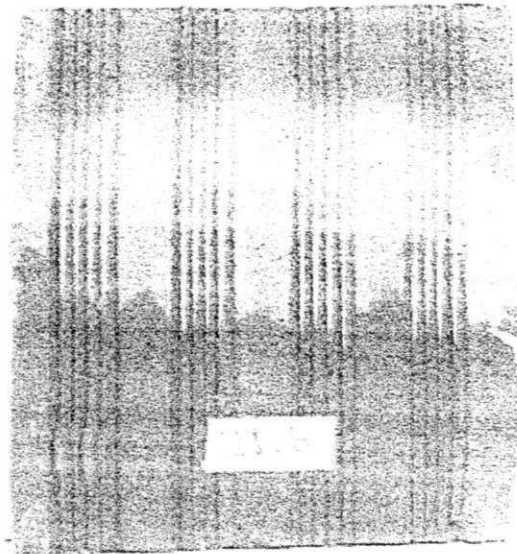
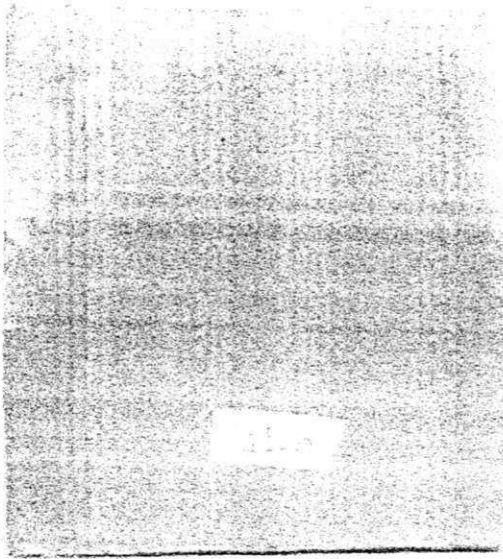


Figura 11 - Amostra de Tijolos da Cerâmica NEY DE ARRUDA - Alagoa Grande - PB, após Ensaio de Eflorescência segundo ASTM C - 67(1992).

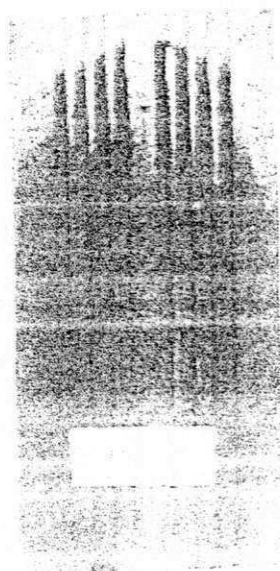
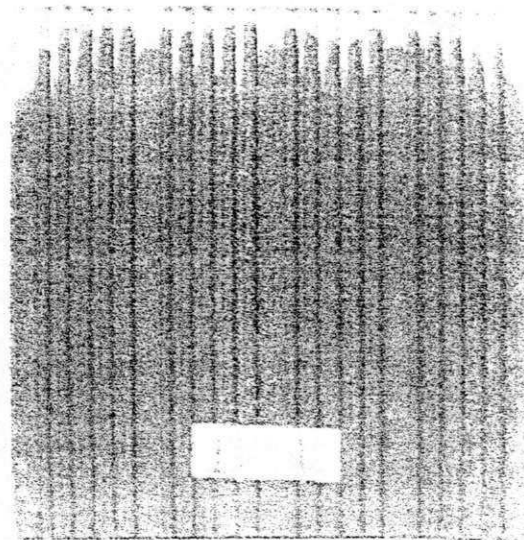
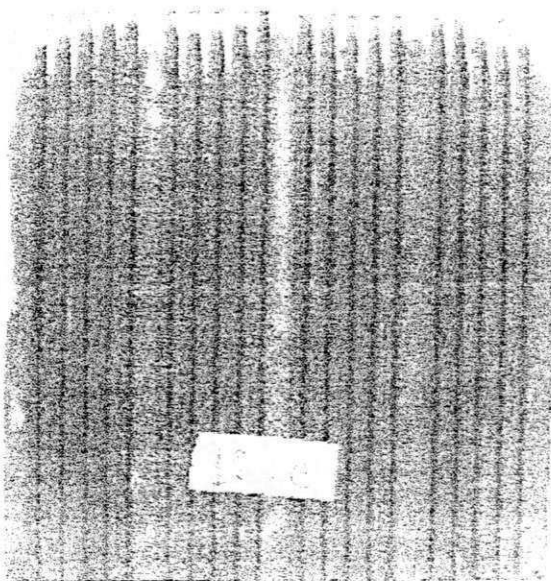
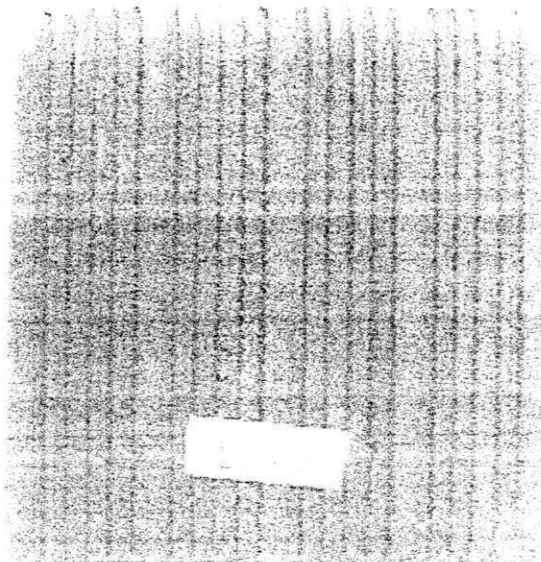
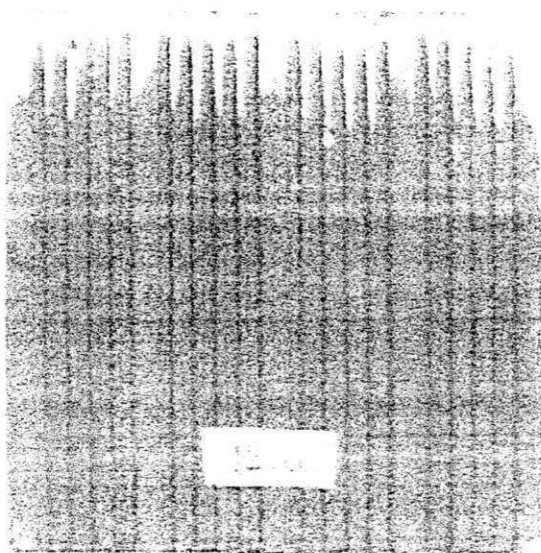


Figura 12 - Amostra de Tijolos da Cerâmica JARDIM - Mulungu - PB. após Ensaio de Efluorescência segundo ASTM C - 67(1992).

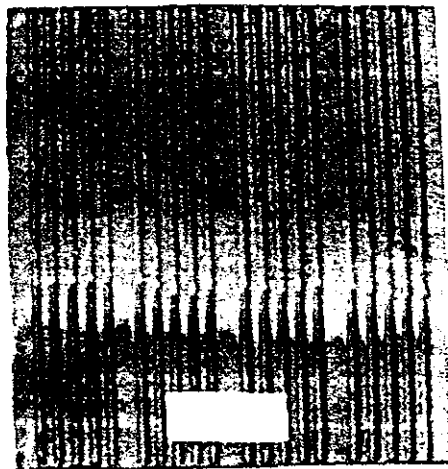
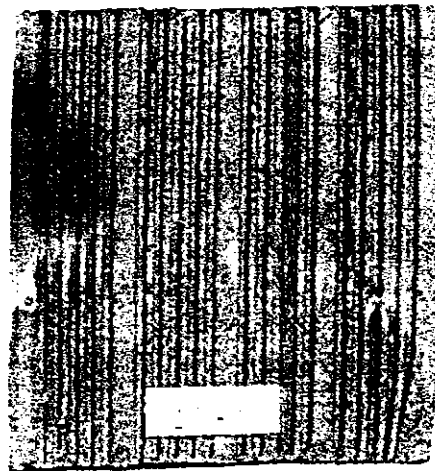
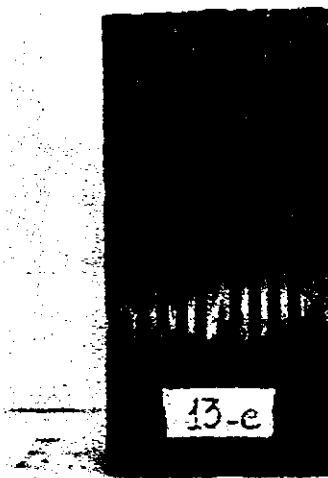
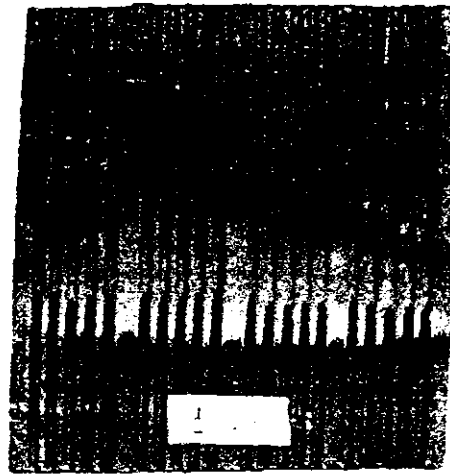
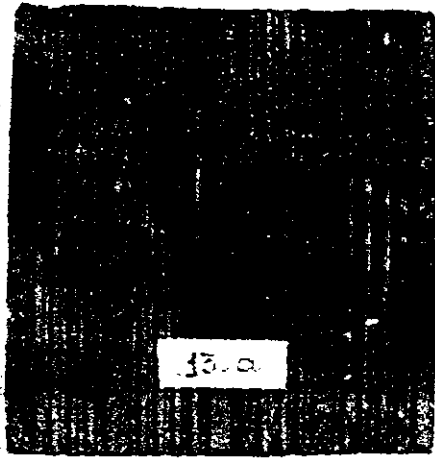


Figura 13 - Amostra de Tijolos da Cerâmica SANTA BÁRBARA - Mulungu - PB. após Ensaio de Eflorescência segundo ASTM C - 67(1992).

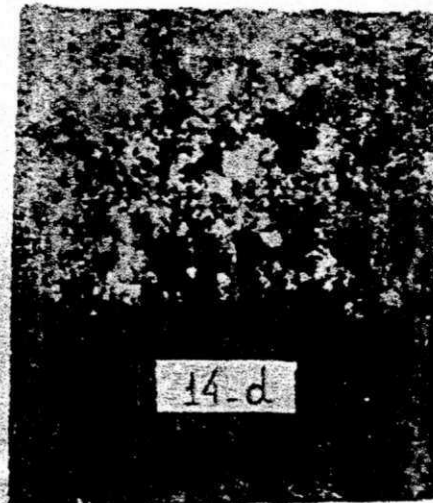
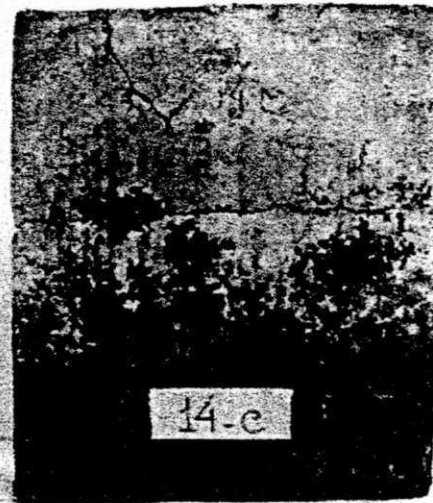
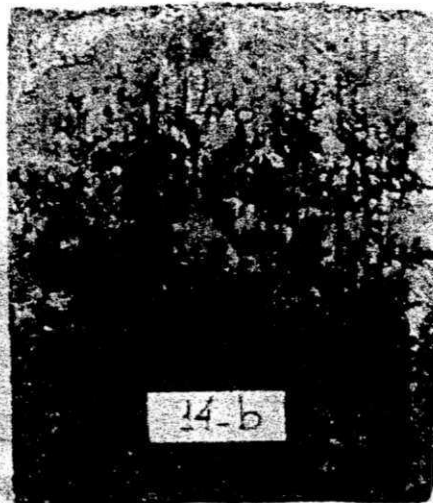
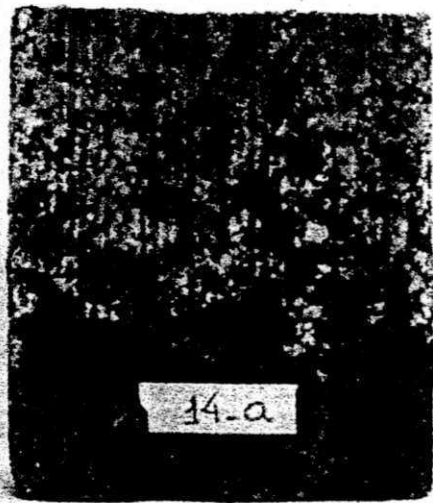


Figura 14 - Amostra de Tijolos da Cerâmica IND. COM. MODULADOS REMÍGIO - Remígio - PB. após Ensaio de E-florescência segundo ASTM C - 67(1992).

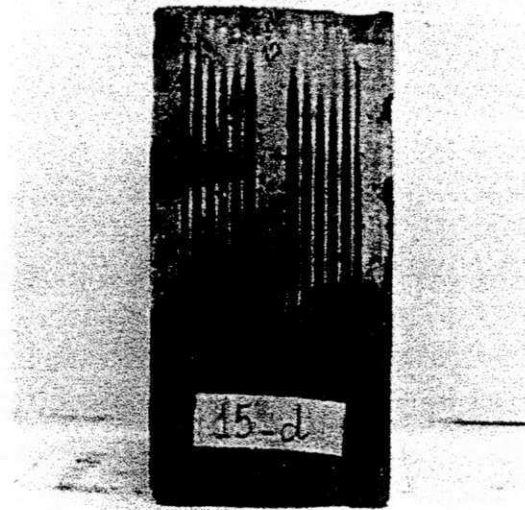
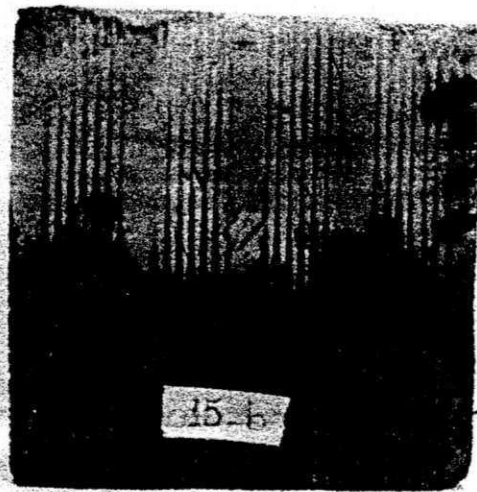
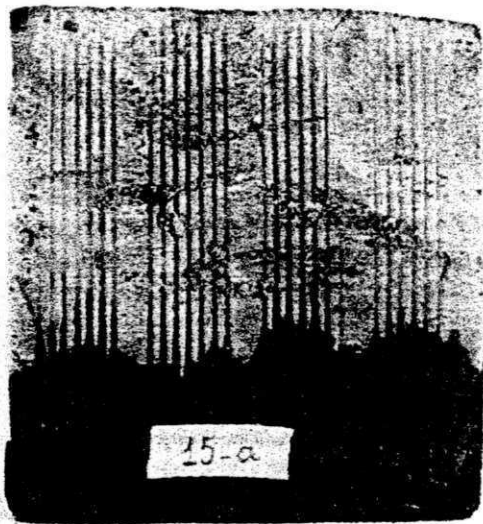


Figura 15 - Amostra de Tijolos da Cerâmica SOLEDADE - Soledade - PB, após Ensaio de Eflorescência segundo ASTM C - 67(1992).

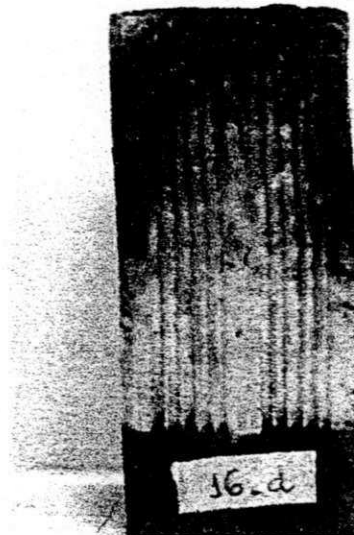
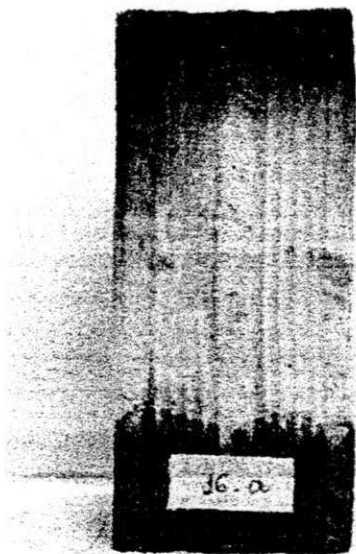


Figura 16 - Amostra de Tijolos da Cerâmica SÃO JOSÉ - Soledade - PB. após Ensaio de Eflorescência segundo ASTM C - 67(1992).

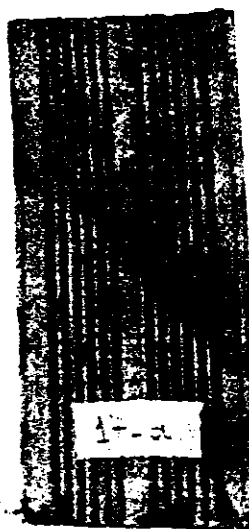
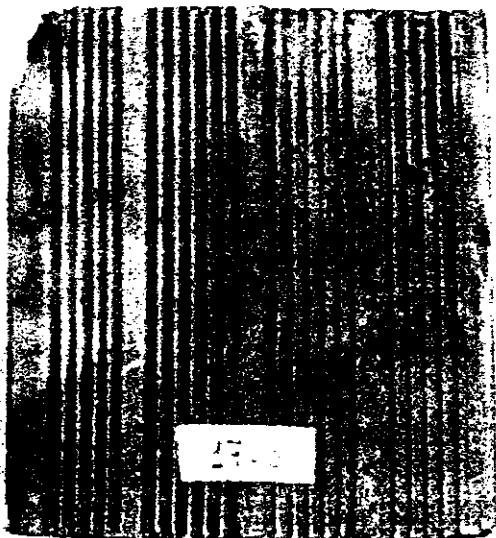
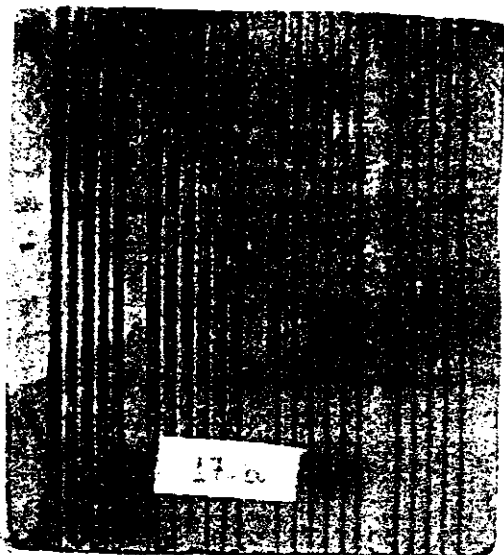


Figura 17 - Amostra de Tijolos da Cerâmica ARLINDO - Soledade - PB. após Ensaio de Eflorescência segundo ASTM C - 67(1992).

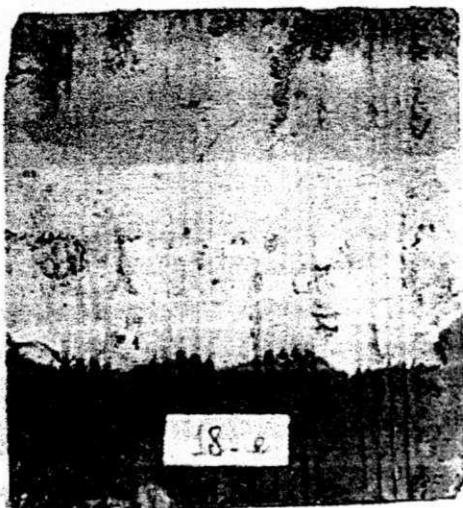
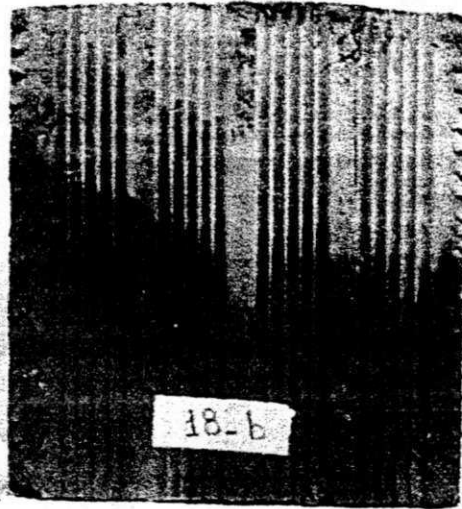
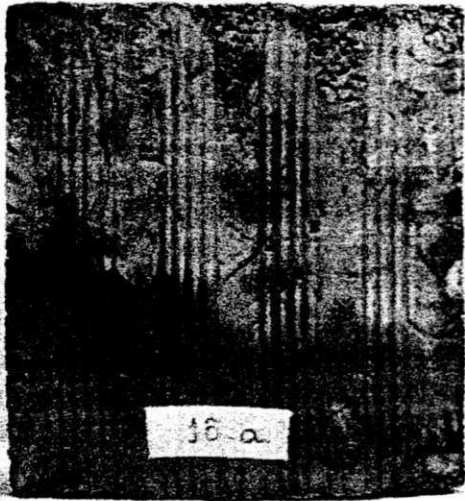


Figura 18 - Amostra de Tijolos da Cerâmica ZÉ PASCOAL - Juazeirinho - PB, após Ensaio de Eflorescência segundo ASTM C - 67(1992).

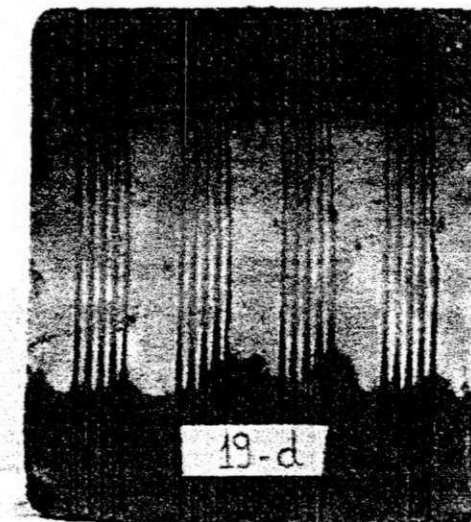
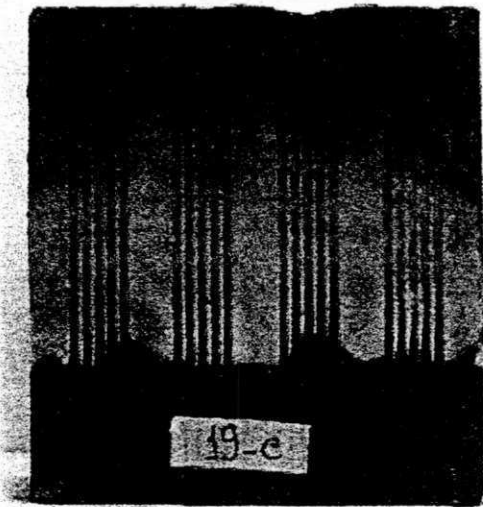
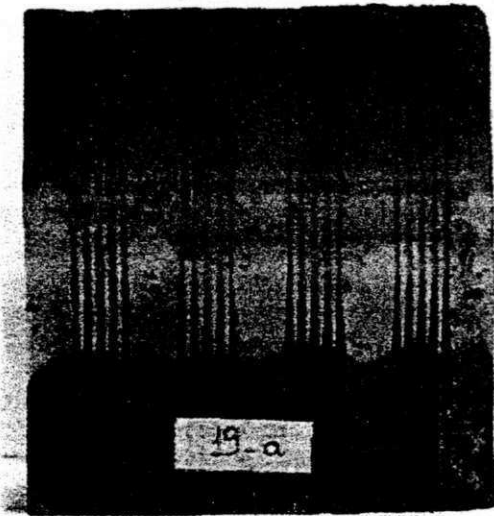


Figura 19 - Amostra de Tijolos da Cerâmica BOA VISTA - Juazeirinho - PB, após Ensaio de Eflorescência segundo ASTM C - 67(1992).

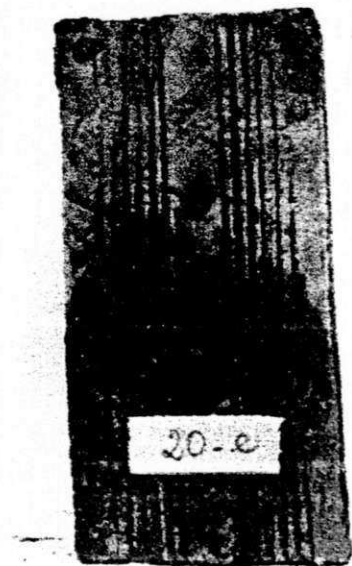
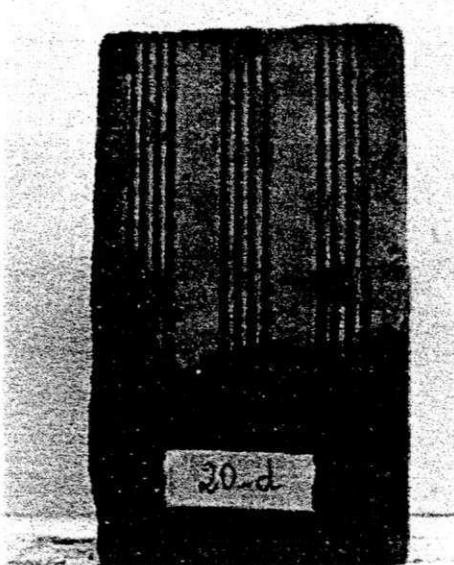
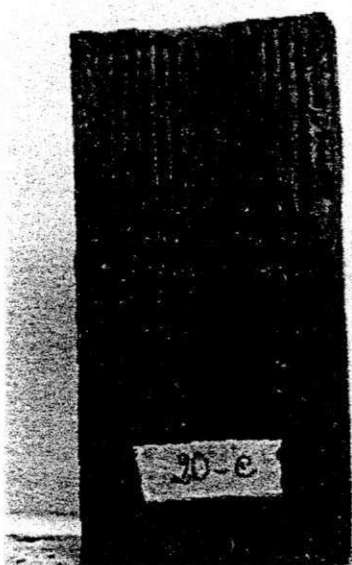
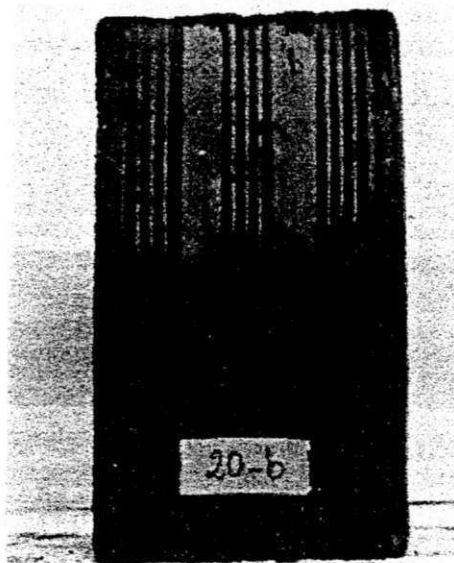
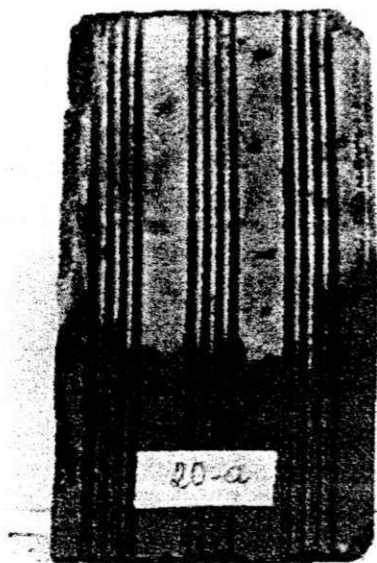


Figura 20 - Amostra de Tijolos da Cerâmica TORRES - Juazeirinho - PB, após Ensaio de Eflorescência segundo ASTM C - 67(1992).

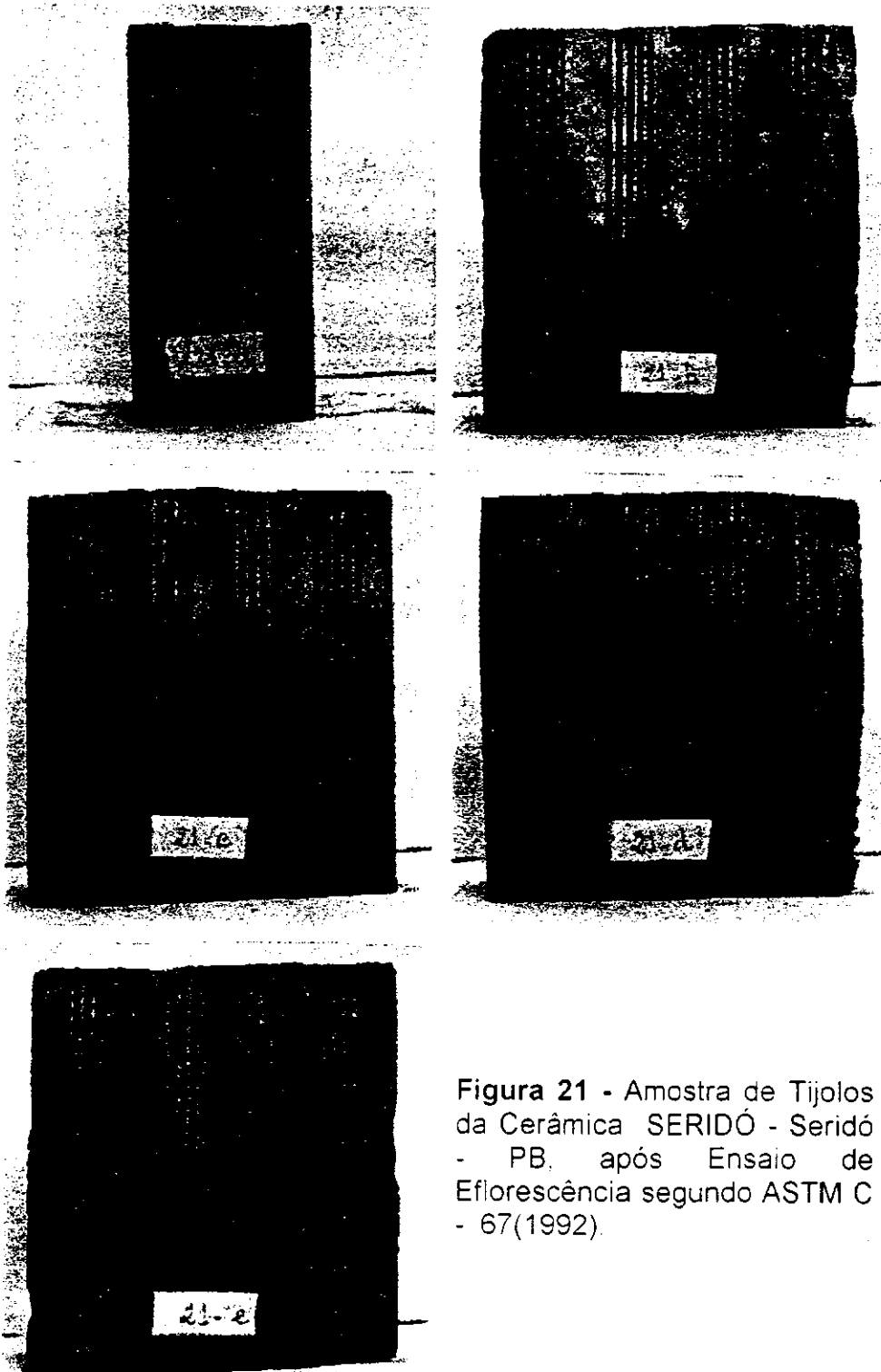


Figura 21 - Amostra de Tijolos da Cerâmica SERIDÓ - Seridó - PB, após Ensaio de Eflorescência segundo ASTM C - 67(1992).

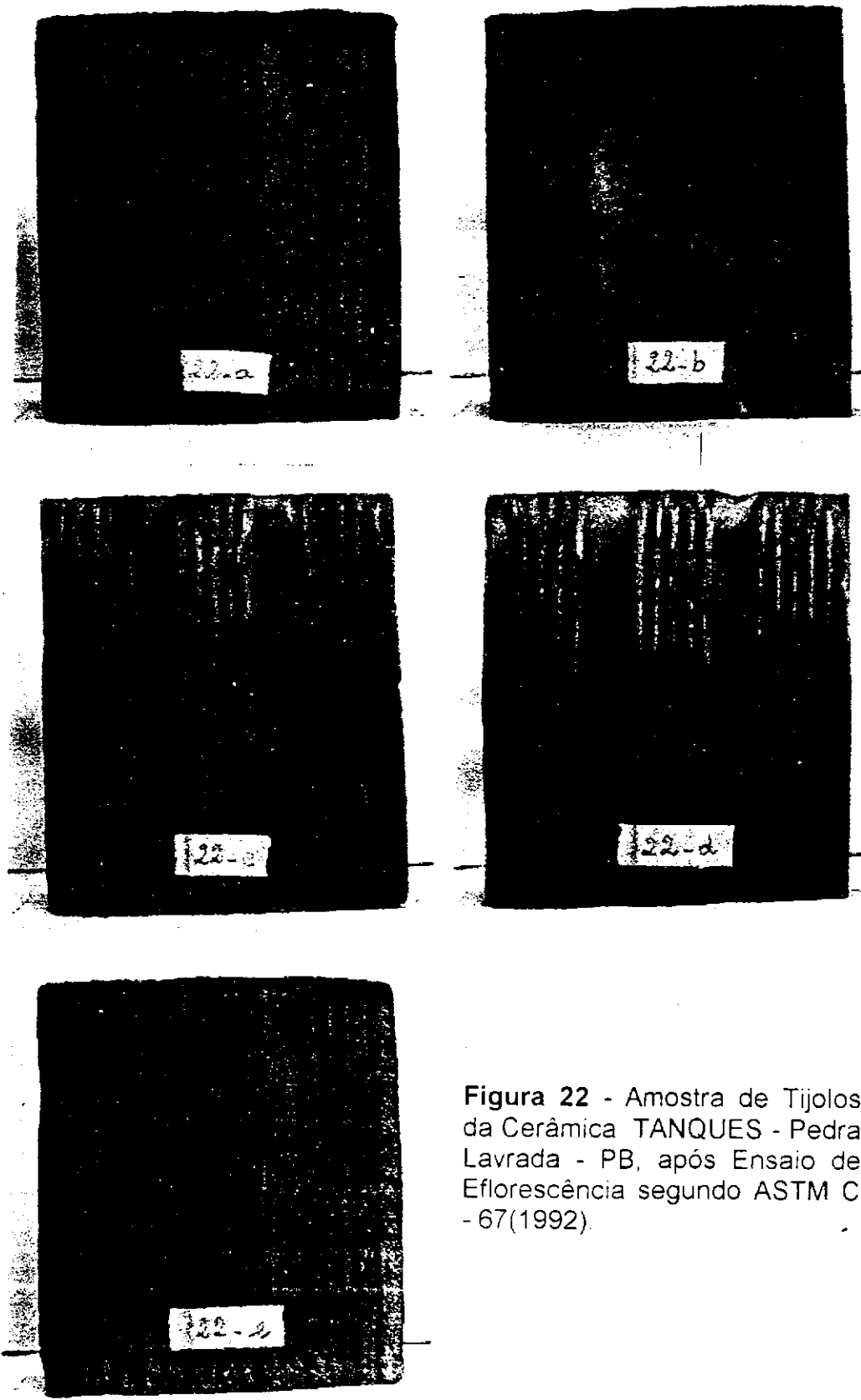


Figura 22 - Amostra de Tijolos da Cerâmica TANQUES - Pedra Lavrada - PB, após Ensaio de Eflorescência segundo ASTM C - 67(1992).

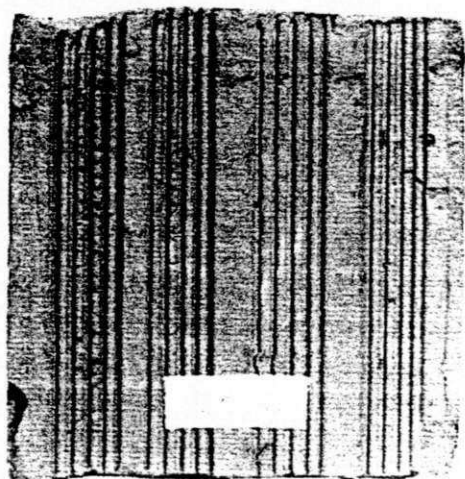
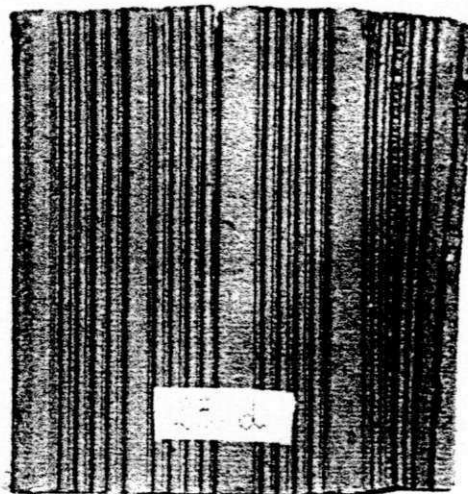
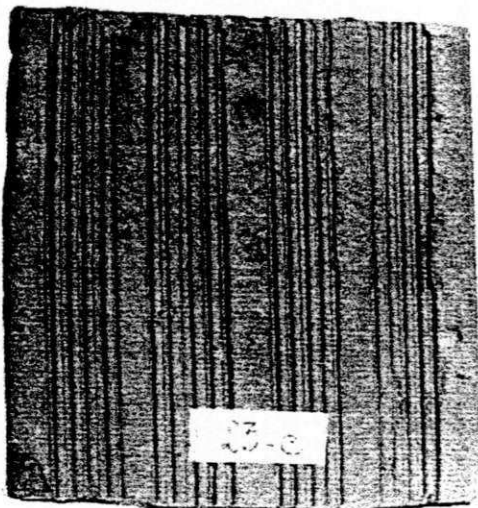
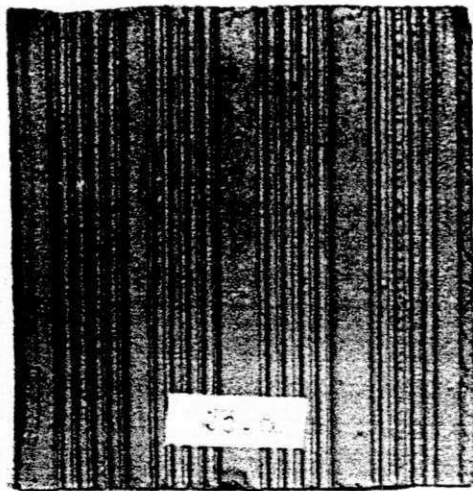


Figura 23 - Amostra de Tijolos da Cerâmica PALMEIRENSE - Nova Palmeira - PB, após Ensaio de Eflorescência segundo ASTM C - 67(1992).

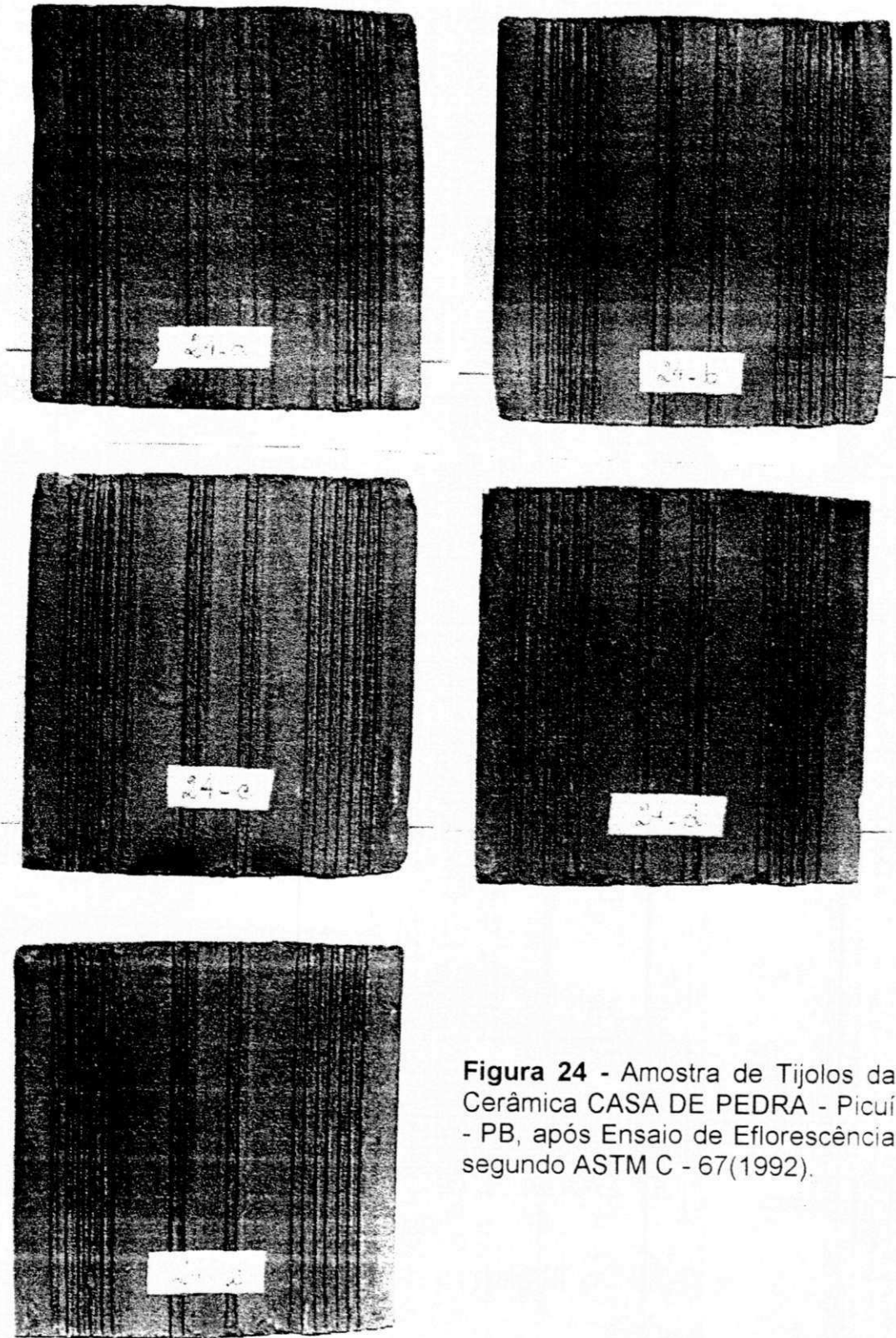


Figura 24 - Amostra de Tijolos da Cerâmica CASA DE PEDRA - Picuí - PB, após Ensaio de Eflorescência segundo ASTM C - 67(1992).

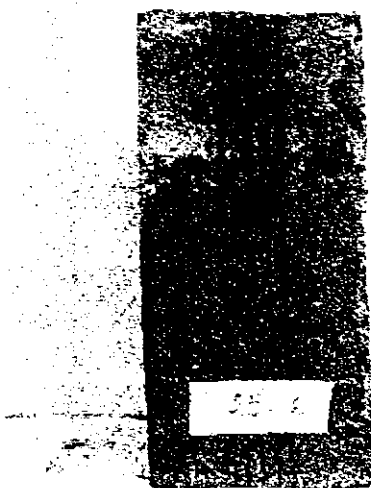
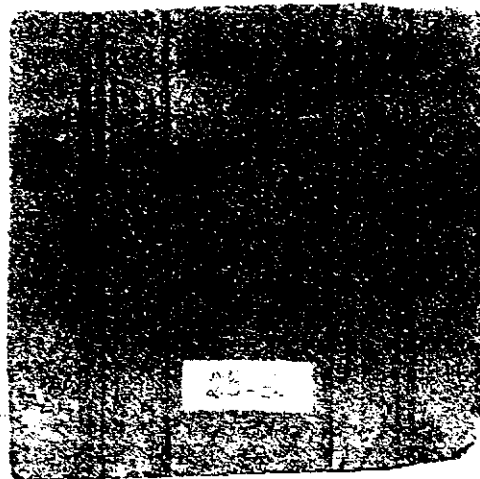
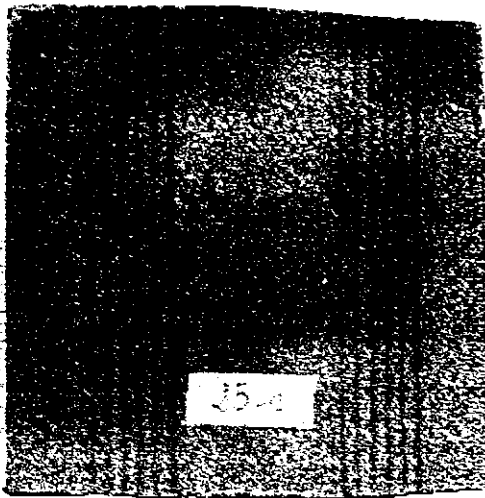
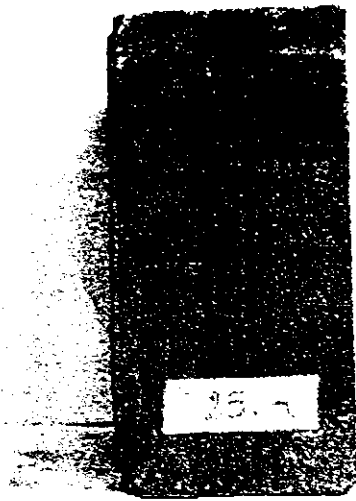


Figura 25 - Amostra de Tijolos da Cerâmica BARBADIN - Campina Grande - PB, após Ensaio de Eflorescência segundo ASTM C - 67(1992).

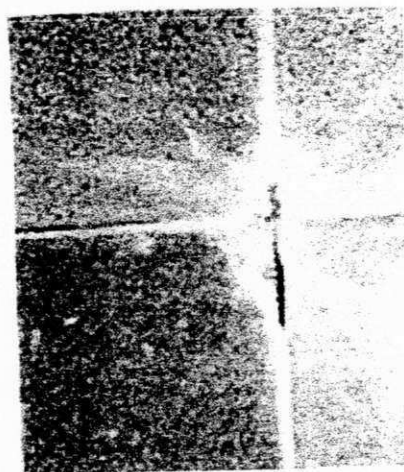


Figura 26 - Aspectos de Eflorescências em Piso Cerâmico em Casa Residencial na Cidade de Campina Grande - PB.