

Formação de Eflorescências na Superfície dos Tijolos

A. Garcia Verduch e V. Sanz Solana

Instituto de Tecnologia Cerámica

Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas,

Universidade Jaume I, Castellón, Espanha

Resumo: O presente trabalho é um resumo do livro dos mesmos autores: Véus, Eflorescências e Manchas nas obras de tijolo, do ITC, Editado pela Faenza Editrice Ibérica SL, Polígono Industrial Ronda Sur, Nave 39, 12006- Castellón, Espanha. Nele se procura responder perguntas como: a) De que sais são feitas as eflorescências; b) De onde vieram esses sais?; c) Como chegaram até a superfície?; d) Como se pode remediar o dano já causado? e e) Como se pode prevenir o aparecimento da eflorescência?

Palavras-chaves: *eflorescência, sais solúveis, defeitos*

Definições

Chamamos eflorescências aos depósitos salinos que se formam nas argilas e nos tijolos crus. Estas eflorescências se formam em cru pela intervenção da água como agente mobilizador dos sais, e podem se consolidar e se tornar permanentes por cocção a temperatura elevada. As eflorescências são defeitos dos tijolos que se originam durante sua fabricação, e que permanecem depois praticamente inalterados, durante toda sua vida. As eflorescências são portanto, anomalias permanentes da constituição superficial dos tijolos. Podemos diferenciar dois tipos de eflorescências:

a. Eflorescências de secagem

As eflorescências se formam por secagem ao ar livre nas argilas sem moldar. Chamam-se “véus de secagem”. Um exemplo é a película salina que se forma sobre as partes protuberantes de um torrão de argila que seca espontaneamente no campo. Neste caso a secagem se produz pela ação do ar limpo, natural, sobre argilas sem forma específica, não tratadas mecanicamente, que ainda conservam sua textura natural.

b. Eflorescências de secador

Contrariamente ao caso anterior, nas eflorescências de secador a secagem se produz pela ação do ar industrial – possivelmente contaminado - sobre argilas que foram tratadas mecanicamente. Nelas ficaram impressas as características geométricas e texturais impostas pelas máquinas.

c. Eflorescências de forno

As eflorescências de secador, formadas na superfície dos tijolos crus, se consolidam no forno pela ação de diversas reações, se transformam no que denominamos eflorescências de forno. Por tanto as eflorescências de forno são eflorescências de secador consolidadas, tornadas permanentes pela queima no ambiente e nas condições térmicas específicas de um forno determinado. Uma mesma eflorescência de secador pode dar origem a diferentes eflorescências de forno, quando para sua transformação e consolidação se usam atmosferas e ciclos térmicos também distintos.

Eflorescências de Secador

Sais que intervêm na formação das eflorescências de secador

Os sulfatos de cálcio e de magnésio são as impurezas das argilas que com mais frequência formam sais de secador. São indesejáveis pela facilidade com que se transformam em eflorescências permanentes de forno.

A água que possuem os tijolos em estado plástico, ao evaporar, transporta até a superfície uma parte dos sais solúveis que a argila contém. Os sais mais solúveis são carregados com maior facilidade. Assim, por ex, o sulfato de magnésio heptahidratado ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) cuja solubilidade é de 71 g/100 ml de água fria, produz eflorescências de secador com mais facilidade que o sulfato de cálcio dihidratado ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) cuja solubilidade é de apenas 0,241 g/100 ml de água fria.

Embora em maior ou menor grau todos os sais solúveis que existem na argila são mobilizados na direção da superfície, os sais alcalino terrosos são os mais indesejáveis porque tem pontos de fusão mais elevados. Eles originam, pela reação com os componentes a argila, produtos não fusíveis na temperatura de queima dos tijolos. Estes produtos constituem eflorescências permanentes de forno, perfeitamente visíveis.

Os sais alcalinos por ser bastante solúveis são muito mobilizáveis pela água. Durante a queima fundem com facilidade e não acusam problemas de eflorescências de forno, embora a camada vítrea formada possa modificar ligeiramente o brilho, a cor ou a textura superficial.

Brownell¹ adicionou diversos sais a um grupo de argilas que, espontaneamente, não apresentavam tendência para formação de eflorescências. Na tabela 1 temos os resultados obtidos, junto com as respectivas solubilidades em água fria e os pontos de fusão dos sais ensaiados. Podemos observar que a solubilidade e o ponto de fusão dos sais são de grande importância como fatores determinantes para a formação de eflorescências. A solubilidade é importante porque governa a dinâmica do transporte salino. A fusibilidade é importante porque determina as reações superficiais e o aspecto final da superfície.

Origem das eflorescências de sulfatos alcalino terrosos

Os sulfatos alcalino terrosos que constituem as eflorescências habituais de secador, já existem na massa argilosa ou se formam no secador pela reação com gases sulfurosos.

A.N. Williams e R.N. Ford² realizaram estudos de laboratório sobre argilas utilizadas para fabricar de tijolos. Um dos objetivos do estudo foi averiguar a influência de pequenas concentrações de SO₂ na atmosfera de secagem (de 5 a 20 ppm) sobre a formação da eflorescência.

Os corpos de prova, de 75 x 38 x 25 mm, foram formados por prensagem no estado plástico e após a formação foram recobertos com parafina para impedir a secagem. Logo antes de começar o ensaio de secagem controlada, se eliminou a camada de parafina da cara de 75 x 25 mm, com a finalidade de limitar a evaporação somente a essa face. A secagem se realizou fazendo passar uma fraca correnteza de ar ambiental isento de SO₂, ou com uma correnteza de ar que continha 5 ppm ou 20 ppm de SO₂. No caso do ar sulfuroso, foi mantida a correnteza durante 24 horas – com uma velocidade aproximada de secagem de = 0,2%/h – e depois se completou a secagem em atmosfera limpa.

A formação das eflorescências de forno a partir das de secador se realizou pela queima dos corpos de prova a 1000 °C durante 2 horas, após retirada da parafina que cobria as faces restantes.

Na tabela 2 se apresentam os resultados obtidos nesta experiência. Torna-se evidente que a presença de apenas 5 ppm de SO₂ na atmosfera de secagem produz um acentuado aumento da quantidade de eflorescência formada. O aumento adicional até 20 ppm produz mudanças menos relevantes.

Corresponde assinalar que as argilas B e C, com maior conteúdo de calcários, são as mais sensíveis à presença de gases sulfurosos na atmosfera de secagem. Não formam eflorescências quando secas com ar limpo. Formam eflo-

Tabela 1. Ação de diversos sais misturados com argilas que não possuem tendência a formar eflorescências.

Sal	Solubilidade G/100 ml água fria	Temperatura de fusão (f) ou de decomposição (d) / °C	Formação de Eflorescências
MgCO ₃	0.0106	350 (d)	Não
CaCO ₃	0.0014	825 (d)	Não
BaCO ₃	0.0022	1450 (d)	Não
Na ₂ CO ₃	7.1	851 (f)	Não
MgCl ₂	35.3	147 (f)	Não
CaCl ₂	59.5	772 (f)	Não
SrCl ₂	43.5	873 (f)	Não
BaCl ₂	31	962 (f)	Abundante
ZnCl ₂	432	262 (f)	Não
MgSO ₄ . 7 H ₂ O	71	1185 (f)	Abundante
CaSO ₄ . 2 H ₂ O	0.241	1450 (f)	Rápida
SrSO ₄	0.0113	1580 (d)	Não
BaSO ₄	0.00023	1580 (f)	Não
ZnSO ₄	86.5	740 (d)	Sim
CdSO ₄	75.5	1000 (f)	Sim
Na ₂ SO ₄	4.76	884 (f)	Não
Cd(NO ₃) ₂ . 4 H ₂ O	109.7	100 (f)	Não

* Segundo Brownell¹, dados de solubilidade e ponto de fusão extraídos do "Handbook of Chemistry and Physics". Chemical Rubber Publishing Co.

rescências intensas quando se secam com ar contendo 5 ppm de SO₂.

Quando se seca uma massa argilosa plástica, que contém carbonatos de cálcio ou magnésio, numa atmosfera que contém gases sulfurosos, formam-se sulfatos de cálcio ou de magnésio, capazes de migrar até a superfície e ali formar eflorescências de secador.

Para que se formem eflorescências de secador por este mecanismo devem coincidir 3 circunstâncias:

a. deverão existir gases sulfurosos na atmosfera do secador. A presença de algumas partes por milhão é suficiente para que o efeito seja ostensivo.

b. a argila deverá conter carbonatos alcalino terrosos, tais como calcita, magnesita ou dolomita.

c. O teor de água da argila deverá ser superior ao do ponto crítico, isto é, a massa deverá estar ainda no estado em que a perda de água se desenvolve em regime linear.

A reação dos carbonatos alcalino terrosos com os gases sulfurosos acontece facilmente, incluso em presença de umidades inferiores à crítica. Por este motivo, sempre que aconteçam reações desta natureza, aparecerão as eflorescências de sulfatos do secador, embora sutis. Contudo, caso as reações de sulfatação ocorram quando os tijolos úmidos ainda contenham água livre, se manifestará uma maior concentração de sais na superfície, já que às camadas formadas in loco se acrescentarão àquelas que chegam por migração desde o interior.

Quando a argila contém carbonatos alcalino terrosos, os tijolos devem ser secos completamente em atmosfera limpa. Por outro lado, caso isto não seja possível, deveriam secar em atmosfera limpa, pelo menos até que percam toda sua água livre.

Tabela 2. Efeito do conteúdo de SO₂ da atmosfera de secagem sobre a intensidade das eflorescências.

argila	Água de amassamento	Intensidade das eflorescências		
A	17.2	0	2	2
B	21.8	0	3	3
C	20.6	0	4	4
D	8.1	2	4	4

Estimativa da intensidade da eflorescência:

0 - ausente; 1 - muito leve; 2 - leve; 3 - moderada; 4 - intensa.

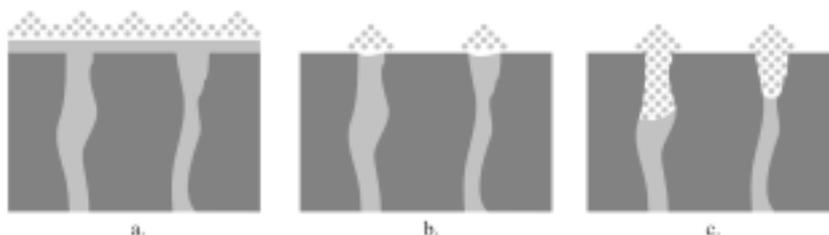


Figura 2. Evaporação de água de uma massa argilosa úmida. (a) evaporação de água na película líquida superficial. (b) evaporação na boca dos poros. (c) evaporação no interior dos poros e transporte de vapor de água até a superfície.

Quando não existe garantia de que a atmosfera do secador esteja isenta de gases sulfurosos, deveria ser dada aos tijolos uma secagem preliminar ao ar antes de introduzi-los no secador.

Para fabricar tijolos limpos é muito importante dispor de uma atmosfera limpa no secador. As medidas corretivas a tomar dependem logicamente, de qual seja a origem dos sulfatos que formam as eflorescências.

Dinâmica dos Sais

Influência da água de formação das peças cerâmicas

Para que os sais sejam transportados até a superfície das peças durante a secagem, é necessário que exista continuidade capilar. A massa plástica de argila passa por distintas configurações texturais durante a secagem (figura 1). A gradativa eliminação da água faz com que as partículas argilosas, primeiro separadas por grossas películas de água, fiquem depois mais próximas entre si, até o contato. Nessa etapa da secagem a massa argilosa se contrai proporcionalmente à quantidade d'água eliminada. Nessa fase a eliminação de um centímetro cubico de água corresponde a um centímetro cubico de retração. Por outro lado, a água que se elimina após o fim da retração, corresponde essencialmente ao esvaziamento da rede capilar. Durante esta fase a água já não se evapora na superfície da peça, sim no interior dos poros (figura 2).

Quando se atinge um determinado estado de secagem no qual esta continuidade se rompe, a água que resta se evapora no interior das peças. Não mais contribui para transportar sais até a superfície.

Assim portanto, a quantidade total d'água que contém uma massa argilosa plástica pode se dividir em duas frações. A primeira eficaz para transportar sais até a superfície, porque chega até ela em forma líquida. A segunda não transporta sais porque evapora no interior da peça e chega na superfície em forma de vapor.

Estudos realizados por Brownell¹ com sulfato de cálcio marcado com enxofre radioativo (S³⁵), para examinar como se acumulam os sais na superfície dos tijolos durante sua secagem, demonstraram que a quantidade de radiatividade na superfície vai aumentando a medida que o tijolo vai secando, até que, bruscamente, se estabiliza num determinado patamar. Isto indica que, na umidade para a qual se

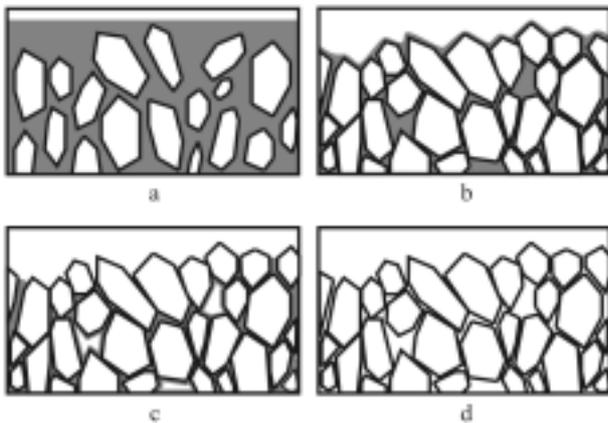


Figura 1. Visão esquemática de uma massa de argila - água em diferentes estágios da secagem.

produz a mencionada estabilização, cessa o aporte de água líquida na superfície dos tijolos (figuras 3a e 3b). A massa experimental se preparou por adição de 0,3 g de sulfato de cálcio radioativo sobre 500 g de uma argila que espontaneamente não produzia eflorescências de secador.

Para muitas argilas este limiar está situado entre 8% e 12% de umidade. Isto significa que se uma peça se modela com umidade inferior a esse limiar, por ex um 8%, não existirá a possibilidade de que se forme eflorescência de secador. As peças obtidas por extrusão de massa plástica contém sempre um teor de água superior a este limiar.

Quando se aumenta a água de amassamento, aumenta a fração de água capaz de transportar sais na superfície e, por tanto, aumenta a quantidade de sais transportados. A água de formação é um fator primordial na formação de eflorescências de secador, e por esse motivo deve ser a mínima necessária.

Influência da velocidade de secagem

A velocidade de secagem afeta a quantidade de eflorescências formadas e também sua distribuição sobre a superfície dos tijolos.

Ao realizar o experimento de secagem em duas velocidades diferentes, com sais marcados com isótopos radioativos, Brownell¹ observa que, para uma maior velocidade de secagem, menor resulta o nível de radiatividade que atinge finalmente a superfície. Isto evidentemente indica que a quantidade de sal transportado até a superfície do tijolo é tanto menor quanto maior a velocidade de secagem (figuras 3a e 3b).

Quando se submetem os tijolos a uma secagem rápida, numa temperatura mais elevada, a eflorescência aparece distribuída de modo mais homogêneo e até, em alguns casos, pode resultar menos visível. Pelo contrário, quando a secagem é lenta, os sais tendem a se concentrar nas proximidades dos vértices e das arestas, onde a velocidade de evaporação é maior e a eflorescências resultam mais visíveis.

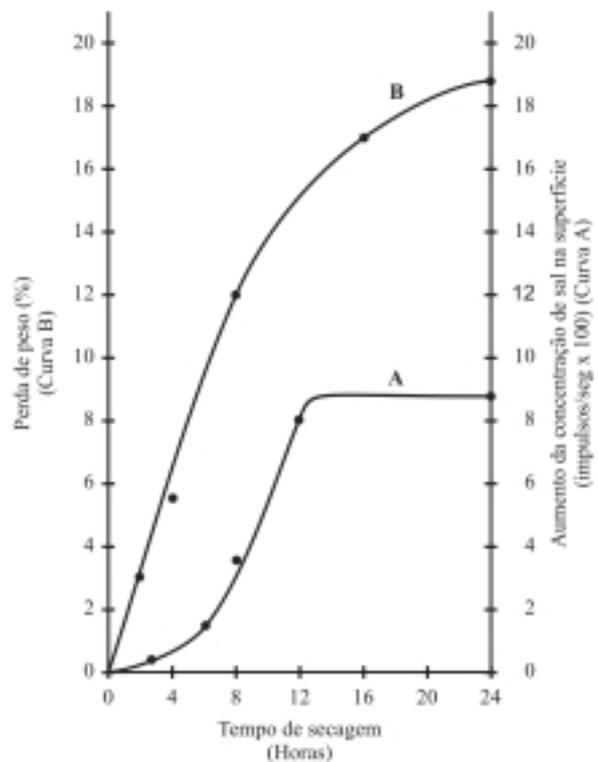


Figura 3a. Aumento da concentração de sal na superfície do corpo de prova durante uma secagem lenta.

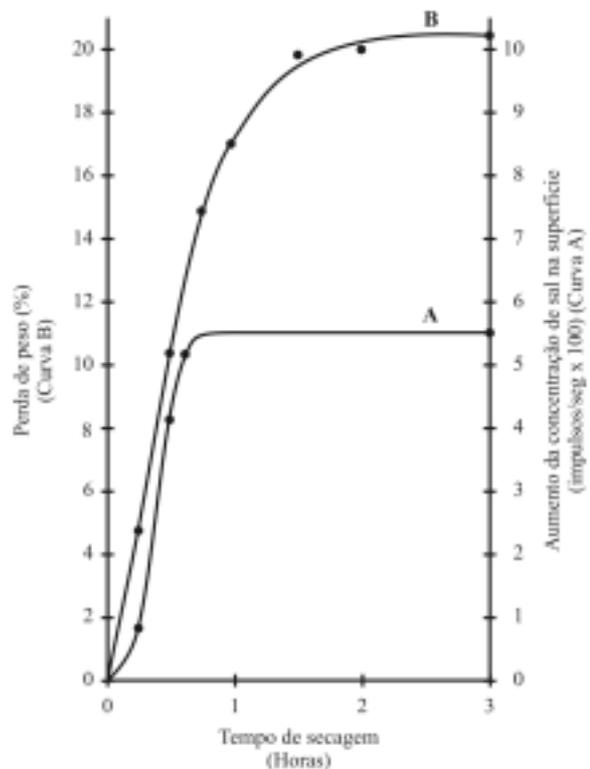


Figura 3b. Idem durante uma secagem rápida.

Influência do empilhamento das peças durante a secagem

A distribuição da eflorescência de secador na superfície dos tijolos depende das condições locais em que se produz a secagem. Estas condições afetam a velocidade de secagem em cada ponto da superfície do tijolo. São 5 condições:

- geometria das peças
- geometria do empilhamento das peças no secador
- geometria e intensidade dos fluxos de ar
- geometria e intensidade dos fluxos de calor
- condições higrométricas

Todos estes parâmetros condicionam um determinado mapa de velocidades locais de secagem, e pela sua vez, a distribuição dos sais na superfície dos tijolos.

Quando existem grandes diferenças na velocidade de evaporação, se produzem grandes heterogeneidades na distribuição superficial dos sais.

Dois tijolos úmidos, que secam apoiados um sobre o outro, apresentam ambos uma zona isenta de eflorescências de secador. A zona coincide com as superfícies de contato entre eles, nas quais a velocidade de evaporação praticamente é nula.

A fabricação de tijolos com argilas que apresentam grande tendência à formação de eflorescências de secador, ocasiona uma produção com grandes variações de aspecto superficial.

As piores condições ocorrem quando se utilizam argilas com grande tendência a formar eflorescências de secador – eflorescências capazes de consolidar-se na queima – e ao mesmo tempo, quando existem grandes diferenças de velocidade de secagem nas diferentes partes dos tijolos e dos empilhamentos.

Nas figuras 4, 5, e 6 se apresentam algumas ilustrações a respeito da geometria das peças, dos empilhamentos e dos fluxos de ar. Na figura 4 se mostram 4 peças cúbicas que possuem o mesmo lado, mas que se diferenciam entre si pelas diferentes modalidades de furo vazado.

A igualdade de condições, as peças cerâmicas úmidas produzem eflorescências de secagem mais intensas quanto maior é a relação de volume real de sólido para superfície total exposta à secagem. Assim, acontece que as peças maciças e muito encorpadas tendem a produzir eflorescências mais intensas que as peças ocas. Nesta últimas, os sais

disponíveis na peça são transportados durante a secagem até superfícies mais extensas, e ali portanto são distribuídas formando películas mais finas.

Para ilustrar numericamente este conceito, podemos fazer uns cálculos simples com as peças da figura 4, admitindo que possuem todas elas 10 cm de lado e que as outras dimensões são: peça b – furo cilíndrico de 3 cm de raio. Peça c – parede de 1,5 cm de espessura. Peça d – parede externa de 1,5 cm de espessura e tabiques internos de 1 cm de espessura.

Considerando que a face inferior de apoio das peças não permite a secagem, a superfície útil para secagem é a superfície total das peças menos a face de apoio. Realizando os cálculos deste modo, a relação volume real do sólido / superfície útil para evaporação (V/S) é mostrada na tabela 3.

Na figura 5 podemos ver exemplos de empilhamento das peças e o seu efeito sobre a superfície exposta para secar.

A peça que se representa em (a) é um cubo apoiado sobre pequenas pirâmides. Devido a este apoio pontual, as seis faces do cubo estão expostas para secar.

No empilhamento representado em (b) coexistem cubos com diferentes áreas expostas ao ambiente. O cubo E tem cinco faces expostas, os cubos A, B, D e F tem quatro, e o cubo C tem somente duas. Em todos os casos são faces inteiras as que estão expostas ou protegidas.

No empilhamento representado em (c), os cubos A tem cinco faces expostas e a sexta face tem áreas expostas e áreas protegidas. Os cubos B tem uma face totalmente

Tabela 3. Relação de volume/superfície das peças submetidas a secagem (figura 4).

Peças	A ¹	B ²	C ³	D ⁴
Volume real do sólido/cm ³	1000	717.26	510	640
Superfície exposta à evaporação/cm ²	500	660.23	731	944
Relação volume/superfície exposta	2.00	1.09	0.70	0.68

- lado do cubo: 10 cm.
- lado do cubo: 10 cm. Raio do furo: 3 cm.
- lado do cubo: 10 cm. Espessura de parede: 1,5 cm.
- lado do cubo: 10 cm. Espessura da parede externa: 1,5 cm. Espessura dos tabiques internos: 1 cm.

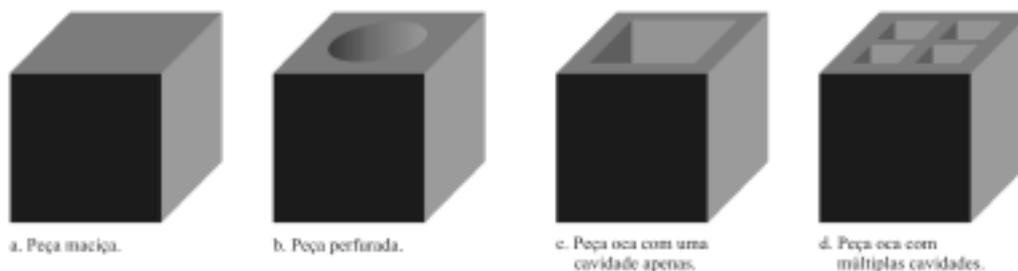


Figura 4. Influência da geometria as peças nas eflorescências de secador.

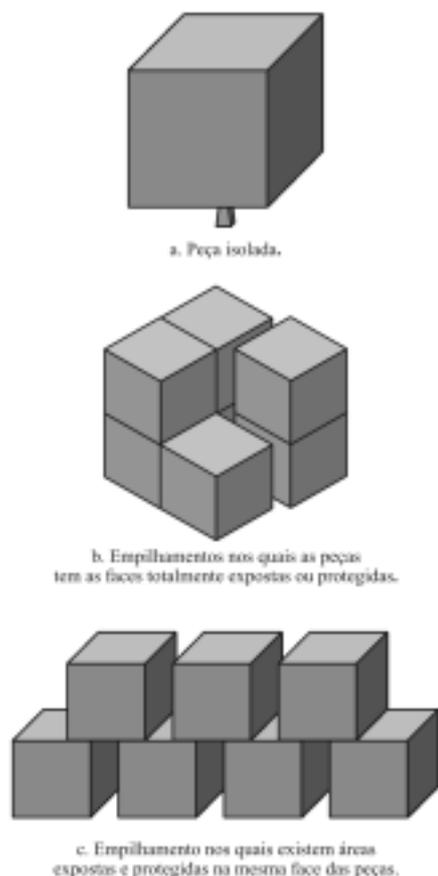


Figura 5. Influência da geometria do empilhamento das peças sobre as eflorescências de secador.

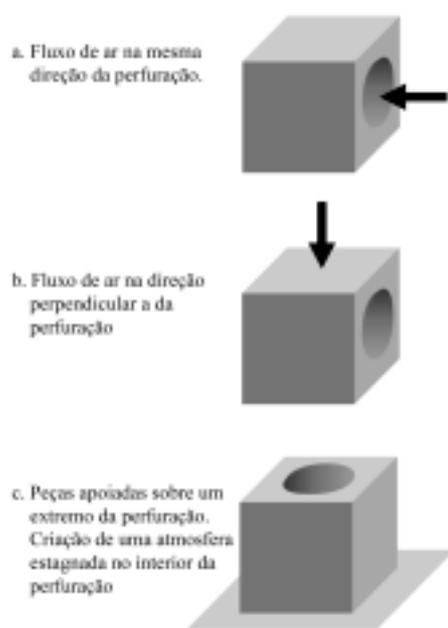


Figura 6. Influência da geometria dos fluxos de ar sobre as eflorescências de secador.

protegida, quatro expostas e a sexta tem áreas expostas e áreas protegidas.

Caso a argila que constitui estas peças apresentar tendência a dar eflorescências, as peças B terão quatro faces com eflorescências mais ou menos intensas, uma isenta delas, que é a face de apoio, e a sexta face terá uma faixa central com eflorescências e duas faixas laterais isentas de eflorescências, devido a proteção que emprestam os cubos A apoiados sobre a face superior dos cubos B.

Na figura 6 se ilustram os casos da diferente direção dos fluxos de ar que incidem sobre as peças que em processo de secar. Como exemplo consideramos uma peça com furos.

No caso (a), o ar circula na direção paralela ao eixo do furo, com isso o fluxo principal de ar penetra diretamente através do furo e faz com que a evaporação seja muito intensa na superfície cilíndrica. Esta intensa evaporação tem como consequência que se torne mais grossa a eflorescência no interior do furo e que, ao mesmo tempo, seja mais fina a eflorescência nas faces externas planas.

No caso (b) o ar flui em direção perpendicular ao eixo do furo. Nestas circunstâncias a evaporação mais intensa se produz na face do cubo sobre a qual incide a correnteza de ar. Através do furo circulam apenas correntezas fracas, que produzem evaporação escassa, com pouca formação de eflorescência.

Em geral as superfícies das peças sobre as quais incide a correnteza de ar, sofrem uma evaporação mais intensa e, por tanto, um acúmulo maior de eflorescência. Esta incidência direta das correntezas de ar tem outras consequências indesejáveis para a qualidade das peças, como são o encurvamento ou a formação de trincas.

No caso (c) mostramos a mesma peça cúbica vazada. Desta vez, apoiada sobre uma face, de modo que o furo fica fechado por um dos seus extremos.

Nesta posição o ar tem entrada e saída pela *mesma* boca do furo, com isto a circulação de ar resulta limitada e se produz uma atmosfera estagnada.

Nestas circunstâncias, a evaporação no interior da cavidade é muito lenta, a formação de eflorescência nas suas paredes está muito impedida.

As grandes diferenças de velocidade de evaporação existem nas distintas áreas expostas a secar, por causa da direção e intensidade dos fluxos de ar. Essas diferenças tiram algum significado ao conceito geral de superfície exposta a secar. É evidente que as 3 superfícies cilíndricas nos casos (a) (b), (c) da figura 6, embora geometricamente idênticas, e as três são superfícies de secagem, contribuem contudo com eficiência muito diferente à secagem das peças, recobrem as peças com véus de espessura muito diferente.

Desvio das eflorescências de secador para as faces não vistas

Em alguns casos se aplica um recobrimento orgânico (tal como uma cola, amido, gelatina, dextrina, etc) sobre as

faces dos tijolos que estão destinadas a serem faces vistas. A aplicação deste recobrimento é feita sobre os tijolos úmidos recém formados. O mais comum é se fazer uma aplicação contínua da substância orgânica sobre a coluna de massa que sai da maromba.

As camadas do gel orgânico exercem duas ações importantes:

a) elas próprias se secam com dificuldade, e quando estão sobre o tijolo úmido, impedem ou freiam a secagem deste.

b) as camadas de gel sofrem uma forte retração quando secam. Essa retração causa gretas que, em muitos casos, acarretam a formação de crostas mais ou menos aderentes ao substrato.

Estas duas ações tem o seguinte interesse prático:

1. Caso seja limitada fortemente a velocidade de secagem de uma determinada face de um tijolo úmido, pela aplicação de uma camada protetora, a água logicamente tenderá a migrar com maior velocidade na direção de outras superfícies expostas à atmosfera, nas quais a evaporação será mais fácil. Deste modo, o fluxo aquoso, portador dos sais dissolvidos, se dirigirá preferencialmente na direção das superfícies não protegidas pelo recobrimento de gel (figura 7a).

O resultado final será que, ao completar-se a secagem, as faces que ficaram protegidas apresentarão muito menos eflorescências de secador do que as restantes.

Este tratamento não é eficaz para suprimir eflorescências de secador, mas é sim para deslocar as eflorescências na direção de zonas do tijolo nas quais incomodam menos.

2. Durante a secagem se produz um fluxo de água desde o tijolo úmido na direção da camada de gel, em cuja superfície externa se evapora. Este fluxo continuará en-

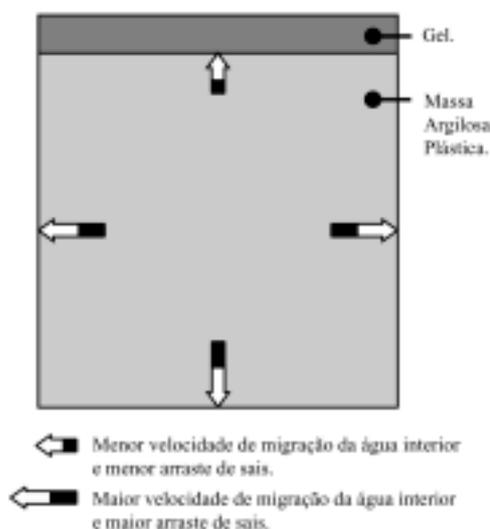


Figura 7a. Limitação da velocidade de secagem sobre uma determinada face do tijolo.

quanto existir continuidade líquida entre tijolo e camada de gel. Por meio deste mecanismo se transportam sais solúveis desde o tijolo até a superfície externa da camada de gel, onde finalmente cristalizam (figura 7b).

Caso o gel ao secar venha a tomar a forma de crostas pouco aderentes, acabará se despreendendo do tijolo. Ao cair arrastará consigo os sais que poderiam ter cristalizado sobre a sua superfície (figura 7c).

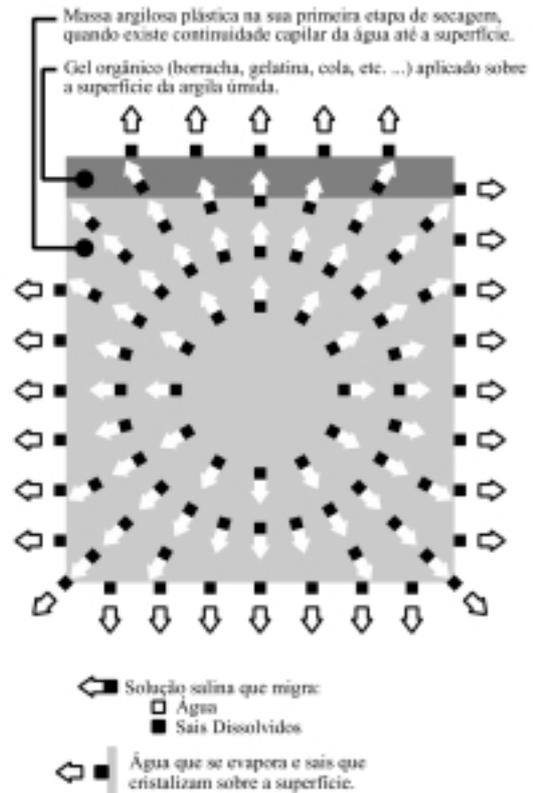


Figura 7b. Transporte de sais solúveis desde o interior do tijolo até as faces descobertas e até a superfície da capa de gel.

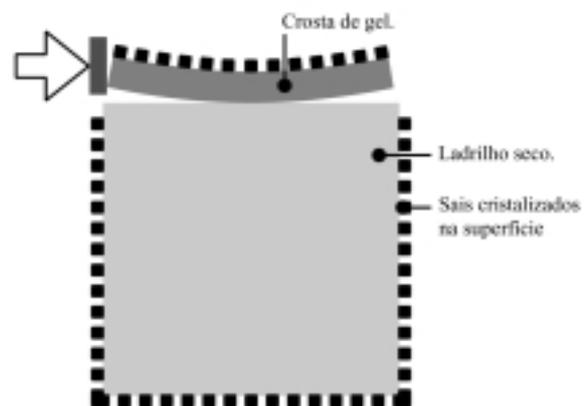


Figura 7c. Formação de crostas de gel seco, que se despreendem arrastando os sais cristalizados na sua superfície.

Quando, pelo contrário, as crostas orgânicas portadoras de sais solúveis, ficam aderentes ao tijolo, ao chegar ao forno se produzirá sua combustão, e sua estrutura desaba. Isto oferecerá uma nova oportunidade para que os sais finalmente pulverizados se desprendam do tijolo e caiam ou sejam arrastados pelos gases.

Eflorescências de Forno

Sais que intervêm na formação das eflorescências de forno

O mecanismo mais freqüente de formação da eflorescência de forno é a reação entre as substâncias que compõem a eflorescência de secador e a argila subjacente.

A análise direta das eflorescências de forno é difícil porque são muito finas, insolúveis, muito aderentes e, as vezes, de composição muito complexa.

Brownell (1) utilizou um método roentgenográfico (raio X) simples e muito demonstrativo. O método consiste em cortar com um disco de diamante uma pequena lâmina superficial do tijolo, com uma espessura aproximada de 1,5 mm. Uma face da laminazinha contém o véu de forno, a outra expõe a matéria interna do tijolo cozido.

Este corpo de prova para raio X se monta na platina da unidade de difração, de modo que o feixe de raios-X incida sobre a superfície que contém a eflorescência de forno, e se obtém o diagrama de difração correspondente a essa face. A seguir se inverte a posição do corpo de prova e se faz incidir o feixe de raios-X sobre a face oposta, que não contém eflorescência, e se registra o correspondente diagrama de difração.

A identificação das substâncias que constituem a eflorescência de forno se realiza pela comparação de ambos os diagramas, identificando as linhas de difração da face que contém a eflorescência que não aparecem no diagrama da face oposta.

Quando o sal solúvel mobilizado é o sulfato de cálcio (o que é muito freqüente) costuma se formar anortita ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) ou soluções sólidas de anortita com outros compostos. Houve um caso concreto em que se achou labradorita, que é uma solução sólida de albita ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) em anortita. Em determinadas condições de queima, e quando existe abundância de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, pode se formar anidrita (CaSO_4).

As eflorescências de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ em reação com os componentes da argila, costumam dar cordierita ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$) forsterita ($2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$) ou enstatita ($\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$).

Os sais solúveis alcalinos, tais como o sulfato de sódio, fundem a baixas temperaturas, reagem facilmente com a argila e com o quartzo. Por este motivo não costumam deixar camadas visíveis de produtos de alto ponto de fusão, como fazem os compostos de cálcio e magnésio.

O cloreto de bário (BaCl_2) se usa as vezes como corretivo de eflorescências, pela sua capacidade de precipitar os sulfatos em forma de sulfato de bário insolúvel. Quando se usa cloreto de bário em excesso, o próprio excesso deste sal é capaz de causar uma eflorescência intensa de secador, que depois da queima se transforma em eflorescência muito visível e estável. Esta eflorescência está constituída freqüentemente por ortossilicato de bário ($2\text{BaO} \cdot \text{SiO}_2$).

As eflorescências de forno não devem ser confundidas com as películas esbranquiçadas de cinzas – mais ou menos aderentes ou fundidas – que podem depositar-se sobre os tijolos no forno.

Influência da atmosfera redutora sobre a formação de eflorescência

A aplicação de um ciclo redutor de queima a temperatura alta costuma causar uma diminuição da quantidade de eflorescência de forno, visível nos tijolos.

Não se conhecem com detalhe as complexas reações que produzem este efeito. Parece razoável a intervenção do íon ferroso em reações com os silicatos ou sílico-aluminatos, e com os óxidos alcalino terrosos, para dar compostos coloridos. Estes compostos tem cores mais parecidas às cores do tijolo. Por isso a camada dos novos compostos que se formam se percebe menos.

Os tijolos vermelhos que formam véu branco em queima oxidante, em queima redutora a alta temperatura e esfriamento oxidante, formam menos véu branco, a sua cor vermelha melhora notavelmente.

Na prática, não se deve fazer um uso indiscriminado deste procedimento para diminuir a eflorescência de forno, porque as condições redutoras da queima podem aumentar a tendência dos tijolos a eflorescer, o qual pode ser mais grave.

Empilhamento das peças durante a queima

Na formação de eflorescências de secador é muito importante a geometria do empilhamento. Condiciona a velocidade de eliminação da água em cada lugar e, em consequência, a distribuição dos sais na superfície dos tijolos.

Pelo contrário, na formação das eflorescências de forno, o modo de empilhamento influi pouco, porque as matérias reagentes – eflorescências de secador e argila subjacente – estão já situados nos lugares onde deverão reagir. Não é necessário que a matéria seja transportada longe, como ocorria na formação das eflorescências de secador.

Aqui, o maneira de empilhar influi unicamente no sentido de modificar o grau de exposição dos tijolos às condições ambientais do forno. As variações locais de temperatura e de composição da atmosfera, influem sobre o desenvolvimento das reações de consolidação das eflorescências dos tijolos. O aporte de energia radiante nas

zonas vistas dos tijolos age elevando a temperatura e acelerando as reações.

Cor das eflorescências de forno

As eflorescências de forno são muito mais visíveis que as de secador. O mais freqüente é que as de forno sejam esbranquiçadas, embora em alguns casos são amareladas ou rosáceas.

As eflorescências esbranquiçadas, muito delgadas, que se formam sobre tijolos vermelhos, podem parecer rosáceas por transparência.

As eflorescências de forno são foscas, de aspecto seco, estão formadas por compostos que mantêm sua cristalinidade a temperaturas superiores às de queima dos tijolos.

Nos outros casos, quando abundam os óxidos alcalinos, formam-se na superfície dos tijolos substâncias fundidas, muito pouco visíveis, que as vezes, fazem mudar ligeiramente o seu brilho ou tonalidade.

Quando na queima dos tijolos vermelhos existe algum período de redução a alta temperatura, se produzem compostos ferrosos coloridos, os quais se oxidam posteriormente, dando lugar a eflorescências de forno cuja cor é pouco diferente do vermelho dos próprios tijolos.

Nos tijolos de cor creme também se formam eflorescências de forno. Porém, por ser estas esbranquiçadas na sua maioria, costumam ser menos percebidas.

As eflorescências de forno são defeitos essencialmente estéticos dos tijolos, que não afetam nem a qualidade das suas prestações nem a sua durabilidade.

Do ponto de vista estético, é importante a cor da eflorescência de forno, em contraste com a cor do próprio tijolo, e também a homogeneidade ou heterogeneidade da eflorescência.

As eflorescências homogêneas - pálidas e de aspecto seco – causam uma impressão desagradável. As eflorescências heterogêneas causam uma sensação de mancha de sujeira.

Referências Bibliográficas

1. Brownell, W.E., "Scum and its development on structural clay products". Research Report nº4. Chicago. Illinois: Structural Clay Products Research Foundation. July 1955.
2. Williams, A.N.; Ford, R.W., "Scum prevention by using additives. Laboratory tests". Trans. J. Brit. Ceram. Soc., 81, 88-90, 1982.