



# ANÁLISE DO PROCESSO DIFUSIVO EM COMPOSTOS CERÂMICOS COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS

## ANALYSIS OF THE DIFFUSIVE PROCESS IN CERAMIC COMPOUNDS WITH ADDED RESIDUE

R. G. FERREIRA<sup>1</sup>, I. B. C. AMARAL<sup>2</sup>, F. T. VIEIRA<sup>1</sup> and A. B. REIS<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Engenharia Química, Diamantina, MG, Brasil

<sup>2</sup> Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Ciência e Tecnologia, Diamantina, MG, Brasil

\*Autor correspondente. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Engenharia Química, Diamantina, MG, Brasil. Telefone: +55 38 999662212  
e-mail: [arlete.reis@ict.ufvjm.edu.br](mailto:arlete.reis@ict.ufvjm.edu.br) (A. B. Reis).

### ARTICLE INFO

Article history:  
Received 2017-11-07  
Accepted 2017-12-14  
Available online 2018-02-28

#### palavras-chave

Cerâmica vermelha  
Biopolímero  
Quitosana  
Lapidário  
Difusão

#### keywords

Red ceramic  
Biopolymer  
Chitosan  
Lapidary  
Diffusion

### ABSTRACT

*In search of an adequate destination of residues, the reuse is seen in the production of ceramic materials from the junction of residues and biopolymer compounds, which will confer better characteristics to the ceramic products. The residues of lapidary and the biopolymer chitosan have in their composition minerals that extend the possibility of application in the ceramic industry. In the present work, specimens were prepared with different proportions of lapidary powder and clay, the water for the preparation of the mass being replaced by chitosan solution 2% (w/w). After the processes of burns at 850, 950 and 1100°C, the specimens were submitted to analysis of Diffusivity according to Fick's law. It was concluded that the addition of lapidary powder decreased the diffusion rate and the mass gain in the samples, showing an increase in desirable characteristics for the products.*

### RESUMO

*Em busca de um destino adequado aos resíduos, vê-se na produção de materiais cerâmicos o reaproveitamento a partir da junção de resíduos e compostos biopoliméricos, que venham a conferir melhores características aos produtos cerâmicos. Os resíduos de lapidários e o biopolímero quitosana, têm em sua composição minerais que ampliam a possibilidade de aplicação na indústria cerâmica. No presente trabalho, foram confeccionados corpos de prova com diferentes proporções de pó de lapidário e argila, sendo a água para o preparo da massa, substituída por solução de quitosana 2% (em massa). Após os processos de queima nas temperaturas de 850, 950 e 1100°C, os corpos de prova foram submetidos a análise de Difusividade segundo a lei de Fick. Onde foi possível concluir que a adição de pó de lapidário diminuiu a taxa de difusão e o ganho de massa nas amostras, mostrando um incremento nas características desejáveis para os produtos.*

## 1. INTRODUCTION

A produção de materiais cerâmicos tem grande importância no Brasil, não só pela representatividade econômica e geração de empregos, mas também pela possibilidade de coprocessamento de rejeitos sólidos que, em virtude do elevado volume de produção, movimentando cerca de 170 milhões de toneladas de argila ao ano (ABDI, 2016), torna possível o uso de rejeitos minerais semelhantes à argila, como o pó de lapidário. Nessa senda, vários são os estudos que visam utilizar rejeitos para melhorar as propriedades tecnológicas da massa cerâmica, o que é definido pela Deliberação Normativa (DN) nº 83 de 2005 da Comissão de Política Ambiental de Minas Gerais – COPAM, regulamentando a utilização de resíduos sólidos para recuperação de energia e substituição de matérias-primas em alguns processos (COPAM, 2005).

Na indústria cerâmica, a chamada cerâmica estrutural ou vermelha representa cerca de 40% do valor movimentado no Brasil, e é utilizada na produção de tijolos, blocos de vedação e estruturais, lajes, telhas, manilhas e outros. A argila, é a principal matéria-prima da cerâmica vermelha, o que se deve às suas características de plasticidade para processamento da massa crua, aglutinação e resistência mecânica após a queima, além de possuir elevada disponibilidade na natureza (PINTO et al., 2010; BUSTAMANTE; BRESSIANI, 2000; ALVES; BALDO, 1997).

As argilas preferencialmente utilizadas devem ser ricas em compostos de silicatos, alumínio e ferro, importantes para conferir ao material cerâmico resistência mecânica, aparência vítrea e baixa porosidade. O biopolímero quitosana apresenta alto teor de silicatos e ferro em sua composição, justificando sua junção pelo incremento na concentração desses compostos, possível diminuição da porosidade e retração dos corpos de prova sinterizados. A quitosana é um polímero obtido a partir da desacetilação alcalina da quitina, proveniente da carapaça de crustáceos, normalmente obtidos a partir de rejeitos da indústria pesqueira. Devido à sua natureza policatiônica quando em meio ácido, sendo também um polieletrólito, pode ser aproveitada para a produção de novos materiais, uma vez que a solução de quitosana apresenta excelente barreira ao oxigênio, mas baixa barreira à umidade (alta permeabilidade ao vapor d'água), característica de filmes à base de polissacarídeos, em virtude de sua constituição por unidades glicosídicas, possuindo em média três grupos hidroxil, pode formar ligações de hidrogênio com as moléculas de água (WHISTLER; BEMILLER, 1999).

Desta maneira, no âmbito de interesse em se obter novos materiais mais resistentes e menos porosos, expõe-se neste trabalho os efeitos da inserção de solução ácida de quitosana em substituição à quantidade de água utilizada nos processos de fabricação de materiais cerâmicos e a utilização de resíduos de pó de lapidário da região do Teófilo Otoni-MG. Para tanto, toma-se que essa substituição ou adição de matéria-prima pode ser realizada desde que suas características sejam similares às dos componentes normalmente utilizados na produção de cerâmicas (AMORIM, 2007).

A difusão é o processo de controle da concentração no espaço e no tempo de moléculas e/ou células provenientes da mistura entre reagentes, garantindo o desenvolvimento de processos facilmente reproduzíveis. O processo de permeação aos gases e vapor d'água por meio de materiais diversos ocorre através dos espaços vazios relacionados à porosidade do

material, ou seja, nos materiais mais porosos a difusividade é mais expressiva, apontando a este fato. Considera-se que o processo acontece em diferentes etapas, primeiramente, a sorção e solubilização do permeante na superfície do material, seguindo de difusão do permeante através do material devido à ação de gradiente de concentração, e, por fim, a desorção e evaporação do permeante na outra face do material. No caso dos materiais cerâmicos, são estipulados limites máximos e/ou mínimos para a taxa de absorção de água e consequente porosidade do produto de acordo com o destino final e possíveis aplicações, há, portanto, de se atentar para o controle e consequente acompanhamento dos principais aspectos teóricos relacionados aos mecanismos e à cinética de difusão que ocorrem nos produtos.

Os materiais cerâmicos têm ampla utilização na construção civil e são fabricados a partir de matérias-primas classificadas em naturais e sintéticas. Utilizando-se de um processamento adequado, suas propriedades químicas e fases cristalinas podem ser alteradas. Dessa forma, é fundamental se observarem as seguintes etapas: exploração das jazidas, tratamento prévio das matérias-primas, homogeneização, secagem e queima. Na homogeneização, água é adicionada à argila para dar características de plasticidade e facilitar a moldagem das peças (SILVA et al., 2013). Logo, no intuito de seguir à caracterização de materiais cerâmicos de modo geral, o mais indicado é conhecer a origem de cada matéria-prima utilizada. Para tanto, uma vez que o principal objetivo do presente trabalho foi realizar a análise dos efeitos da adição de quitosana e pó de lapidário na porosidade de materiais cerâmicos, foram realizados ensaios de processo difusivo, conforme a lei de Fick, relacionando as condições iniciais e de contorno.

Assim, foram realizadas análises da composição das matérias-primas utilizadas para a confecção do material cerâmico em escala laboratorial, ou seja: da argila, do pó de lapidário e do biopolímero quitosana. A argila utilizada é composta, principalmente, por silicatos (39,4%), alumínio (39,0%) e ferro (16,6%). O pó de lapidário utilizado neste trabalho é proveniente de lapidários da cidade de Teófilo Otoni-MG, sendo composto por 59,2% de silicatos, 16,7% de compostos de alumínio, 14,5% de cálcio, 2,3% de ferro e 7,3% de outros compostos. A quitosana (Polymar, lote 067), por sua vez, tem em sua composição principal 50,3% de silicatos, 23,7% de ferro e 13,1% de cálcio. Desta forma, a composição das amostras de quitosana e pó de lapidário adicionados à argila visa a contribuir com as características de resistência mecânica, porosidade e cor avermelhada.

No presente trabalho foram produzidos, em escala laboratorial, corpos de prova de material cerâmico composto por argila, pó de lapidário e, em substituição à quantidade de água comumente utilizada no processo, solução ácida de quitosana (2% em massa) no intuito de avaliar as características do processo difusivo do material cerâmico produzido em escala laboratorial.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Para a execução do presente trabalho foram utilizados os seguintes materiais: Argila (adquirida em mercado local); Pó de lapidário (fornecido pelos lapidários da região de Teófilo Otoni-

MG; e Quitosana (adquirida do Padetec – Fortaleza/Ceará).

## 1.2 Métodos

Para a formulação das massas cerâmicas foi utilizada a solução de quitosana em ácido acético (2%) na proporção de 30% em massa de acordo com a maleabilidade das misturas, que substituiu a utilização de água. O processo de fabricação dos corpos de prova (CP) foi dividido nas seguintes etapas: 1. Preparo da argila e do pó de lapidário; 2. Solubilização da quitosana; 3. Conformação dos CP em molde 50x50x10mm<sup>3</sup>; 4. Secagem; 5. Sinterização a 850, 950 e 1100°C; 6. Ensaio de Difusividade.

**Preparo da argila e do pó de lapidário:** Após a coleta das matérias-primas, a argila, o pó de lapidário e a quitosana, as amostras foram secas em estufa a 110°C em equipamento Ethik Technology (modelo 402-5d com Potência 1000W) durante um período de 30 minutos, depois destorroadas com almofariz e pistilo, submetidas a peneiramento em peneira ABNT n° 35 para uniformização das amostras. A moagem das amostras sólidas é importante para diminuir o tamanho das partículas, influenciando na reatividade dos componentes pelo aumento da área superficial de contato a fim de melhorar a resistência mecânica do material cerâmico ao final da sinterização. As amostras de argila e pó de lapidário foram misturadas na proporção de 0, 5, 10, 15, 20 e 25% de pó de lapidário e denominadas, portanto, AM0, AM5, AM10, AM15, AM20 e AM25.

**Solubilização – solução de quitosana:** A solução de quitosana 2% (massa/volume) foi preparada a partir da solubilização de 2g de quitosana em 100 mL de solução aquosa ácida de ácido acético 1% (em massa) e submetida à agitação contínua por um período de 60 minutos à temperatura ambiente, até a solubilização total da amostra. Após a solubilização da quitosana, a solução foi adicionada à massa cerâmica, na quantidade de 30% (em massa), sendo misturadas durante 15 minutos. Passado esse intervalo, obteve-se uma mistura homogênea, mantendo-se a plasticidade exigida para a massa cerâmica (ABNT, 1984).

**Conformação dos corpos de prova:** Depois da etapa de mistura dos três componentes, a massa cerâmica obtida seguiu para o processo de prensagem manual, com o objetivo aumentar a densidade do material compactado, sendo uma etapa importante para conformação correta dos corpos de prova, pois a má compactação dos aglomerados pode resultar em defeitos expressivos nos mesmos (ALBARO, 2000; OLIVEIRA, 2000). O processo foi realizado em um molde de aço nas dimensões 50x50x10 mm<sup>3</sup>, obtendo-se então, seis amostras para cada temperatura de sinterização (850, 950 e 1100°C).

**Secagem:** Os corpos de prova cerâmicos produzidos na etapa de prensagem foram expostos à secagem a fim de perder a umidade residual remanescente de etapas anteriores. Foram inicialmente secos em temperatura ambiente por 24h e submetidos à secagem em estufa da marca Ethik Technology a 110°C até que a diferença entre as sucessivas pesagens efetuadas em intervalo de 1h fosse menor que 0,1% (ABNT, 1997). Este processo é necessário, pois o material cerâmico ganha resistência mecânica ao passar pelo processo de secagem provocado pelo empacotamento das partículas, permitindo um aumento das forças de ligações entre partículas, evitando a formação de tensões internas e defeitos nas peças (AMORIM, 2007).

**Sinterização:** Os 18 corpos de prova foram divididos em três grupos e submetidos ao processo de sinterização a temperaturas de 850, 950 e 1100°C (Figura 1), utilizando-se mufla com 120 min de patamar e taxa de aquecimento de 2 °C/min. No processo de sinterização ocorre primeiramente o aquecimento superficial do material, em seguida, através dos processos de convecção e condução, a energia térmica é transferida para o interior do corpo cerâmico (MENEZES, 2007). Nesta etapa os produtos adquirem suas propriedades finais, sendo um processo térmico que utiliza altas temperaturas para tornar o material menos poroso. O resfriamento dos corpos de prova foi feito de forma gradual, desligando-se a mufla e deixando que o resfriamento ocorresse de forma natural com os corpos de prova em seu interior e depois acondicionados em dessecador com sílica-gel até que a temperatura estabilizasse.



**Figura 1 - Corpos de prova sinterizados a 850, 950 e 1100°C.**

**Difusividade – Lei de Fick:** A análise do processo difusivo foi realizada utilizando-se seis corpos de prova de cada grupo amostral, sendo estes classificados em amostras de material cerâmico produzido com diferentes quantidades de pó de lapidário e sinterizados às temperaturas 850, 950 e 1100°C, com o intuito de realizar um comparativo da quantidade de umidade adsorvida pelos corpos de prova submetidos à análise de processo difusivo.

De acordo com a lei de Fick, a análise matemática do processo difusivo é baseada na obtenção do coeficiente de difusão do vapor de água através do material estudado. Desta forma, a equação de difusão é desenvolvida, podendo assim, ser estudada através do desenvolvimento e especificação de parâmetros distintos, tais como: condições de contorno, concentrações de umidade e coeficiente de difusão.

As condições iniciais e de contorno devem ser conhecidas de forma a se obter o coeficiente de difusão do vapor de água através do material cerâmico. A condição inicial, neste caso, é a concentração inicial de umidade no material cerâmico, ao longo da direção do fluxo de difusão, e as condições de contorno são os valores da concentração de umidade em ambas as superfícies do material cerâmico. O fluxo de umidade é tomado como unidimensional na superfície da superfície do corpo de prova, sendo analisado pela equação linear diferencial parcial (Equação 1), para a difusão da umidade através dos corpos de prova sinterizados às três temperaturas utilizadas neste trabalho.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1)$$

Tendo  $C = C(x, t)$  como as concentrações de umidade,  $D$ , o coeficiente de difusão assumido como constante, e  $t$ , o tempo. A condição inicial é dada por  $C_0$  e a concentração de umidade nas superfícies do material cerâmico  $C_S$  são dadas pelas Equações 2 e 3.

A variável  $x$  mede a penetração da umidade nas amostras. A origem de  $x$  é o centro das duas superfícies do corpo de prova.

Assim, essas superfícies correspondem às coordenadas  $x = \pm L/2$ , onde  $L$  é a espessura do corpo de prova.

$$C(x, 0) = C_0 \tag{2}$$

$$C(x = \pm L/2, t) = C_S \tag{3}$$

A Equação 1 é separável e pode ser resolvida pelo método da série de Fourier (Crank, 1956). A solução da Equação 1, que satisfaz as concentrações das Equações 2 e 3, é dada pela Equação 4.

$$C(x, t) = C_0 + (C_S - C_0)x \left[ 1 - \sum_{n=0,1,2,\dots} A_n \cos(K_n x) \exp(-K_n^2 t) \right] \tag{4}$$

onde,  $A_n = \frac{4(-1)^n}{Lk_n}$  e  $k_n = \frac{(2n+1)\pi}{L}$ .

A quantidade total de umidade adsorvida após um tempo  $t$  é dada pela Equação 5, e a massa adsorvida no estado estacionário, pela Equação 6

$$M(t) = \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} C(x, t) dx = M_0 + (M_S - M_0)x \left[ 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0,1,2,\dots} \frac{\exp(-DK_n^2 t)}{(2n+1)^2} \right] \tag{5}$$

onde,  $M_0$  é a massa inicial da amostra,  $M_S$  é a massa no estado estacionário (ou equilíbrio) e  $S$  representa a área de cada superfície externa do material cerâmico.

$$C_S - C_0 = \frac{M_S - M_0}{SL} \tag{6}$$

Para determinar o coeficiente de difusão, introduz-se a variável de massa relativa  $\mu(t)$  definida pela Equação 7:

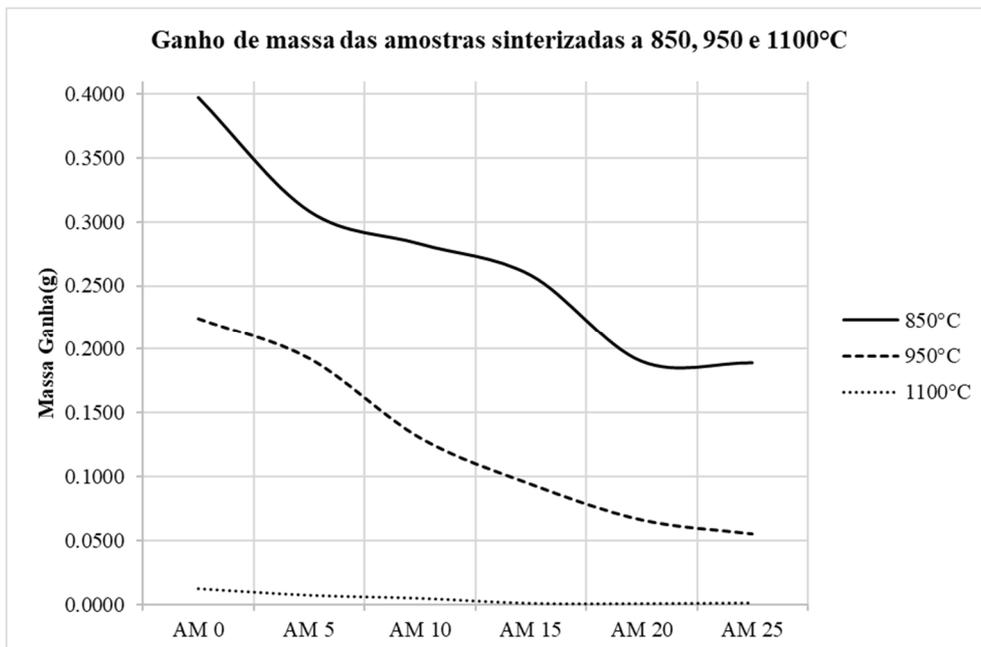
$$\mu(t) = \frac{M(t) - M_0}{M_S - M_0} \tag{7}$$

### 3. RESULTADOS

No intuito de realizar o estudo do processo difusivo nos corpos de prova AM0, AM5, AM10, AM15, AM20 e AM25, e consequente determinação do coeficiente de difusão, nas temperaturas de sinterização utilizadas na confecção dos corpos de prova, foi realizada uma sequência de análises e ajustes de equações comumente utilizadas na determinação do coeficiente de difusão segundo a lei de Fick.

Tais equações, costumeiramente vão sendo desenvolvidas, dando continuidade às fases subsequentes, até que se conclua o cálculo do coeficiente de difusão nas amostras estudadas em condições pré-estabelecidas. Para tanto, esta pesquisa segue pautada nos resultados e definições estabelecidas através do estudo de análises como: ganho de massa das amostras, massa adsorvida no estado estacionário (CS-C0) e do coeficiente de difusão (D).

Primeiramente foi realizado um estudo sobre o ganho de massa das amostras e, os resultados obtidos são plotados em gráficos que relacionam a influência da temperatura de sinterização, difusividade e a possível influência na porosidade do material cerâmico. Em primeira análise do ganho de massa nas amostras de diferentes composições e proporção de pó de lapidário nas temperaturas de sinterização de 850, 950 e 1100°C, percebe-se a influência da temperatura de sinterização na difusividade do material cerâmico produzido em escala laboratorial (Figura 2).

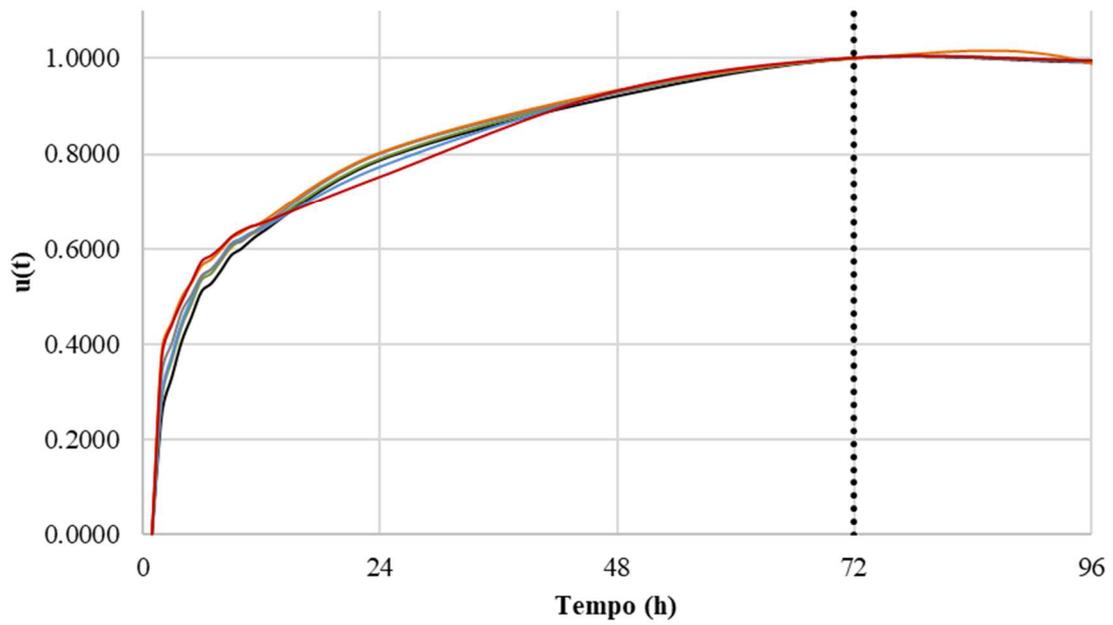


**Figura 2 – Ganho de massa nas amostras com temperatura de sinterização de 850, 950 e 1100°C.**

Para o cálculo da massa adsorvida no estado estacionário (CS-C0) e do coeficiente de difusão (D) para as amostras, foi analisado o ponto estacionário para as três temperaturas de

sinterização, sendo definido como ponto de normalização as 72h, conforme os gráficos de massas normalizadas apresentados nas Figuras 3a, 3b e 3c.

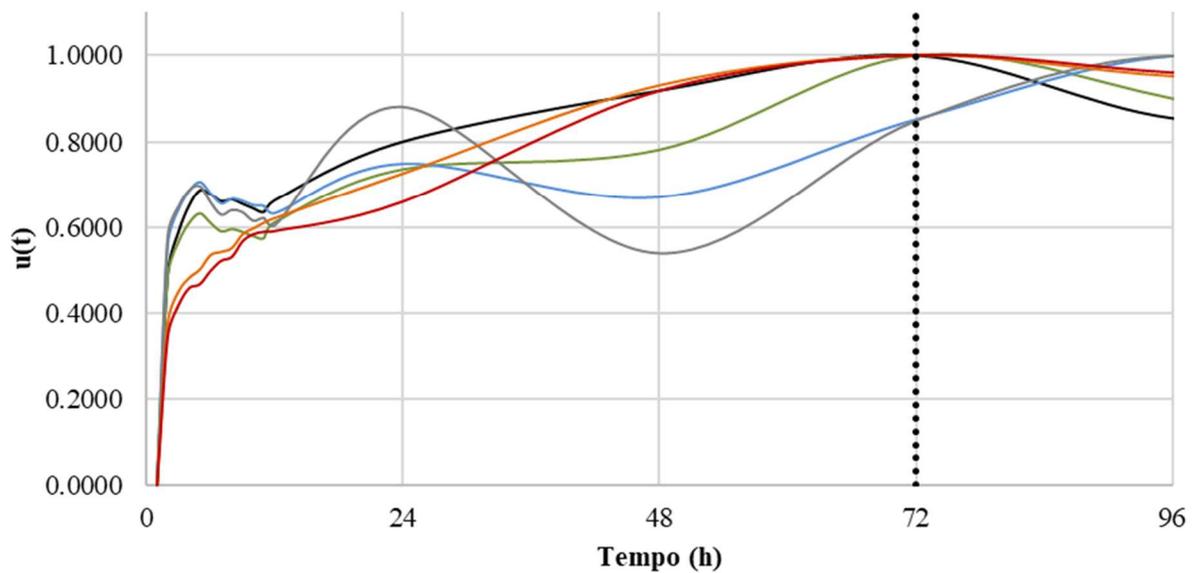
**Massa normalizada  $\mu(t)$  - 850°C**



— AM 0                      — AM 5                      — AM 10  
 — AM 15                    — AM 20                    — AM 25

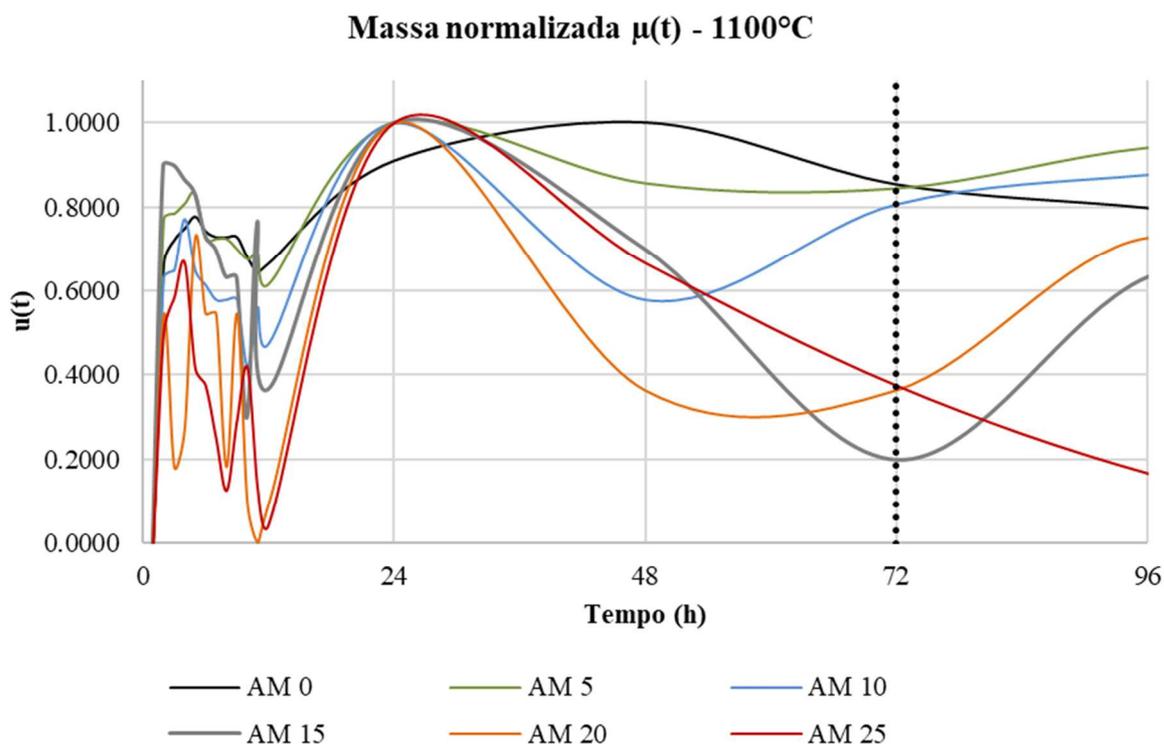
**Figura 3a – Massa normalizada  $\mu(t)$  para amostras sinterizadas a 850°C.**

**Massa normalizada  $\mu(t)$  - 950°C**



— AM 0                      — AM 5                      — AM 10  
 — AM 15                    — AM 20                    — AM 25

**Figura 3b – Massa normalizada  $\mu(t)$  para amostras sinterizadas a 950°C.**



**Figura 3c – Massa normalizada  $\mu(t)$  para amostras sinterizadas a 1100°C.**

A linearidade da distribuição da massa normalizada ( $\mu(t)$ ) foi analisada conforme o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) calculado a partir da plotagem dos dados de  $\ln(1 - \mu(t))$ . Dessa forma os corpos de prova que apresentaram baixa linearidade foram excluídos dos cálculos do coeficiente de difusividade ( $D$ ) e massa adsorvida no estado estacionário ( $Cs-C0$ ). Para as amostras sinterizadas a 850°C, todos os corpos de prova apresentaram valor aceitável de  $R^2$ , nas amostras de 950°C

foram excluídos os corpos de prova AM10 e AM15, e para 1100°C, AM0 e AM20. Os valores finais calculados para as diferentes temperaturas de sinterização, após a exclusão dos dados fora do padrão (outliers) pode ser visto na Tabela 1, onde são expressos os resultados de Coeficiente de difusão ( $D$ ) e ganho de massa teórica ( $Cs-Co$ ) das amostras AM0, AM5, AM10, AM15 AM20 e AM25 sinterizadas a 850, 950 e 1100 °C.

**Tabela 1 – Resultado de Coeficiente de difusão ( $D$ ) e ganho de massa teórica ( $Cs-Co$ ).**

Amostras	Sinterização a 850 °C		Sinterização a 950 °C		Sinterização a 1100 °C	
	D (m <sup>2</sup> /s)	Cs-Co (kg/m <sup>3</sup> )	D (m <sup>2</sup> /s)	Cs-Co (kg/m <sup>3</sup> )	D (m <sup>2</sup> /s)	Cs-Co (kg/m <sup>3</sup> )
AM 0	-1.21E-10	1.691	-1.09E-10	0.901	-	-
AM 5	-1.24E-10	1.306	-5.70E-11	0.773	-2.51E-11	0.028
AM 10	-1.24E-10	1.186	-	-	-1.98E-11	0.018
AM 15	-1.23E-10	1.092	-	-	4.44E-11	0.002
AM 20	-1.28E-10	0.791	-1.39E-10	0.257	-	-
AM 25	-1.47E-10	0.716	-1.24E-10	0.219	-7.70E-12	0.004
Média	-1.28E-10	1.130	-1.07E-10	0.540	-2.06E-12	0.010

A taxa de difusão representa a permeação das moléculas de água através de um material, no caso de materiais cerâmicos, representa a umidade que há no plano da área do material, e percebe-se que essa taxa foi maior nas amostras sinterizadas a 1100°C em detrimento das temperaturas de 950°C e 850°C, que apresentaram valores próximos de coeficiente de difusão e ganho de massa no estado estacionário.

Conforme ilustra a Tabela 1, nas amostras estudadas, encontrou-se um maior valor permeação de umidade atravessando um plano da área do material por unidade de tempo, indicando um maior número de lacunas na estrutura

cristalina do material, o que significa maior porosidade nos materiais cerâmicos quando sinterizados a temperaturas mais baixas, afetando diretamente a absorção de água do material.

#### **4. DISCUSSÃO**

De acordo com dados da literatura, em se tratando da difusão numa matriz polimérica, é correto afirmar que o processo difusivo está diretamente relacionado com a permeação de uma molécula através da matriz polimérica e é dependente da estrutura da matriz. Num material cerâmico o conhecimento desse comportamento, está diretamente

relacionado ao comportamento do material em relação ao ambiente com umidade relativa e temperatura controladas. Uma vez que, ao se induzir um ambiente com temperatura e umidade relativa controlada, garante-se um ambiente propício à identificação de seu potencial difusivo em condições extremas, levando-se em conta o ambiente a que costumemente os materiais cerâmicos estão expostos.

Dentro desse contexto e da proposta do presente trabalho, a produção de materiais cerâmicos, mesmo que em escala laboratorial, permite um reflexo do comportamento a que estaria exposto o referido material cerâmico quando utilizado na construção civil, por exemplo.

O ganho de massa nas amostras com temperatura de sinterização de 850, 950 e 1100°C se mostra diferente pela possível diminuição da porosidade das amostras sinterizadas a temperaturas mais elevadas, o que se dá pela fusão de um maior número de elementos componentes das matérias-primas, ocasionando um maior preenchimento dos poros existentes nos corpos de prova antes do processo de sinterização. Nas amostras sinterizadas a 850 e 950°C, poucos elementos se fundem a temperaturas próximas a essas, por isso o material se apresenta mais poroso e, conseqüentemente, com maior taxa de difusão.

## 5. CONCLUSÃO

De acordo com resultados apresentados para amostras de argila e pó de lapidário pôde-se observar que a adição de quitosana e pó de lapidário se mostrou satisfatória na composição de materiais cerâmicos, uma vez que contribuíram para a diminuição do ganho de massa durante os ensaios do processo difusivo. As amostras sinterizadas a 1100°C apresentaram resultados melhores com relação ao ganho de massa no estado estacionário e ao coeficiente de difusão, apontando uma maior influência da temperatura de sinterização na análise do processo difusivo que a adição dos resíduos em si.

Com base nesse princípio e, de posse dos resultados obtidos com o presente trabalho, pode-se concluir que o material cerâmico contendo resíduos de pó de lapidário e solução filmogênica à base do biopolímero quitosana, pode vir a ser uma proposta para a produção de telhas cerâmicas vermelhas, visto que os resultados relativos aos cálculos do coeficiente de difusão apresentaram resultados satisfatórios, com expressiva possibilidade de expressão de diminuição da porosidade do material produzido no presente trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do LMMA patrocinado pela FAPEMIG (CEX-112-10), SECTES / MG e RQ-MG (FAPEMIG: CEX-RED-00010-14).

## REFERÊNCIAS

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Estudo Técnico Setorial da Cerâmica Vermelha: Subsídio para a Elaboração do Plano de Desenvolvimento Sustentável da Cadeia Produtiva de Cerâmica Vermelha**. Brasília, GO, 2016, 265 p.

ALVES, W. A.; BALDO, J. B. O Potencial de Utilização de um Resíduo Argiloso na Fabricação de Revestimento Cerâmico: Parte I – Caracterização. **Rev. Cerâmica Industrial**, São Paulo, SP, v. 2, n. 5, p. 38-40, 1997.

ALBARO, J. L. A. A Operação de Prensagem: Considerações Técnicas e sua Aplicação Industrial Parte I: O Preenchimento das Cavidades do Molde. **Rev. Cerâmica Industrial**, São Paulo, SP, v. 5, n. 5, p. 23-28, 2000.

AMORIM, F. R. **Co-processamento de dregs em argila para produção de cerâmica vermelha**. 2007. 121 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2007.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, RJ (1984).

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13818: Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, RJ (1997).

BUSTAMANTE, G. M.; BRESSIANI, J. C. A indústria cerâmica brasileira. **Rev. Cerâmica Industrial**, São Paulo, SP, v. 5, n. 3, p. 31-36, 2000.

Comissão de Política Ambiental de Minas Gerais. Deliberação Normativa – COPAM. Deliberação normativa n° 83 (2005).

CRANK, J. **The Mathematics of Diffusion**. London: Oxford University Press, 1956.

MENEZES, R. R.; SOUTO, P. M.; KIMINAMI, R. H. G. Sinterização de cerâmicas em micro-ondas - Parte I: Aspectos fundamentais. **Rev. Cerâmica**, São Paulo, SP, v. 53, p. 1-10, 2007

OLIVEIRA, A. P. N. Tecnologia de Fabricação de Revestimentos Cerâmicos. **Rev. Cerâmica Industrial**, v. 5, n. 6, p. 37-47, 2000.

PINTO, R. C. A.; CARNEIRO, J. M.; LUZ, J. C.; ANDRADE, J. C. S.; MACEDO, D. A.; DUTRA, R. P. S.; NASCIMENTO, R. M. Estudo de formulações para aplicação em placas cerâmicas. In: VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 2010, Campina Grande, **Anais...** Campina Grande: 2010.

SILVA, L. D.; SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P. S.; FARIAS, V. S. O. Descrição da secagem de placas cerâmicas por meio de um modelo de difusão. **Rev. Cerâmica**, São Paulo, SP, v.59, p.409-416, 2013.

WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. M. **Carbohydrate Chemistry for food scientists**. St. Paul: Eagan Press, 241p. 1999.