

## REAPROVEITAMENTO DE REJEITOS DE TIJOLOS NA OBTENÇÃO DE MEMBRANAS CERÂMICAS DESTINADA A TRATAMENTO DE EFLUENTES

Adriano Lima da Silva, UFCG, adrianolimadasilva@hotmail.com  
Alexsandra Cristina Chaves, UNIFAP, alexsandra.chaves@ifap.edu.br  
Gelmires de Araújo Neves, UFCG, gelmires@dema.ufcg.edu.br  
Danielle do Nascimento Silva Oliveira, UFCG, daninascimento.eng@gmail.com  
Carlos Bruno Barreto Luna, UFCG, brunobarretodemaufcg@hotmail.com  
Patricia da Silva Santos, UFCG, patricias.santos@hotmail.com.br

**Resumo:** Desenvolvimento sustentável é desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de futuras gerações satisfazerem as suas próprias necessidades. Este trabalho tem como objetivo caracterizar massas cerâmicas compostas de resíduos de tijolos cerâmicos e argila bentonita, para conformação de membranas cerâmicas tubulares. Foi estabelecida uma composição para a massa, contendo 95% de resíduo. Após a homogeneização a mesma foi submetida a caracterizações física e mineralógica através das técnicas de difração e fluorescência de raios X (EDX e DRX), análise granulométrica e teste de plasticidade. Análise granulométrica, a composição apresentou um diâmetro médio de 6,08  $\mu\text{m}$ . Com a análise química por fluorescência de raios X, foi possível perceber que a composição, apresentou as substâncias: sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e a alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), o que caracteriza um composto silício aluminoso. O Teste de plasticidade da composição apresentou um índice de plasticidade de 12,8%, é mediante este índice que traz boa previsão para o sucesso da conformação das membranas pelo método da extrusão, pode-se perceber que um aumento na temperatura de sinterização ocasionou um aumento na porosidade das membranas conformadas.

**Palavras-chave:** Membranas, filtração, resíduo, sustentabilidade.

## TAILINGS APPLICATION OF CERAMIC BRICKS IN MEMBRANES GETTING INTENDED MICROFILTRATION FOR WASTEWATER TREATMENT

**Abstract:** Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs. This work aims to characterize ceramic bodies composed of waste ceramic brick and bentonite clay for future forming tubular ceramic membranes. A composition for dough, containing 95% residue was established. After homogenization it was subjected to physical and mineralogical characterization techniques through diffraction and X-ray fluorescence (EDX and XRD), sieve analysis and plasticity test. Particle size analysis, the composition had a mean diameter of 6.08 microns, with the chemical analysis by X-ray fluorescence, it was revealed that the composition showing substances: silica ( $\text{SiO}_2$ ) and alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), which characterizes compound silicon aluminous. The composition of the plasticity test showed a 12.8% plasticity indict, this is moderately indict that brings good prediction for the success of the conformation of the membranes by the method of extrusion, one can see that an increase in sintering temperature caused a increase in the porosity of the shaped membranes.

**Keywords:** Membrane, filtration, waste, sustainability.

### 1. INTRODUÇÃO

Desenvolvimento sustentável é desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de futuras gerações satisfazerem as suas próprias necessidades. Segundo a ONU, em 1950, cinco anos após a criação das Nações Unidas, a população mundial era estimada em cerca de 2,6 bilhões de pessoas. De acordo com estimativas da ONU, a população mundial chegou a 5 bilhões em 11 de julho de 1987, e atingiu a marca de 6 bilhões de pessoas em 12 de outubro de 1999. Agora, 10 anos depois, ela é estimada em aproximadamente 7 bilhões. Esta expansão rápida e contínua da impressão humana num planeta que parece cada vez menor tem sérias implicações em quase todos os aspectos da vida. Questões estas que dizem respeito à saúde e ao envelhecimento, à migração em massa e

à urbanização, à demanda por habitação, ao abastecimento inadequado de alimentos, ao acesso à água potável, entre outras.

Considerando como consequência desse crescimento vertiginoso da população, segundo a ONU, a luta por meios de reciclagem e reutilização de resíduos é cada vez mais evidenciada, no sentido de promover de fato o desenvolvimento sustentável. Baseada na problemática do despejo em grande quantidade de resíduo proveniente da indústria cerâmica tem-se a carência de estudos e pesquisas sobre a aplicação destes (Angulo et al., 2011).

A indústria da cerâmica vermelha produz uma quantidade bastante elevada de resíduos sólidos, que começam a ser acumulados desde o armazenamento nas alvenarias pela má manipulação dos seus quebradiços produtos (Angulo et al., 2011).

Segundo Vieira (2005), um dos maiores desafios dos pesquisadores da atualidade, na busca pelo desenvolvimento sustentável, seria a investigação de processos para a obtenção de materiais alternativos, que permitam o emprego de resíduos da construção civil na fabricação de materiais e produtos duráveis destinados, por exemplo, a construção de casas populares de baixo custo. O mesmo autor fez um estudo da utilização de resíduos da cerâmica vermelha como substituição pozolânica em argamassas e concretos e constatou que, apesar da necessidade de um estudo mais profundo, os resultados demonstram positividade para esta aplicação.

Segundo Silva (2010), a produção de cerâmica vermelha tem-se mostrado promissora para a absorção de resíduos. Isso se deve a boa plasticidade das argilas, a elevada variação da composição química que aceita sem perder suas características tecnológicas, além da boa oferta de matéria-prima dos argilominerais para este tipo de cerâmica (Pinheiro e Holanda, 2009).

Silvestre (2013), afirma que de acordo com as características dos resíduos de cerâmica, o uso do mesmo pode ser a integração como substituto parcial do agregado natural (NA) em hot-massa asfáltica (HMA), que resultaria numa redução dos impactos ambientais, e os custos de produção de gestão de resíduos.

Os trabalhos citados mostram um real potencial para a utilização de resíduos da construção civil, ou mais especificamente, resíduos da cerâmica vermelha nas mais variadas aplicações. A incorporação desses surge como uma alternativa para reduzir os impactos ambientais causados pelo descarte indiscriminado de resíduos na natureza, que juntamente com argilas teve na realidade efeitos positivos na obtenção de membranas cerâmicas (Ozel et al., 2006; Benito et al., 2005).

As membranas em geral são amplamente empregadas em diferentes processos de separação, tais como, tratamento de rejeitos industriais, processamento de alimentos, dessalinização de águas, processos biomédicos, têxteis e químicos (Silva et al., 2010; Randon et al., 1993).

Dentre várias aplicações das membranas no processo de separação/filtragem pode-se destacar na indústria como uma principal função de separar os contaminantes insolúveis de soluções, processo chamado de “clarificação”; removem totalmente os micro-organismos do ar ou de soluções, processo chamado de “esterilização”; além da separação, diálise ou concentração de macromoléculas, com base na literatura podemos destacar a microfiltração. A membrana de microfiltração é apresentada por seu tamanho de poro (0,22 micrometros, 0,45 micrometros) e é empregada em um tipo específico de filtração, dentro de uma faixa granulométrica de sólidos suspensos na água a serem separados. “A Microfiltração também atua como uma proteção das membranas de Nanofiltração e de Osmose Inversa, utilizadas comumente para dessalinização e desmineralização de água”. Neste caso, a Microfiltração elimina todo material em suspensão da água bruta, possibilitando também aumento do desempenho e da vida útil das membranas de Nanofiltração e Osmose Inversa (Silva, 2010)

No caso das indústrias, o tratamento dos seus efluentes antes da sua deposição no meio ambiente ou em um sistema de esgotamento público representa um dos seus principais problemas, pois boa parcela destes efluentes é constituída de emulsões de óleo em água, cujos processos comuns para separação destas emulsões possuem uma série de limitações, seja de ordem energética ou química (Silva et al., 2010).

O processo que vem recebendo crescente atenção devido a sua eficiência energética, facilidade de operação, vasta aplicabilidade, entre outras vantagens, é aquele que utiliza membranas como princípio ativo de seu funcionamento. Com o desenvolvimento e aplicação de um sistema específico de membranas, sozinho ou em conjunto com outras técnicas, se pode assegurar a passagem de apenas moléculas específicas, mesmo em situações onde os efluentes possuem um alto teor de óleo (Silva et al., 2010).

A possível positividade do tratamento dos efluentes industriais, também pode ser refletida em outros tipos de efluentes contaminados, como a própria rede de esgoto urbano, gerando um ganho de caráter econômico, social e ambiental.

Este trabalho teve como objetivo o reaproveitamento de resíduos de tijolos cerâmicos vermelhos na fabricação de membranas cerâmicas tubulares, e são amplamente empregadas em processos de separação nas áreas de tratamento de rejeitos industriais, processamento de alimentos, dessalinização de águas, processos biomédicos, têxteis e químicos (Paiva et al., 2006).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. MATERIAIS

As matérias-primas utilizadas na confecção das membranas cerâmicas tubulares foram: argila bentonita proveniente da região de Cubatí (PB), resíduos de tijolos cerâmicos vermelhos cedidos pela CIMAC, empresa de materiais de construção localizada em Campina Grande (PB), água potável e oleína.

### 2.2. MÉTODO

#### Tratamento dos resíduos de tijolos cerâmicos

Os resíduos de tijolos cerâmicos (Figura 1) foram submetidos a um processo de moagem durante seis horas, objetivando o alcance de um pó cerâmico cuja granulometria fosse capaz de passar pela peneira ABNT nº 325.

A dureza das matérias-primas a moer é um fator importante na seleção do equipamento a ser utilizado para a realização da moagem. Em se tratando dos resíduos de tijolos cerâmicos, que é formado essencialmente de argila, o processo de moagem utilizando o moinho de bolas é largamente utilizado. O moinho de bolas é constituído de uma carcaça de ferro, revestida internamente com blocos de sílax e carregado de corpos moedores (Figura 2).



**Figura 1.** Resíduos de tijolos cerâmicos cedidos pela CIMAC. (Fonte: Própria)



**Figura 2.** Moinho de bolas. (Fonte: Própria)

As principais variáveis que influenciam na moagem com este tipo de equipamento, são o tamanho e a carga dos corpos moedores que são colocados no moinho.

### Obtenção da massa cerâmica

Para a obtenção da massa cerâmica, o resíduo de tijolo foi totalmente beneficiado em peneira ABNT nº 325, assim como a argila bentonita de forma que ambos estivessem na mesma granulometria. A Tabela 1 representa a proporção de massa cerâmica utilizada.

**Tabela 1.** Proporção dos componentes na massa cerâmica

Porcentagem	Resíduos – Bentonita	Massa para 2000 g de massa total Resíduos - Bentonita
Composição	95 % - 5%	950 g – 50 g

Foram estabelecidas as proporções de cada componente, e a massa cerâmica foi obtida pela completa homogeneização manual do pó de tijolo com a argila bentonita.

Com as proporções definidas e a massa cerâmica que foi de 95% de resíduo de tijolo e 5% de Argila Bentonita homogeneizada, foi realizado um Teste de plasticidade. Com os componentes necessários para formar uma massa total de 2000 gramas, foi realizada uma homogeneização manual por 40 minutos.

## CARACTERIZAÇÃO DA MASSA CERÂMICA

### CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

#### Análise granulométrica por difração a laser (AG)

Neste método é combinada à relação proporcional entre a difração a laser, a concentração e o tamanho das partículas. Para realização desta análise, a massa cerâmica foi dispersa em 250mL de água destilada em agitador Hamilton Beach modelo N-5000 na velocidade de 17.000 rpm, por 20 minutos. Em seguida, 15 mL foram separados e colocados em dispersor ultrassônico por 10 minutos. Esta dispersão foi colocada em um equipamento CILAS modelo 1064, em modo úmido, até atingir a concentração ideal, que é de 150 unidades de difração/área de incidência.

### CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

#### Análise química por fluorescência de raios X (EDX)

A massa cerâmica foi submetida à análise química por fluorescência de raios-X no equipamento EDX 720 da Shimadzu.

#### Análise termogravimétrica (TG)

A análise termogravimétrica (TG) da massa cerâmica foi realizada em equipamento BP Engenharia, Modelo RB 3000, operando a 12,5 °C/min. A temperatura máxima utilizada na análise térmica será de 1000°C.

### Difração de raios X (DRX)

A análise por DRX da massa cerâmica foi realizada em equipamento XRD 6000 da Shimadzu. A radiação utilizada, foi K do Cu (40kV/30mA), a velocidade do goniômetro foi de 2°/min e passo de 0,02°. A interpretação foi realizada utilizando os padrões contidos no programa computacional PDF 02 (ICDD, 2003).

### CONFORMAÇÃO DAS MEMBRANAS

As membranas em formato tubular foram obtidas por extrusão, utilizando-se uma extrusora a vácuo (Figura 3), fabricadas pela Verdés modelo 051. O molde utilizado foi confeccionado em aço VC 131, temperado, o qual permite que as peças extrudadas adquiram a forma tubular com as seguintes dimensões: diâmetro externo 10,5 mm, diâmetro interno 7,5 mm e espessura de parede do tubo em torno de 1,5mm.



**Figura 3.** Conformação das membranas em uma extrusora à vácuo. (Fonte: Própria)

No processo de extrusão, a mistura cerâmica sofre deformação plástica até ser alcançado o ponto de escoamento. A mistura cerâmica é formada pelo pó cerâmico e um teor de líquido entre 10 e 30% e esta mistura é forçada pela rosca sem fim da extrusora através do orifício de uma boquilha com o formato desejado, produzindo-se dessa forma o corpo cerâmico.

As peças obtidas foram submetidas a duas etapas de secagem. Na primeira etapa, secagem natural durante cinco dias, cobertas com pano úmido. Na segunda etapa, as peças foram levadas a uma estufa com temperatura controlada em torno de 60°C por 48h. Passada essa etapa, as peças cerâmicas foram cortadas com comprimento aproximado de 80 mm.

### CARACTERIZAÇÃO DAS MEMBRANAS CERÂMICAS

As membranas cerâmicas foram caracterizadas por ensaios de microscopia eletrônica de varredura (MEV), e analisadas sua porosidade aparente ( $\epsilon_A$ ) pelo princípio de Arquimedes.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. TESTE DE PLASTICIDADE

Plasticidade é a propriedade que um sistema rígido possui de deformar-se, sem romper-se, pela aplicação de uma força (tensão) e de reter essa deformação quando a força aplicada é retirada. Se o sistema argila-água não fosse adequadamente plástico, não seria possível moldagem de produtos de cerâmica vermelha por extrusão (Campos et al., 1999). Os dados do teste de plasticidade das amostras se encontram na Tabela 2.

Tabela 2. Características da Plasticidade do composto

Amostras	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Composto X	31,0	18,2	12,8

Onde, LP é o limite plástico, que é o teor de água, expresso em porcentagem do peso de massa seca a 110 °C, acima do qual a massa argilosa pode ser enrolada em rolos, com cerca de 3 a 4mm de diâmetro e cerca de 15cm de comprimento, e LL é o limite líquido, que é o teor de água, expresso em porcentagem do peso de massa seca a 110 °C, acima do qual a massa flui como um líquido quando ligeiramente agitada (Campos et al., 1999).

O valor do índice de plasticidade (IP), expresso na tabela permitiu concluir, segundo critérios utilizados em mecânica dos solos (Caputo, 1994). Como nosso IP encontra-se entre LL e LP a massa cerâmica é classificada como Plástica.

O fato de a composição ser plástica traz boa previsão de que esta massa será conformada pelo processo de extrusão com sucesso, pois de um modo geral, pode-se afirmar que argilas com elevada plasticidade deslizam melhor sobre a superfície da hélice, traduzindo-se numa maior pressão e, conseqüentemente, numa melhor homogeneização.

Este teste foi realizado segundo as normas NBR 6459/1984, para o limite de liquidez e NBR 7180/1984, para o limite de plasticidade, em que  $IP = LL - LP$ .

### 3.2. CARACTERIZAÇÃO DA MASSA CERÂMICA

#### Análise granulométrica por difração a laser (AG)

A Figura 4 mostra a distribuição granulométrica das partículas da massa cerâmica.

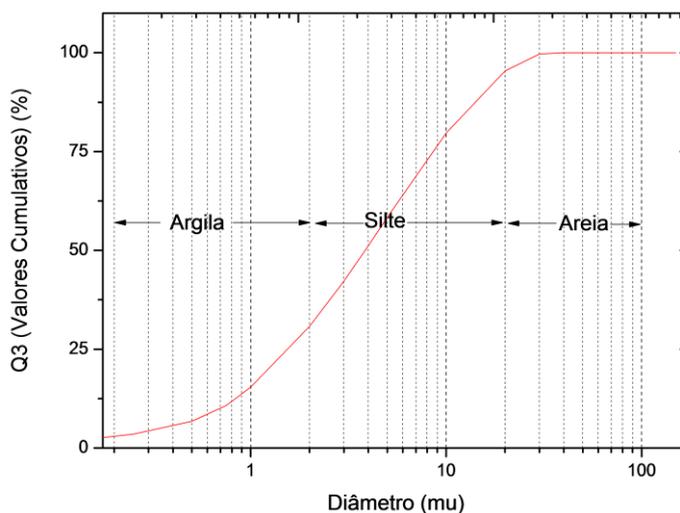


Figura 4. Distribuição granulométrica da massa cerâmica.

A partir da distribuição granulométrica, observa-se que a massa cerâmica é composta basicamente de argila, silte e areia.

A tabela 3 representa os dados da análise granulométrica da massa cerâmica, onde  $D_{10}$ ,  $D_{50}$  e  $D_{90}$  são porcentagens (10%, 50% e 90%) nas quais os diâmetros das partículas se encontram abaixo do especificado.

**Tabela 3.** Análise granulométrica da massa cerâmica na composição X.

Massa cerâmica	D <sub>10</sub> (µm)	D <sub>50</sub> (µm)	D <sub>90</sub> (µm)	D <sub>médio</sub> (µm)
Composição	0,71	3,86	15,28	6,08

Conforme os dados ilustrados na Tabela 3, observa-se que o diâmetro médio das partículas é de 6,08 µm. Segundo Silva e Lira (2006), o diâmetro médio das partículas de aproximadamente 6,08 µm, é de se esperar que as membranas obtidas com esta massa apresentem tamanho médio de poros da ordem de 2-5 µm. Cujo valor representa membranas para o processo de microfiltração (Randon et al., 1993). A estimativa do diâmetro dos poros e classificação das membranas será postas a prova com análises posteriores.

### Análise química por fluorescência de raios X (EDX)

A composição química da massa cerâmica está apresentada na Tabela 4.

**Tabela 4.** Composição química da massa cerâmica.

Substância	Porcentagem
SiO <sub>2</sub>	55.328
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.933
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.923
MgO	2.381
CaO	1.461
TiO <sub>2</sub>	1.785
K <sub>2</sub> O	2.544
Outros	0,645

Na Tabela 4 observa-se as substâncias que estão presentes em maior quantidade na massa cerâmica são a sílica (SiO<sub>2</sub>) e a alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Segundo Júnior (2008), no caso dos compostos silico-aluminosos, que têm como componentes principais os óxidos SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, a relação recíproca dos mesmos determina o caráter químico do produto, com a predominância de SiO<sub>2</sub>, de caráter ácido; quando Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> é majoritário, são chamados de básicos, o que caracteriza um composto sílico-aluminoso.

A massa cerâmica contém um teor relativamente elevado de óxido de ferro, devido à própria composição da matéria do resíduo de tijolo cerâmico, que é caracteristicamente rico neste elemento, figurado em sua coloração avermelhada. Baixos teores de MgO e CaO são importantes, pois estes atuam como agentes fundentes. Esses óxidos em elevadas quantidades poderia interferir no processo de sinterização, favorecendo o surgimento de formação de fase líquida e o provável entupimento de poros (Chaves et al., 2013).

### Difração de raios X (DRX)

A análise por difração de raios X para a massa cerâmica está esquematizada na Figura 6. O composto apresenta picos referentes aos planos cristalinos das fases mineralógicas do quartzo, caulinita, silicatos de alumínio potássio e hidróxido de cálcio. Esses resultados, juntamente com os dados da análise química por fluorescência de raios x, permitem classificar o composto como caulínítico (Silva, 2010).

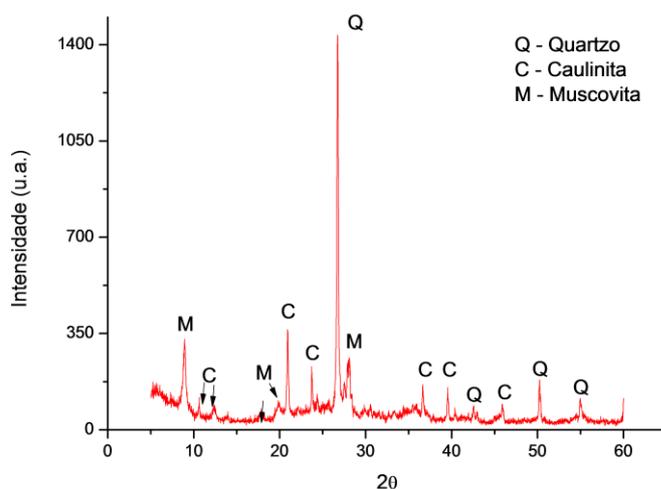


Figura 5. Difratoograma da composição X.

Podemos verificar através na Tabela 5, a presença de picos referentes a Caulinita, caracterizada pela distâncias interplanares 8,25 Å; 7,15 Å; 4,12 Å; 3,73 Å; 2,28 Å; de Quartzo nas distancias interplanares de 3,34 Å; 2,12 Å; de Moscovita caracterizado pelas distancias interplanares de 3,20 Å; 4,98 Å; 4,47Å

Tabela 5. Cálculo e identificação dos picos baseado nas distâncias Interplanares.

Picos	2θ	d(Å) calculado	d(Å) teórico	Argilomineral atribuído
1	8,9399	9,8914	9,99	Moscovita
2	10,6394	8,3149	8,25	Caulinita
3	12,3572	7,1626	7,15	Caulinita
4	17,8585	4,9666	4,98	Moscovita
5	19,8191	4,4795	4,47	Moscovita
6	20,9355	4,1262	4,12	Caulinita

### Análise termogravimétrica (TG)

Análise termogravimétrica é uma técnica destrutiva no ramo de análises térmicas, na qual se monitora a variação da massa de uma amostra em função da temperatura ou do tempo em um ambiente de temperatura e atmosfera controladas. Seu princípio de funcionamento é simples: analisar a perda ou a agregação de massa à amostra em temperaturas variadas. Em geral os métodos térmicos encontram ampla aplicação tanto no controle de qualidade quanto na pesquisa de produtos industriais, tais como: polímeros, fármacos, argilas, minerais e ligas metálicas (Lima et al., 2011).

A análise termogravimétrica da massa cerâmica foi realizada para que a partir desta fosse definida as temperaturas de queima das membranas. A Figura 6 ilustra a curva da análise termogravimétrica (TG) da massa cerâmica. E na Tabela 6, verifica-se que há três estágios de perda de massa.

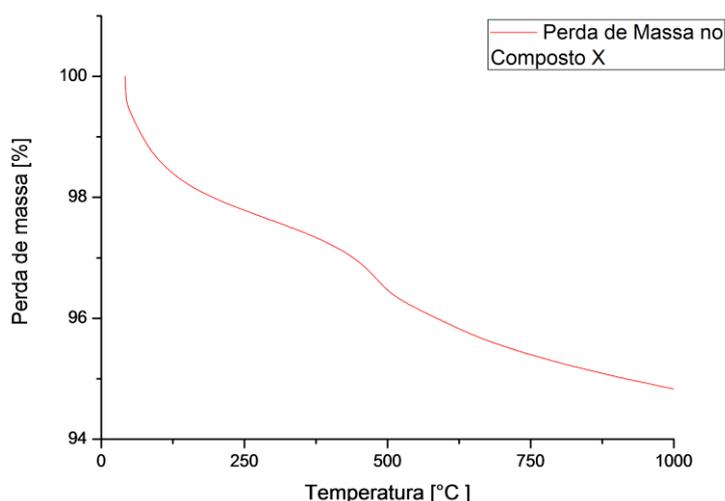


Figura 6. Curva de perda de Massa do composto X.

Tabela 6. Intervalos de perda de massa do composto X.

	Etapas	Variação Temp. (°C)	Perda de Massa	
			(%)	(mg)
Massa cerâmica	1	42,26 - 165,94	1,741	0,487
	2	165,94 - 697,39	2,578	0,721
	3	697,39 - 1001,67	0,726	0,203

Observa-se que a primeira perda ocorreu na faixa entre 42,26 e 195,4 °C, possivelmente relacionado à eliminação de água adsorvida e estrutural do material. No outro estágio de perda relativa à faixa 195,4 a 697,39 °C, está relacionado à perda de matéria orgânica e hidroxilas presentes na composição e, finalmente, o último estágio entre 697,4 e 1001,67 °C, que ocorre em consequência da decomposição de carbonatos e hidróxidos. A perda de massa total apresentada pela composição foi de aproximadamente 5,045%. Com esta análise foi possível definir as temperaturas de sinterização das membranas que foram 750 °C, 800 °C e 850 °C.

### 3.3. DIFRAÇÃO DE RAIOS X PARA A MASSA CERÂMICA SINTERIZADA

Os difratogramas obtidos para as massas cerâmicas sinterizadas estão esquematizados nos gráficos 7, 8 e 9.

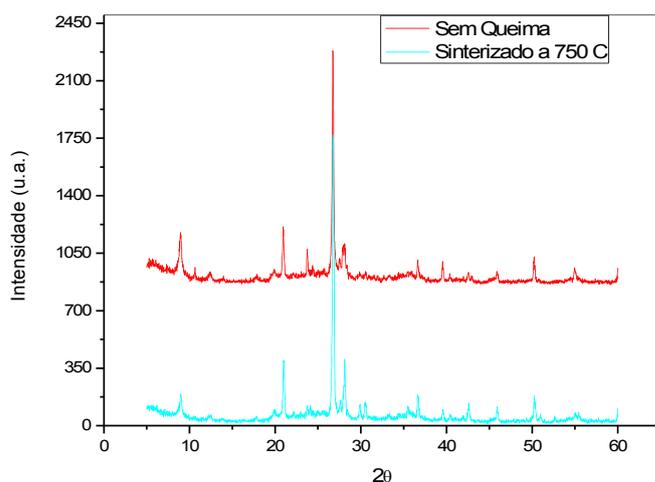


Figura 7. Difratoograma da massa cerâmica sem queima e da massa cerâmica sinterizada à 750°C.

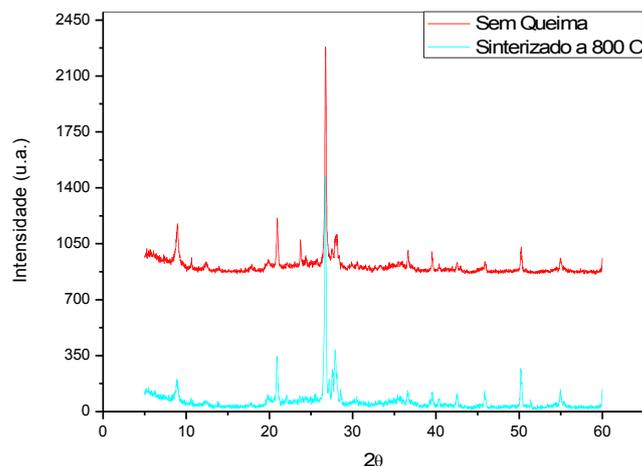
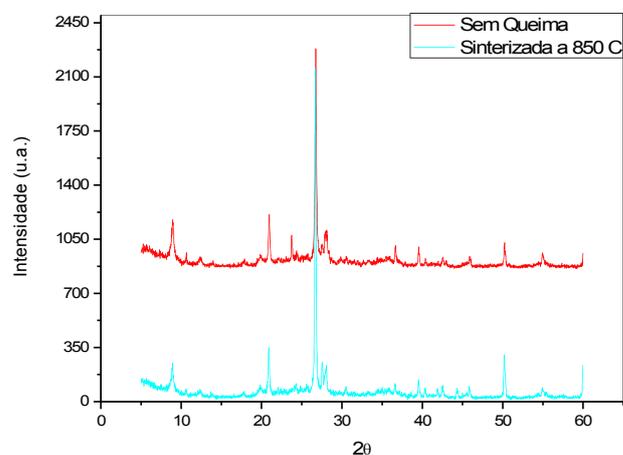


Figura 8. Difratoograma da massa cerâmica sem queima e da massa cerâmica sinterizada à 800°C.



**Figura 9.** Difratoograma da massa cerâmica sem queima e da massa cerâmica sinterizada à 850°C.

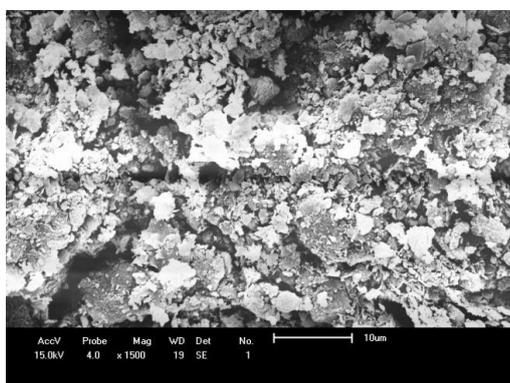
Analisando os difratogramas (7,8 e 9) comparativos com a massa cerâmica sem queima é possível notar que:

- Nas três temperaturas de sinterização verifica-se uma intensidade maior dos picos característicos do Quartzo;
- Com o aumento da temperatura os picos da Caulinita perderam intensidade;
- Os picos de quartzo ficaram mais intensos no decorrer do aumento da temperatura de sinterização;
- Com a análise dos difratogramas foi possível perceber que o comportamento é muito semelhante para as composições, de queima e sem queima da massa cerâmica, sendo diferentes apenas as intensidades dos picos.

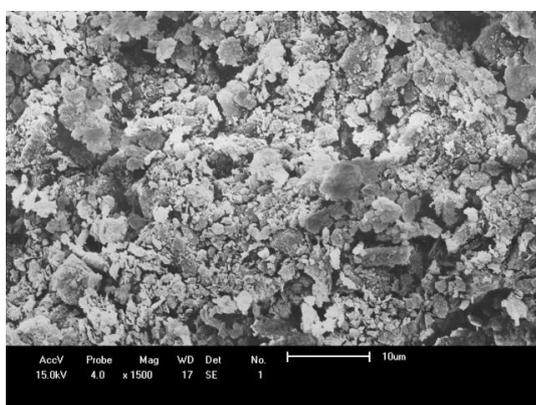
### 3.4. CARACTERIZAÇÃO DAS MEMBRANAS

#### Microscopia Eletrônica de varredura (MEV)

As micrografias obtidas por MEV, para cada temperatura de sinterização, se encontram nas Figuras 10, 11 e 12. Estas ilustram a área de corte da membrana.



**Figura 10.** Micrografia, com aumento de 1500X, da área de corte da membrana sinterizada a 750°C.



**Figura 11.** Micrografia, com aumento de 1500X, da área de corte da membrana sinterizada à 800°C

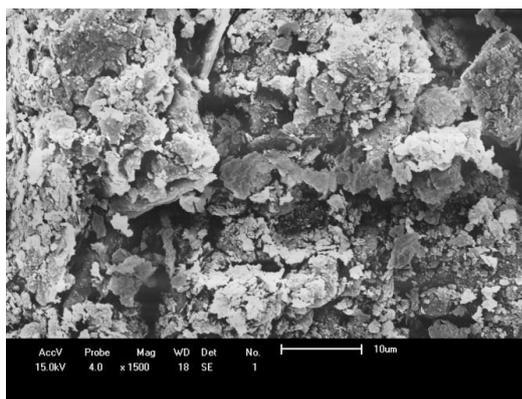


Figura 12. Micrografia, com aumento de 1500X, da área de corte da membrana sinterizada à 850°C.

Analisando as micrografias (10,11 e 12) é possível perceber que, apesar da membrana sinterizada à 750°C possuir uma distribuição de poros mais uniforme quando comparadas as outras sinterizadas às temperaturas mais elevadas a partir de 850° C, não é possível estimar com precisão o tamanho dos poros em nenhum dos casos, uma vez que não há uniformidade de distribuição. Ainda é possível observar que com o aumento da temperatura de sinterização, há um aumento da porosidade das membranas.

### Porosidade aparente, (εA) pelo princípio de Arquimedes

A Tabela 7 evidencia os dados obtidos pelo ensaio de porosidade aparente.

Tabela 7. Dados aferidos com base no ensaio de porosidade aparente pelo princípio de Arquimedes.

Temperatura de Queima (C°)	Peso Seco (g)	Peso Úmido (g)	Peso Submerso (g)
750	0,63	0,79	0,47
800	0,72	0,85	0,65
850	0,86	1,03	0,79

Os ensaios foram realizados utilizando uma amostra de cada membrana na respectiva temperatura de sinterização (750°C, 800°C e 850°C), após a obtenção dos pesos seco, úmido e Imerso. Sendo assim, foi possível o calculo da porosidade aparente e porosidade total das membranas, a partir da equação abaixo:

$$P_{ap} = \frac{P_u - P_s}{P_u - P_i} * 100$$

Onde: P<sub>ap</sub>= Porosidade Aparente; P<sub>s</sub> = peso seco; P<sub>u</sub> = peso úmido; P<sub>i</sub> = peso imerso

A Tabela 8 evidencia a porosidade aparente de cada membrana na sua respectiva temperatura de Sinterização.

Tabela 8. Porosidade Aparente

Temperatura de sinterização (°C)	Porosidade aparente
750	50
800	65
850	70,83

Observando os valores presentes na Tabela 8, verifica-se que a membrana sinterizada a 850°C apresentou uma porosidade superior à amostra sinterizada a 750 °C, e que a membrana sinterizada 800°C apresentou uma porosidade intermediária entre as temperaturas de sinterização. Acredita-se que a elevação da temperatura de sinterização provocou um aumento linear da porosidade.

#### 4. CONCLUSÕES

As membranas cerâmicas tubulares produzidas a partir da incorporação de resíduos de tijolos cerâmicos foram realizadas com sucesso para uma incorporação de 95% de resíduo. Os resultados de caracterização indicaram que a massa cerâmica pode ser utilizada como matéria-prima promissora para obtenção de membranas cerâmicas na escala de microfiltração. Foi constatada também a forte influência da temperatura de sinterização com os poros das membranas por meio das micrografias, que indicaram mudança na distribuição dos poros com o aumento desta temperatura de sinterização. Acredita-se ainda que a elevação da temperatura de sinterização provocou um aumento da porosidade.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UFCG/CNPQ pela concessão de bolsa de estudo PIBIC.

#### REFERÊNCIAS

A ONU E A POPULAÇÃO MUNDIAL. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/a-onu-em-acao/a-onu-em-acao/a-onu-e-a-populacao-mundial/>>. Acesso em 09 de fevereiro de 2014.

ANGULO, S. C.; TEXEIRA, C. E.; CASTRO, A. L.; NOGUEIRA, T. P. Resíduos de Construção e Demolição: Avaliação de Métodos de Quantificação. Revista Engenharia Sanitária e ambiental, v. 16, n. 3, pp. 299-306, 2011.

VIEIRA, A. A. P. Estudo do Aproveitamento de Resíduos de Cerâmica Vermelha como Substituição Pozolânica em Argamassas e Concretos. 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba.

DIAS, J. F. Avaliação de Resíduos da Fabricação de Telhas Cerâmicas Para seu Emprego em Camadas de Pavimento de Baixo Custo. 2004. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. Processos de Separação por Membranas. Rio de Janeiro: E-Papers Serviços Editoriais, 2006.

PAIVA, C. L. A. COSTA, A. C. F. M. VIEIRA, L. G. F. LIRA, H. L. LEITE, A. M. D. KIMINAMI, R. H.G.A. MAIA, D. F. Preparação de Membranas Cerâmicas de Zircônia Para Separação Óleo/Água. 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu-PR, Brasil, 2006.

SILVA, A. A.; ALEIXO, J. S.; SOUTO, K. M.; SILVA, A. A.; LIRA, H. L.; CARVALHO, L; H. Caracterização de Membranas Cerâmicas Preparadas em Laboratório Visando sua Utilização na Separação Óleo/Água. VII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IV Encontro Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, pág. 1338-1340, 2007.

RANDON, J. ; JULBE, A.; DAVID, P.; JAAFARI, K.; ELMALEH, S. Computer Simulation of Inorganic Membrane Morphology. Journal of Colloid and Interface Science, n. 161, pp. 384-388, 1993.

CAMPOS, L. F. A.; MACEDO, R. S.; KIYOHARA, P. K.; FERREIR, H. C. Características de Plasticidade de Argilas Para uso em Cerâmica Vermelha ou Estrutural. Cerâmica, vol.45, n.295, pp. 140-145, 1999.

CAPUTO, H. P. Mecânica dos Solos e suas Aplicações Fundamentais. Livros Técnicos, vol. 1, Rio de Janeiro, 1994.

SILVA, P. L. B. Obtenção e Caracterização de Cerâmica Vermelha Utilizando na Matéria-Prima de Resíduo Argiloso do Refino de Óleos Minerais. 2010. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

LIMA, R. C. O.; LIRA, H. L.; NEVES, G. A.; SILVA, M. C.; SILVA, C. D. Aproveitamento do Resíduo de Serragem de Granito para Fabricação de Membranas Cerâmicas de Baixo Custo. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, vol. 6, n. 3, pp. 163-169, 2011.

TORGAL, F. P; JALALI, S. Construção Sustentável o Caso dos Materiais de Construção. Congresso Construção - 3.º Congresso Nacional, Coimbra, Portugal Universidade de Coimbra, 2007.

JÚNIOR, G. R.. ESTUDOS SOBRE A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DO BENEFICIAMENTO DO ALUMÍNIO COMO MATÉRIA-PRIMA CERÂMICA. 2008. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará.

SILVESTRE, R.; MEDEL, E.; GARCÍA, A.; NAVAS, J. Using Ceramic Wastes from Tile Industry as a Partial Substitute of Natural Agregates in hot Mix Asphalt Binder Courses. Construction and Building Materials, vol. 45, pp.115–122, 2013.

SILVA, P. J. B. Obtenção e Caracterização de Cerâmica Vermelha Utilizando na Matéria-Prima Resíduo Argiloso do Refino de Óleos Minerais. Tese de Doutorado- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

Ozel, E.; Turan, S.; Çoruh, S.; Ergun, O. N. Production of Brown and Black Pigments by Using Flotation Waste from Copperslag. Waste Management and Research, vol. 24, n. 2, pp.125-133, 2006.

BENITO, J.M.; CONESA, A.; RUBIO, F.; RODRÍGUEZ, M.A. Preparation and Characterization of Tubular Ceramic Membranes for Treatment of oil Emulsions. *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 25, n. 4, pp. 1895–1903, 2005.

CHAVES, A. C.; LIRA, H. L.; NEVES, G. A.; SILVA, F. A.; LIMA, R. C. O.; FRANÇA, K. B. Obtenção e Caracterização de Membranas Cerâmicas Tubulares a Partir de Massas Incorporadas com Argila, Caulim e Quartzo. *Cerâmica*, vol. 59, n. 349, pp. 192-197, 2013.

PINHEIRO, J.N.F.; HOLANDA, B.C.A. Processing of Red Ceramics Incorporated with Encapsulated Petroleum Waste. *Journal of Materials Processing Technology*, v.209, pp.5606–5610, 2009.

SILVA, F. A.; LIRA H. L. Preparação e Caracterização de Membranas Cerâmicas de Cordierita. *Cerâmica*, v.52, n. 324, pp. 276-282, 2006.