

## Influência de Aditivos e da Temperatura da Água na Plasticidade de uma Formulação para Fabricação de Cerâmica Vermelha

Alexandre Zaccaron<sup>a\*</sup>, Vítor de Souza Nandi<sup>b,c,d</sup>, Fabrício Frasson<sup>b</sup>, Renato Dagostim Pasini<sup>e,f</sup>, Paulo Fernandes<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Engenharia Ambiental, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, SC, Brasil

<sup>b</sup> Tecnologia em Cerâmica e Vidro, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, SC, Brasil

<sup>c</sup> Engenharia Cerâmica, Centro Universitário Barriga Verde – UNIBAVE, Cocal do Sul, SC, Brasil

<sup>d</sup> Programa de Pós-graduação em Ciências e Engenharia de Materiais – PPGCEM, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC, Brasil

<sup>e</sup> Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, SC, Brasil

<sup>f</sup> Tecnologia em Cerâmica, Colégio Maximiliano Gaidzinski – CMG, Cocal do Sul, SC, Brasil

\*e-mail: alexandrezaccaron@hotmail.com

### Resumo

Neste trabalho foi estudada a influência de aditivos e da temperatura da água na plasticidade de uma formulação para fabricação de cerâmica vermelha. Foram testados: areia de fundição, água quente e tensoativo com determinados percentuais para verificar as mudanças nas propriedades tecnológicas das composições aditivadas em relação à massa padrão como alternativas de se obter a redução da quantidade de umidade numa massa cerâmica. Foram separadas determinadas quantidades da massa padrão para realização de cada composição, onde foram adicionados os aditivos com diferentes percentuais. Diante da metodologia aplicada foram avaliados os comportamentos causados por cada tipo de aditivo no ensaio de plasticidade, e perante os melhores resultados foram realizados corpos de prova para avaliar o comportamento de secagem. Em uma etapa posterior os corpos de prova foram queimados e avaliados em seu comportamento de retração, perda ao fogo e absorção d'água. Os aditivos utilizados nas composições apresentaram uma redução significativa na retração de secagem quando comparados à massa padrão.

**Palavras-chave:** índice de plasticidade, aditivos, tensoativo, comportamento de secagem.

### 1. Introdução

Para a permanência de uma indústria no mercado de cerâmica vermelha, esta necessita ter processos eficientes, para produzir com menor custo e redução do consumo de bens naturais. Esses processos podem ser constituídos atendendo várias ações, que somadas, tornarão a fabricação de determinado produto viável. Também pode ocorrer apenas uma ação, que implicará no benefício de várias etapas do processo produtivo<sup>1</sup>.

No Brasil, o setor de cerâmica vermelha é composto de 6.903 empresas, das quais 90% são classificadas como micro ou pequena empresa<sup>2</sup>. O faturamento anual gira em torno de 18 bilhões de reais, gerando 293 mil postos de trabalho diretos, somando-se outros 900 mil indiretos, representando 4,8% do macro setor da construção civil brasileira.

No setor de cerâmica vermelha, um dos maiores problemas está relacionado à etapa de secagem do material cerâmico, uma vez que este necessita de grandes quantidades de água para a conformação e, então, na secagem se tem um alto consumo de energia para evaporar a água do produto e, em muitos casos, o surgimento de trincas<sup>3,4</sup>. Outro problema que ocorre na secagem são as variações de umidade de um produto em relação à sua espessura chamado de gradiente de umidade é que ocorre da seguinte forma que quanto mais próximo da superfície

menor é a quantidade de umidade em relação ao centro do material e vice-versa. Desta forma a água contida no centro tem mais dificuldade para sair ou para ser expulsa do material, onde ocorrem a formação de trincas devido à tensões criadas por causa da diferença de tração. Em relação às perdas térmicas ocorrem muitas perdas pela chaminé, por convecção nas paredes dos secadores, no aquecimento dos suportes e toda a estrutura interna dos secadores e pela absorção de calor do material cerâmico<sup>5</sup>.

A solução mais eficaz para este problema é reduzir a quantidade de água de conformação, a fim de reduzir os custos energéticos bem como as trincas que podem ser provocadas durante a secagem do material. Nesse contexto, em alguns estudo otimizou-se o processo de secagem com a adição de material menos plástico como os resíduos industriais, pois a adição de materiais não plásticos às argilas reduz a interação com a água, ou seja, entre as partículas, causando pontos de descontinuidade nas forças de coesão, originando poros e facilitando a saída de água<sup>6</sup>. Baseado nessa teoria utilizou-se como um dos aditivos do trabalho a areia de fundição para reduzir a plasticidade e melhorar o comportamento de secagem. Foi considerada a utilização dos resíduos gerados nos processos de fabricação dos mais variados segmentos industriais como uma forma de se obter um desenvolvimento

sustentável, reduzindo-se com isso os danos causados por estes resíduos lançados na natureza. A indústria de cerâmica vermelha é um ramo em que se tem um maior índice de aceitação de resíduos em relação a outros tipos de cerâmica<sup>7</sup>. A indústria de cerâmica vermelha produz elementos cerâmicos estruturais, amplamente utilizados na construção civil, tais como: blocos, telhas, elementos vazados, tubos, e outros.

Neste trabalho utilizou-se resíduos provenientes do processo de fundição de metais. O processo de fundição consiste basicamente em alimentar a cavidade de um molde com o formato requerido com metal líquido, seguindo-se de um resfriamento, a fim de produzir um objeto sólido resultante de solidificação dos metais<sup>8</sup>. No caso da moldagem em areia, constrói-se um molde para cada peça a ser fundida e posteriormente ele é rompido para remover o fundido, ou seja, para desmoldá-lo e obter a peça desejada. O resíduo gerado deste segmento industrial é chamado de areia de fundição (ADF).

As indústrias de fundição de metais são conhecidas como muito poluidoras do meio ambiente pelo fato de ao longo dos anos terem despejado seus resíduos de areia de fundição na natureza sem os devidos cuidados e emitirem poluentes na atmosfera através dos seus fornos de fusão<sup>9</sup>. Os resíduos de areia de fundição são compostos constituídos por um agregado fino, mineralogicamente puro, denominado “areia-base” com granulometria que varia de 0,05 mm a 2 mm em seu diâmetro, sendo os tipos mais usados na indústria de fundição a areia de sílica ( $\text{SiO}_2$ ), de olivina ( $(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$ ), de zirconita ( $\text{ZrSiO}_4$ ) e de cromita ( $\text{FeCr}_2\text{O}_5$  ou  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ). A areia de fundição mais comumente usada ao longo dos anos tem sido a areia de sílica por tratar-se do mais abundante, pois o silício é o elemento mais abundante da crosta terrestre e mais facilmente extraído dos minerais da face da terra. É importante destacar que, há uma diferença entre os resíduos de areia de moldagem e macharia (peças fabricadas separadamente que servem para facilitar a modulação ou ainda para definir uma cavidade na peça fundida), já que as areias de moldagem são compostas por areia, bentonita e pó de carvão, e não apresentam potencial de lixiviação de constituintes perigosos ou tóxicos. Entretanto para as areias de macharia, compostas por ligantes a base de resinas fenólicas possuem toxicidade, podendo sua disposição inadequada afetar o solo e as águas, dependendo da quantidade envolvida e lixiviada<sup>8,10</sup>.

Outro tema avaliado nesse trabalho está relacionado à tensão superficial dos líquidos (no caso da cerâmica vermelha está relacionado à água utilizada para fazer a conformação), que é resultado do desequilíbrio entre as forças agindo sobre as moléculas da superfície em relação àquelas que se encontram no interior de uma solução. As moléculas localizadas na interface líquido-ar realizam um número menor de interações intermoleculares em relação às moléculas que se encontram no interior do líquido. A força resultante que atrai as moléculas da superfície de um líquido para o seu interior torna-se o principal obstáculo para a formação de bolhas, gotas e a nucleação de cristais em líquidos, diminuindo a área superficial ocupada pelo líquido e, a esta força que atua na superfície dos líquidos dá-se o nome de tensão superficial<sup>11</sup>.

A tensão superficial é tipicamente medida em dinas/cm ( $1 \text{ dyn} = 1,0 \times 10^{-5} \text{ N}$ ). Água a 20 °C tem uma tensão superficial de 72 dinas/cm; isto significa que precisaria de uma força de 72 dinas para romper um filme superficial de água de 1 cm de comprimento<sup>12</sup>. Porém, com o aumento da temperatura da água, diminui significativamente sua tensão superficial, ou seja, necessitaria de menos dinas para romper um filme superficial de água de 1 cm<sup>13</sup>.

Estudos realizados, que a tensão superficial da água em 0 °C apresentou 75,64 dinas/cm; a 25 °C foi de 71,97 dinas/cm; a 50 °C foi de 67,91 dinas/cm e a 100 °C foi de 58,85 dinas/cm, evidenciando claramente a variação da tensão superficial com o aumento de temperatura<sup>14</sup>.

Outro meio de diminuir a tensão superficial dos líquidos se dá através da utilização de surfactantes (tensoativos), que são substâncias que afetam as propriedades de superfície dos líquidos, proporcionando ajustamento mais íntimo entre a água e uma partícula sólida, por exemplo, através de maior espalhamento de uma gota<sup>15</sup>.

O processo de secagem na cerâmica vermelha é uma etapa muito delicada devido a muitos problemas que ocorrem nesta fase, principalmente em função da necessidade de uma grande quantidade de umidade para conseguir o índice de plasticidade das argilas para sua conformação, o presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo para verificar medidas que podem ser tomadas para diminuir a quantidade de água adicionada na massa a fim de reduzir o tempo de secagem, os custos envolvidos com energia térmica e proporcionar ao setor um estudo técnico que leve informação para ajudar em seu crescimento.

## 2. Material e Métodos

Todo o trabalho foi realizado nas dependências do Iparque, que é um parque tecnológico e científico pertencente à Unesc, localizado no Bairro Sangão em Criciúma, SC, Brasil. O laboratório utilizado para o desenvolvimento do trabalho foi o laboratório do Grupo de Materiais Cerâmicos (GMC). As matérias-primas utilizadas no trabalho foram cedidas pela empresa Cerâmica Cegaza, localizada no bairro Esplanada em Içara, SC, Brasil, a qual forneceu a massa cerâmica pronta, e a Fundação Monferrato, localizada em Morro da Fumaça, SC, Brasil, na qual forneceu a areia de fundição (ADF), que, com a finalidade de avaliar a periculosidade desse resíduo com base na NBR 10004:2004<sup>16</sup>, foram realizados ensaios de, corrosividade, toxicidade – lixiviação, onde certas substâncias contidas no resíduo industrial foram separadas por meio de lavagem ou percolação (NBR 10005:2004)<sup>17</sup>. A reatividade e o ensaio de solubilização para determinação da classe do resíduo (NBR 10006:2004)<sup>18</sup> também foi realizado. A amostragem do resíduo foi feita a partir de uma quantidade representativa, conforme os requisitos estabelecidos pela norma NBR 10007:2004<sup>19</sup> da ABNT.

Os outros aditivos como tensoativo e água aquecida foram adquiridos no próprio laboratório. Em seguida, as matérias-primas passaram pelo processo de quartamento e foram reduzidas a quantidades necessárias para realização do trabalho. Foram separadas amostras de 100 g e de 200 g da massa cerâmica úmida e pesada em

uma balança (Shimadzu, modelo BL 3200H), para depois secar em estufa (Odontobrás, modelo EL – 1.1 465 W) a  $110 \pm 5$  °C. A Tabela 1 representa o percentual de cada matéria prima para obtenção da massa padrão, segundo informações fornecidas pela empresa Cegaza, na qual é basicamente formada por argila de várzea (material com maior plasticidade), argila de morro (material com menor plasticidade) e Taguá (material rochoso).

A amostra de 100 g foi seca para determinação da umidade e, a de 200 g foi seca para determinação do resíduo. Para fazer a determinação do resíduo bruto foram pesados apenas 100 g de amostra seca e, posteriormente adicionou-a em uma solução de silicato de sódio e água para defloculação do material. Após 24h a amostra foi peneirada em peneira de malha #65, #100, #150, #200 e #325 MESH. Também foram secas na estufa 200 g de areia de fundição (ADF) para o teste de resíduo bruto. Após a ADF estar seca, foram coletados também 100 g e foi determinado a granulometria nas mesmas malhas utilizadas para a argila que foram de 65, 100, 150, 200, 325 mesh. Para a determinação da umidade da massa cerâmica, foi utilizada a Equação 1.

$$\%U = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

%U = Umidade da amostra (%);

P<sub>i</sub> = Massa inicial (g);

P<sub>f</sub> = Massa final após secagem da amostra (g).

**Tabela 1.** Composições para massa padrão.

Matérias-primas	%
Argila de várzea	30
Argila de morro	60
Taguá	10
<b>Total</b>	<b>100</b>

Para o teste de resíduo, tanto para a massa quanto para a ADF, foi utilizada a Equação 2.

$$\%Res. = \frac{Pr}{Pa} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

%Res. = Resíduo bruto (%);

Pr = Massa do resíduo retido em peneira após secagem (g);

Pa = Massa da amostra inicial (g).

Foi separada também uma determinada quantidade da massa cerâmica e, colocada para secar em estufa (Inova) a  $100 \pm 5$  °C, para depois obter as composições com os devidos percentuais de umidade para a composição padrão e, de aditivos para as composições aditivadas, sendo que os aditivos utilizados foram: ADF, água aquecida e tensoativo. Após a secagem em estufa a massa cerâmica foi desagregada em moinho gira jarros e, depois passada em malha 80 mesh para deixar o material homogêneo.

Após isso foram preparadas as composições padrão e as composições aditivadas para a realização do teste de plasticidade, totalizando 260 amostras, conforme Tabela 2.

Para a avaliação da plasticidade, foi utilizado um plasticímetro (marca, modelo: não possui) para se determinar o índice de plasticidade por meio da indentação. O funcionamento deste equipamento baseia-se na medição da força de penetração de um indetador em formato cônico a uma velocidade constante. O porta-amostra, onde a massa argilosa irá permanecer durante o ensaio tem diâmetro e altura de 50 mm, o cone de indentação com 15 mm de altura com conicidade de 30°, a célula de carga de 100 N com tolerância de  $\pm 0,01$  N e uma velocidade de penetração de 10 mm/min. O índice de plasticidade por este método é determinado a partir da diferença entre o limite líquido e o limite plástico, ou seja, encontrado na inflexão da curva apresentada em um gráfico.

Após o ensaio de plasticidade, determinou-se o percentual ideal de umidade a ser utilizada nas

**Tabela 2.** Composições para teste de plasticidade.

Composições	% Umidade utilizada				Total
	22	27	32	37	
	° Repetições do teste				
<b>STD</b>	5	5	5	5	20
<b>% ADF</b>	1	5	5	5	80
	3	5	5	5	
	5	5	5	5	
	10	5	5	5	
<b>Temperaturas da água (°C)</b>	60	5	5	5	80
	70	5	5	5	
	80	5	5	5	
	90	5	5	5	
<b>% Tensoativo</b>	0,5	5	5	5	80
	1	5	5	5	
	3	5	5	5	
	5	5	5	5	

composições, as mesmas foram formuladas, sendo que foram preparadas 1 composição padrão e 3 composições aditivadas.

Após a conformação das peças, por extrusão, as mesmas foram submetidas ao processo de secagem ao ar livre em laboratório por um tempo de 24 h. Foram anotadas suas respectivas massas e suas medidas para a determinação da retração linear de secagem ao ar livre e, colocadas para secar em estufa a  $90 \pm 5$  °C. Após esta etapa, foram anotadas as massas e medidas para a determinação da retração linear de secagem em estufa, utilizando a Equação 3.

$$\%RLS = \frac{Li - Lf}{Li} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

%RLS= Retração de Secagem (%);

Li = Comprimento inicial (mm);

Lf = Comprimento final (mm).

Depois da secagem as peças foram submetidas à queima. A queima ocorreu em forno mufla (Jung, modelo LF 0913 – 3,2 KW 14,5 A) com tempo de queima de 11 h e taxa de aquecimento de 1,67 °C/min, com temperatura final de 920 °C e com patamar de queima de 2 h. Após completar o ciclo de queima, foram determinadas a retração linear de queima, perda ao fogo e absorção de água. A retração linear de queima foi encontrada utilizando a Equação 4.

$$\%RLQ = \frac{Li - Lf}{Li} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

%RLQ= Retração de queima (%);

Li = Comprimento inicial (mm);

Lf = Comprimento final (mm).

O percentual de perda ao fogo foi determinado pela Equação 5.

$$\%PF = \frac{Pi - Pf}{Pi} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

%PF= Perda ao fogo (%);

Pi = Massa inicial (g);

Pf= Massa final após queima da amostra (g).

A absorção de água foi calculada utilizando-se a Equação 6.

$$\%AA = \frac{Pu - Ps}{Ps} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

AA= Absorção de água (%);

Pu= Massa úmida (g);

Ps= Massa seca (g).

### 3. Resultados e Discussões

A análise de caracterização e classificação do resíduo foi efetuada segundo a NBR 10004:2004<sup>16</sup>. Primeiramente realizou-se ensaio na massa bruta, para observar a corrosividade e reatividade. Com pH de 6,6 o resíduo é caracterizado como não corrosivo, pois não ultrapassa o limite estabelecido pela referida norma técnica, especificamente na letra “a” do item “4.2.1.2 Corrosividade - que recomenda estar entre 2 a 12,4”. O resíduo ensaiado é caracterizado como não reativo, pois não apresenta em sua constituição íons cianeto (CN-) e sulfeto (S2-) em concentrações que ultrapassem os limites estabelecidos pela norma ABNT NBR 10004:2004<sup>16</sup>, letra “e” do item 4.2.1.3 Reatividade. Portanto, classificando o resíduo como não perigoso neste ensaio. Em um segundo momento foi realizado teste de toxicidade, com ensaios de lixiviação e solubilização, cujos resultados podem ser observados nas Tabelas 3 e 4.

No ensaio de lixiviação (Tabela 3), os parâmetros analisados no extrato obtido segundo a NBR 10005:2004<sup>17</sup>, não apresentaram concentrações acima dos limites máximos permitidos conforme item “4.2.1.4 toxicidade”, letra “a”, “anexo F” da NBR 10004:2004<sup>16</sup>, caracterizando o resíduo como não tóxico, sendo classificado como não perigoso neste ensaio. No ensaio de solubilização (Tabela 4), dos parâmetros analisados no extrato obtido segundo a NBR 10006:2004<sup>18</sup>, fenóis totais e fluoreto apresentaram concentrações superiores ao padrão para este ensaio, anexo “G” da NBR 10004:2004<sup>16</sup>, caracterizando como não inerte neste ensaio e classificando como resíduo não perigoso, ou seja, Classe II A - Não Inerte.

Os ensaios de determinação de resíduo para a massa cerâmica e para a areia de fundição são mostrados na Tabela 5. Resíduo é a porção de material que não pode ser desagregado sem o auxílio de alguma ferramenta ou outro artifício de moagem e é geralmente constituído por material com dureza maior. Pela tabela pode-se dizer que houve maior quantidade de material retido nas malhas de maior abertura indicando a presença de quartzo para a ADF não precisa por em comparação com a massa cerâmica que possui quantidades de partículas extremamente finas, pois a maior quantidade do resíduo da massa cerâmica foi passante na malha #325 mesh.

A Tabela 6 apresenta os resultados do ensaio da determinação do teor de umidade das matérias-primas (ADF e massa cerâmica), este valor é comumente encontrado nos materiais para a produção de uma massa de cerâmica vermelha. Podendo variar de acordo com os tipos de argilas e suas características.

No ensaio de plasticidade da formulação padrão, é possível constatar que o aumento do teor de umidade faz com que ocorra a diminuição da força exercida pelo punção do plasticímetro pelo método de indentação, dificultando a formação de um corpo sólido. Pode-se identificar este de fenômeno através da curva apresentada na Figura 1, onde a força necessária para a penetração do punção diminuiu com o aumento de umidade, por causa da redução do caráter plástico da massa devido ao maior teor de líquido presente.

**Tabela 3.** Resultados do ensaio de Lixiviação inorgânicos.

Parâmetros	Resultados (mg/L)	Limite máximo no lixiviado (mg/L)	Limite de quantificação
Arsênio	< 0,001	1,0	0,001*
Bário	0,2	70,0	0,1
Cádmio	< 0,01	0,5	0,01
Chumbo	< 0,05	1,0	0,05
Cromo Total	< 0,02	5,0	0,02
Fluoreto	0,2	150,0	0,100
Mercúrio	< 0,001	0,1	0,001**
Prata	< 0,01	5,0	0,01
Selênio	< 0,001	1,0	0,001*
Dados do ensaio de lixiviação			
Sólidos Secos (%)			99,93
Solução Extratora N°			1
pH do extrato lixiviado (inicial)			7,1
pH do extrato lixiviado (final)			4,9
Tempo de Lixiviação (horas)			18
Volume Lixiviado (mL)			600

Os metais foram analisados por Espectrofotometria de Absorção Atômica: Chama, \* Forno de Grafite e \*\* Vapor a Frio.

**Tabela 4.** Resultados do ensaio de solubilização.

Parâmetros	Resultados (mg/L)	Limite máximo no extrato (mg/L)	Limite de quantificação
Alumínio	< 0,1	0,2	0,1
Arsênio	< 0,001	0,01	0,001*
Bário	< 0,1	0,7	0,1
Cádmio	< 0,0001	0,005	0,0001*
Chumbo	< 0,001	0,01	0,001*
Cianeto	NA	0,07	0,05
Cloreto	< 0,1	250	0,1
Cobre	< 0,01	2	0,01
Cromo Total	< 0,02	0,05	0,02
Fenóis Totais	0,11	0,01	0,01
Ferro	0,03	0,3	0,02
Fluoreto	1,6	1,5	0,1
Manganês	0,05	0,1	0,01
Mercúrio	< 0,001	0,001	0,001**
Nitrato (expresso em N)	< 0,1	10	0,1
Prata	< 0,01	0,05	0,01
Selênio	< 0,001	0,01	0,001*
Sódio	4,82	200,0	0,01
Sulfato (expresso em SO <sub>4</sub> )	< 10	250	10
Surfactantes	0,1	0,5	0,1
Zinco	< 0,01	5	0,01
Dados do ensaio de lixiviação			
Umidade a 42°C (%)			0,06
pH inicial			6,7
pH do extrato solubilizado (final)			6,7

NA = não analisado (baseado na origem, processo, insumos e segregação do resíduo). Os metais foram analisados por Espectrofotometria de Absorção Atômica: Chama, \* Forno de Grafite e \*\* Vapor a Frio.

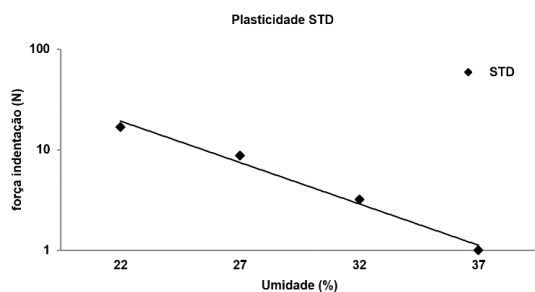
No teste de plasticidade com adição de ADF, verifica-se que o aumento de seu teor na massa cerâmica, diminui a plasticidade do material, diminuindo a força exercida pelo equipamento durante o teste de plasticidade. Isso ocorre devido às partículas de areia de fundição adicionadas na massa atuarem como facilitadoras da trabalhabilidade, por ser um material mais grosseiro e com praticamente nenhuma plasticidade. Com este fator, pode-se reduzir a

**Tabela 5.** Percentual de resíduo bruto da massa cerâmica e ADF retidos em peneiras.

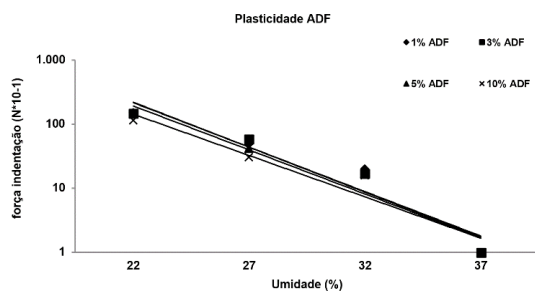
MP	% Retido em peso				
	# 65	# 100	# 150	# 200	# 325
Argila	10	3	2	4	7
ADF	44	30	3	7	6

**Tabela 6.** Percentual de umidade das matérias-primas.

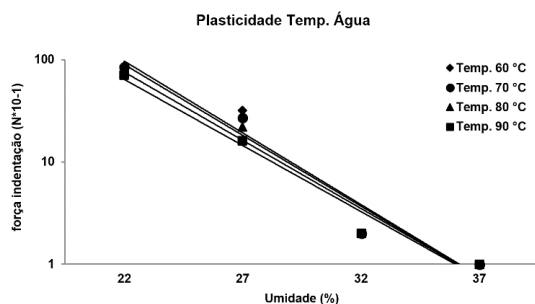
% Umidade	
Massa cerâmica	20,24
ADF	2,00



**Figura 1.** Força de indentação versus quantidade de umidade.



**Figura 2.** Força de indentação em relação à quantidade de resíduo de ADF e aumento de umidade.



**Figura 3.** Força de indentação em relação ao aumento da temperatura da água e aumento de umidade.

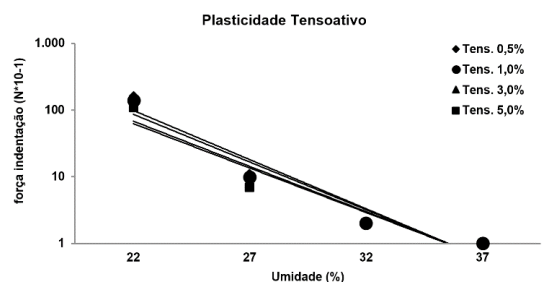
quantidade de umidade numa massa de cerâmica vermelha, já que este ramo da indústria cerâmica tem um maior índice de aceitação de resíduos.

A Figura 2 apresenta o efeito da adição de resíduo e do teor de umidade sobre a plasticidade.

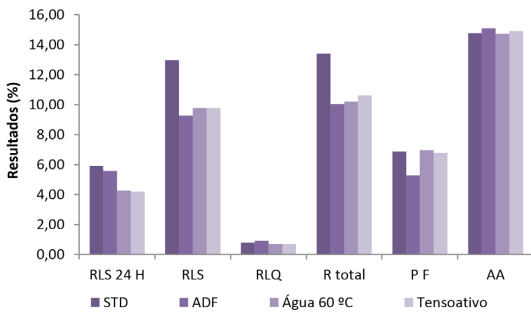
A Figura 3 apresenta o resultado do índice de plasticidade com água quente. É possível observar uma diminuição considerável da força de indentação em relação ao padrão, onde na mesma quantidade de umidade de 22% a força necessária de penetração foi de aproximadamente 0,8 kgf. Isso porque a tensão superficial da água na temperatura de 60 °C, já é bastante reduzida. Para o comportamento no processo de fabricação de blocos, a temperatura de 60 °C seria a mais indicada, já que para esta temperatura, apenas a água da bomba de vácuo da extrusora poderia ser reaproveitada para umidificar a massa cerâmica. Foi utilizado o mesmo percentual de umidade que a massa aditivada com tensoativo, mesmo que no teste de plasticidade a força de indentação tenha sido a menor força realizada. A explicação para isso é que se deve ao fato das condições de secagem da massa, em que determinadas quantidades foram secas numa temperatura diferente da outra, interferindo nas características finais da massa após secagem. Então foi necessário adicionar umidade até conseguir se obter a plasticidade da massa.

A adição de tensoativo, também auxilia na diminuição da quantidade de umidade adicionada na massa, fazendo com que haja uma diminuição da tensão superficial da água, de forma similar à técnica de aquecimento da água. A adição de tensoativo em um líquido, neste caso a água que foi utilizada para o processo de conformação, afeta as propriedades de superfície dos líquidos. Desta maneira também propiciando um melhor molhamento de uma partícula de sólido por uma determinada gota de água, observado na Figura 4. Desta forma, também pode-se reduzir a quantidade de umidade a ser utilizada em uma determinada massa cerâmica. Para fazer a formulação cerâmica, foi utilizado 1% de tensoativo em massa de água, porque pelo resultado do teste de plasticidade apresentou um ganho maior em relação ao STD do que 0,5%. O teor de 0,5% apresentou diferença muito baixa e, portanto não é viável a sua utilização.

A Figura 5 apresenta de uma forma resumida o comportamento dos testes realizados para o ensaio de retração, tanto de secagem quanto de queima e total,



**Figura 4.** Força de indentação em função da quantidade de tensoativo e aumento de umidade.



**Figura 5.** Resultados dos comportamentos dos ensaios realizados com as melhores condições de aditivos; RLS 24 H – Retração linear ao ar livre; RLS – Retração linear a seco; RLQ – Retração linear de queima; R total – Retração total; Perda F – Perda do fogo; ABS – Absorção d’água.

perda ao fogo e absorção d’água. Os resultados não apresentaram diferenças significativas comparadas ao padrão, ou seja, os aditivos utilizados não interferiram nos resultados finais do produto. Apenas tiveram uma redução na retração em temperatura ambiente por 24 h e na retração de secagem. Na somatória da retração total, todos os testes tiveram uma retração menor comparadas com o padrão. Ponto este favorável para a produção de cerâmica vermelha.

#### 4. Considerações Finais

Pelos resultados obtidos após o término do trabalho, pode-se afirmar que em relação à adição dos aditivos na massa de cerâmica vermelha, em comparação com a massa padrão utilizada nos processos industriais, as massas com aditivos apresentaram a redução da retração linear de secagem, melhorando desta forma as condições de secagem. A adição de resíduo de ADF propiciou principalmente a redução da retração de secagem por ser este um material de granulometria maior que a das argilas, funcionando como estabilizante durante a secagem e, também pela diminuição da quantidade de umidade na massa utilizada para a conformação. A água aquecida e adição de tensoativo na água reduzem a tensão superficial da água, facilitando o molhamento das partículas de argila com menor quantidade de umidade, reduzindo também a retração de secagem dos corpos de prova das massas com estes aditivos. A adição dos aditivos fez com que se reduzisse o teor de umidade na massa cerâmica e, também houve redução da plasticidade comparando com um mesmo teor de umidade utilizado na massa padrão. Com todos estes pontos positivos observados, a incorporação destes aditivos em massas cerâmicas, é viável na indústria, pois além de melhorar as condições de secagem otimizando o processo industrial, também contribui na redução de impactos ambientais causados pelo processo de fabricação, reduzindo a utilização de novos recursos naturais com a utilização de resíduos de outros processos industriais, evitando a sua deposição na natureza e reduzindo custos com energia térmica e tempo no processo de secagem por causa da menor

quantidade de água que precisa ser evaporada do corpo cerâmico nesta etapa. Na indústria de cerâmica vermelha a aplicação destes aditivos pode ser um ponto positivo para a economia e o seu desenvolvimento e, este setor vender seus produtos por um preço menor, fazendo frente à concorrência e obtendo destaque no mercado.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e a CAPES e a todas as empresas que colaboraram direta ou indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho.

#### Referências

- VIEIRA, C. M. F., SOARES, T. M., MONTEIRO, S. N. Utilização de granito em massa cerâmica para telhas. *Cerâmica Industrial*, v. 9, n. 1, p. 28-31, 2004.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA – ANICER. **Dados da cerâmica vermelha, 2014**. Rio de Janeiro: ANICER, 2014. Disponível em: <<http://www.anicer.com.br/index.asp?pg=institucional.asp&secao=1&categoria=1&selMenu=1>>. Acesso em 20 fev. 2015. dia mês ano.
- FACINCANI, E. **Tecnologia cerâmica i laterizi**. 2. ed. Faenza: Faenza Ed., 1992. 267 p.
- CALLISTER JUNIOR, W. D. **Ciência e engenharia de materiais uma introdução**. 7. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2008.
- FACINCANI, E. **Cerâmica estrutural: coletânea de tecnologia cerâmica**. São Paulo: Faenza Editrice, 2002. 276 p.
- PRACIDELLI, S., MELCHIADES, F. G. Importância da composição granulométrica de massas para a cerâmica vermelha. *Cerâmica Industrial*, v. 2, n. 1-2, p. 31-35, 1997.
- BALATON, V. T., GONÇALVES, P. S., FERRER, L. M. Incorporação de resíduos sólidos galvânicos em massas de cerâmica vermelha. *Cerâmica Industrial*, v. 7, n. 6, p. 42-45, 2002.
- FRASSON, B. B., MANTAS, P. Q. Estudo da Viabilidade de utilização da areia de fundição em massa de cerâmica vermelha. *Revista Técnico-Científica*, v. 3, n. 1, p. 688-698, 2012.
- SCHEUNEMANN, R. Regeneração de areia de fundição, através de tratamento químico via processo fenton. 2005. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- KLINSKY, L. M. G., FABBRI, G. T. P. **Proposta de reaproveitamento de areia de fundição em sub-bases e bases de pavimentos flexíveis, através de sua incorporação a solos lateríticos argilosos**. São Carlos: USP, 2008.
- BEHRING, J. L. et al. Adaptação no método do peso da gota para determinação da tensão superficial: um método simplificado para a quantificação da CMC de surfactantes no ensino da química. *Química Nova*, v. 27, n. 3, p. 492-495, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422004000300021>.
- UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE – UFF. **Fenômenos de superfície**. Disponível em: <<http://www.uff.br/fisicoquimica/docentes/cambraia/didatico/FisquiV%20listaTS207.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2015.
- BARROS, C. M. **Estudos avançados, equações extraordinárias, a tensão superficial da água é revelação**

- brasileira**. Disponível em: <[www.youtube.com/watch?v=S-nRjSU7NYo](http://www.youtube.com/watch?v=S-nRjSU7NYo)>. Acesso em: 20 fev. 2015.
14. OLIVEIRA, M. M. C.; BARBOSA F. J. The antropic bioenergetic influence on the water superficial tension. applications on organics ecosystems. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNACIONAL SCIENTIFIC CONGRESS “SCIENCE, INFORMATION AND SPIRIT’99, 1999, Saint-Petersburg. **Proceedings...** Saint-Petersburg: Saint-Petersburg’s Electrotechnical University, 1999. p. 61-63. v. 2.
  15. VARGAS, L., ROMAN, E. S. **Conceitos e aplicações dos adjuvantes**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 10 p. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 56). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p\\_do56.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do56.htm)>. Acesso em: 20 fev. 2015.
  16. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004/2004**: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.
  17. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10005/2004**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos: Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 16 p.
  18. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10006/2004**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos: Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 3 p.
  19. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10007/2004**: amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 21 p.