

**ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE CINZA PROVENIENTE DA QUEIMA DE LENHA DE EUCALIPTO NA FORMULAÇÃO DE MASSA DE UMA INDÚSTRIA CERÂMICA ESTRUTURAL DO SUL - CATARINENSE.**

*STUDY OF INCORPORATION OF ASH FROM THE BURNING OF EUCALYPTUS WOOD IN THE MASS FORMULATION OF A STRUCTURAL CERAMICS INDUSTRY FROM SOUTHERN SANTA CATARINA STATE.*

Michael Peterson<sup>1</sup>

Vitor de Souza Nandji<sup>2</sup>

Alexandre Zaccaron<sup>3</sup>

Silvia Izaura Pereira<sup>4</sup>

Paulo Fernandes<sup>5</sup>

**RESUMO:** O presente estudo propõe avaliar a possibilidade da adição da cinza proveniente da queima da lenha de eucalipto em uma formulação típica de cerâmica estrutural, cujo objetivo visa caracterizar a cinza e as matérias-primas padrão para posterior adição no processo de produção, criando uma alternativa de matéria-prima de uso cerâmico, uma chance de transformar problemas ambientais em oportunidades tecnológicas e econômicas. A cinza pode atuar como um fundente e também contribuir para melhorar as propriedades de queima por meio da redução da porosidade pela formação de fase líquida. Foram realizados ensaios de espectrometria de fluorescência de raios-x para a caracterização das possíveis fases presentes, também foi analisada por balanço de massa a quantidade de cinza gerada no processo de queima em cada ciclo, após caracterização química da cinza e matéria-prima ocorreu à etapa de estudo da adição de cinza nas matérias-primas padrão do processo produtivo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cerâmica estrutural. Lenha. Cinza. Caracterização.

**ABSTRACT:** *This study aims to evaluate the possibility of adding ash from the burning of eucalyptus firewood in a typical formulation of structural ceramics, whose goal is to characterize the ash and the pattern raw materials for later addition in the production process, creating a new alternative of ceramic use, a chance to turn environmental problems into technological and economic opportunities. The ash can act as a flux, and can also help improving the burning properties by reducing the porosity by the formation of liquid phase. It was performed assays of fluorescence spectrometry x-rays to characterize the possible present phases, it was also analyzed by mass balance the amount of ash generated in the combustion process in each cycle, after chemical characterization of gray and raw material occurred at study step of adding ash into the standard raw materials in the production process.*

**KEYWORDS:** *Structural ceramics. Firewood. Ash. Characterization.*

1 Doutor em Química (UFSC). E-mail: michael@unesc.net

2 Mestre em Ciências e Engenharia de Materiais (UFSC). E-mail: vitorsnprof@gmail.com

3 Graduado Engenheiro Ambiental (UNESC). E-mail: alexandrezaaccaron@hotmail.com

4 Graduada Tecnóloga em Cerâmica (UNESC). E-mail: silviaipereira@gmail.com

5 Graduado Engenheiro Cerâmico (UNIBAVE). E-mail: fernandes.paulo@ua.pt

---

## 1 INTRODUÇÃO

---

O município de Sangão, localizado no sul catarinense, vem se destacando como um dos maiores produtores de telhas e tijolos cerâmicos da região sul de Santa Catarina, apresentando, assim, uma forte introdução na economia regional. O setor cerâmico iniciou suas atividades em pequena propriedade e, hoje, as indústrias desse segmento são constituídas por grandes, médias e de pequeno porte e são consideradas o alicerce da economia municipal.

Farias (2008) descreve que a história de Sangão inicia-se no século XIX, quando o pequeno povoado se formou, em decorrência da vinda dos primeiros colonizadores descendentes de açorianos para a região que se conhece hoje como Jaguaruna, no qual Sangão fez parte como Distrito durante 54 anos, se desligando apenas em 1992 quando se tornou município.

Com o passar dos anos, a região foi se desenvolvendo devido ao crescimento do setor, e por se tratar de atividades que depende de alternativa energética apresenta um grande potencial de poluição do ar (CONSEMA 001/2006).

Segundo Cordova (2007), a região do Morro da Fumaça foi considerada o maior índice de poluição atmosférica do estado, com essa situação levou o Ministério Público estadual e as demais entidades a afirmar o Termo de Ajuste de Conduta - TAC, no dia 17 de junho de 2007, com o propósito de regularização no órgão de controle ambiental, Fundação do Meio Ambiente – FATMA e Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, em conformidade com a legislação vigente.

Desde então, o setor cerâmico tem se empenhado a atender à exigência do TAC, a fim de obter a devida licença ambiental.

A proposta deste estudo visa adicionar as cinzas geradas pela queima do produto, na preparação da massa, objetivando diminuir o impacto ambiental, além de ser criada uma alternativa de matéria-prima de uso cerâmico uma oportunidade de transformar problemas ambientais em oportunidades tecnológicas e econômicas.

O uso de resíduos industriais incorporados às massas argilosas como matéria-prima alternativa, quando realizada com sucesso pode melhorar a qualidade do produto final e contribuir para minimizar o impacto ambiental.

---

## 2 DESENVOLVIMENTO

---

Estudiosos confirmam que a cerâmica é a mais antiga das indústrias, ela nasceu no momento em que o homem começou a se utilizar do barro endurecido pelo fogo, antes do final do período Neolítico ou da pedra polida, aproximadamente, de 26.000 a.C. até por volta de 5.000 a.C. não existindo, entretanto, um consenso sobre como isso ocorreu (ANFACER, 2009).

A maioria das culturas acabou por desenvolver estilos próprios, com o passar do tempo consolidavam tendências e evoluía no aprimoramento artístico a ponto de poder situar o estado cultural de uma civilização por meio do estudo dos artefatos cerâmicos que produziam. As primeiras cerâmicas que se têm notícia são da Pré-História: vasos de barro, sem asa, que tinham cor de argila natural ou eram escuras por óxidos de ferro (ANFACER, 2009).

A cerâmica no Brasil teve sua origem na cultura indígena; estudos arqueológicos indicam a presença de uma cerâmica mais simples, que ocorreu na região amazônica por volta de 5.000 anos atrás; o índio conseguiu criar uma cerâmica de valor, que dá a impressão de superação dos estágios primitivos da Idade da Pedra e do Bronze. Os índios aborígenes já tinham firmado a cultura do trabalho em barro quando Cabral aqui aportou, por isso, os colonizadores portugueses, instalando as primeiras olarias nada de novo trouxeram, mas estruturaram e concentraram a mão de obra (ANFACER, 2009).

Brun (1999) salienta que a revolução industrial pode ser caracterizada em três fases, e cada uma delas com características distintas. A primeira fase foi caracterizada com a invenção da máquina e seu uso no processo produtivo e a utilização do vapor como força motriz. A segunda fase caracteriza com os novos conhecimentos e inventos, que foram incorporados ao sistema produtivo

e na vida das pessoas e a terceira fase é caracterizada por amplas mudanças que desencadeou a informática.

Segundo Goularti Filho (2007), a partir do momento em que a indústria cerâmica do sul-catarinense se engajou no mercado nacional, houve um processo concomitante, em que as articulações internas foram capazes de conquistar novos mercados, trazendo ao Estado uma dinâmica considerável a partir das estratégias competitivas das grandes empresas.

O sul de Santa Catarina registra se uma das maiores concentrações de produção cerâmica, com o aumento desse setor os problemas ambientais agravam se; porém a cerâmica estrutural é considerada pela FATMA, conforme o item 10.40.10 da resolução do Conselho Estadual do meio Ambiente – CONSEMA nº. 01/06 uma atividade de médio potencial poluidor.

O Sindicato da Indústria de Cerâmica Vermelha da Região Sul - SINDCER atua nos municípios de Morro da Fumaça, Sangão, Jaguaruna, Treze de Maio, Cocal do Sul, Criciúma e Içara; totalizam 220 empresas, com 5.000 funcionários, e uma produção mensal 80.000.000 (oitenta milhões) de tijolos e de 20.000.000 (vinte milhões) de telhas ao mês.

O setor cerâmico vem em busca de alternativas diante dos problemas ambientais como a extração das argilas, matéria-prima do setor, à emissão de poluentes e aos combustíveis usados.

Conforme a Norma Brasileira NBR - 10004(ABNT, 2004) classificam os resíduos em perigosos (classe I) e não perigoso (classe II), porém os resíduos não perigosos podem ser classificados em não inerte (classe II A) e inerte (classe II B).

Os resíduos gerados pela cerâmica estrutural destacam-se as quebras de produto final e as cinzas do processo de combustão, as quebras são resíduos decorrentes das perdas do produto acabado após a queima que só podem ser reaproveitados como matéria-prima após sofrer um processo de moagem, classificando-se como um resíduo inerte. As cinzas obtidas da combustão da lenha predominantemente de eucalipto também classificando como um resíduo inerte é especialmente rico em cálcio, sendo composta por carbonato de cálcio, apresenta aglomerados de partículas esféricas e porosos e com tamanho médio de 0,15 mm (BORLINI, 2005).

O processo de queima merece uma atenção especial, a lenha é queimada sobre grelhas em fornalhas, e o calor conduzido até o teto do forno e succionado para baixo, atravessando o produto a ser cozido, enquanto os fumos são eliminados pelas chaminés que são interligadas por dutos inferiores, as cinzas ficam acondicionadas embaixo das grelhas, normalmente o ciclo de queima dura de cinco a sete dias, quando ocorre a combustão incompleta são eliminados poluentes perigosos e prejudiciais ao meio ambiente, a maior causa da poluição do ar, bem que a combustão completa resulta na eliminação de compostos não danosos de dióxido de carbono, vapor de água e cinzas, pois nenhum processo de combustão é completo (PROGESC, 1995).

Segundo Borlini (2005) mostra que a cinza pode atuar como um fundente e pode contribuir para melhorar as propriedades de queima por meio da redução da porosidade pela formação de fase líquida.

---

## 2.1 MATERIAIS E MÉTODOS

---

A metodologia utilizada neste trabalho segue métodos de ensaios específicos para a caracterização de matérias-primas de cerâmica estrutural, conforme norma NBR 13.582. Os ensaios realizados foram: umidades de extrusão das massas, retração linear de secagem, perda ao fogo, retração linear de queima (RLq), absorção de água (AA) e a resistência à flexão (MPa).

Foi utilizada a cinza proveniente da queima da lenha de eucalipto do processo industrial de uma cerâmica estrutural, da cidade de Sangão no sul de Santa Catarina para a realização da etapa de balanço de massa, formulação, e também de caracterização química.

A coleta da cinza foi realizada nas fornalhas existentes no forno após o ciclo de queima, foram coletados 174 kg de cinza proveniente da queima da lenha de eucalipto em seis fornalhas; e na empresa esse ciclo é realizado vinte quatro vezes durante o mês, totalizando uma quantidade de 4,176kg de cinza ao mês.

O estudo da caracterização física da matéria-prima padrão em conjunto com adição de cinza foi realizado no laboratório de cerâmica vermelha - LABCER na cidade de Morro da Fumaça. As amostras foram recebidas, identificadas e colocadas em um ambiente para preservar suas características. Foram retiradas três amostras de argilas diferentes com 100g (PU) de diferentes pontos para formular a massa padrão e poder determinar a umidade (tabela 01)

Tabela 01 - determinação de umidade.

Nº.	Peso úmido	Peso seco	Umidade
1	100g	81,5g	18,5%
2	100g	79,9g	20,1%
3	100g	82,0g	18,0%

Foram preparados 40 corpos de prova da massa padrão e separadas 20kg (seco) para cada formulação, em que foram preparadas cinco formulações adicionando a massa seca os percentuais de 0,1%; 0,5%; 1%; 2% e 5% de cinza.

Todas as amostras preparadas foram submetidas há uma laminação em um laminador laboratorial com uma abertura entre os rolos de 2mm, os corpos de prova foram conformados por extrusão em uma maromba Natreb modelo 01 com vácuo de 25in.Hg, foram obtidos 40 corpos de prova com o formato de 3x1,5x12cm . Após conformação todos os corpos de prova foram identificados, pesados em uma balança Marte modelo AC10K com Sensibilidade 0,1g e medidos com paquímetro com precisão de 0,02mm, obtendo-se, assim, seu peso e medida a úmida de cada corpo de prova, elas foram levadas para estufa e submetidas a uma temperatura a  $110 \pm 5 \text{ } ^\circ\text{C}$  por 24h para perda completa da umidade de conformação. Com o material completamente seco, todas as amostras foram pesadas, medidas e submetidas à queima com uma taxa de aquecimento de  $3 \text{ } ^\circ\text{C}$  por minuto com ciclo de queima de 24 horas, atingindo uma temperatura de  $950 \text{ } ^\circ\text{C}$  em um forno Quimis modelo 318D35T.

Após a queima as amostras foram novamente pesadas e medidas, obtendo-se, assim, sua perda ao fogo e sua retração de queima. Após pesar todas as amostras, elas foram submersas em um recipiente com água por 24h à temperatura ambiente, para obter a sua absorção de água. Passando esse período de 24h todas as amostras foram parcialmente secadas em pano semiúmido, pesando-as novamente e obtendo a variação de peso em relação ao peso inicial. Para obter a resistência a flexão, foram utilizadas 30 amostras de cada formulação em uma EMIC modelo DL-20.000.

A análise química das matérias-primas foi realizada no SENAI-Criciúma em um espectrômetro de fluorescência de raios-x da marca Philips modelo PW 2400 para a análise dos principais óxidos constituintes da argila e da cinza utilizadas neste trabalho.

## 2.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise química por Fluorescência de Raios-X mostrou que as argilas apresentaram como constituintes básicos os óxidos de silício, alumínio e ferro, vindo em menores proporções potássio, sódio, cálcio, magnésio e titânio. O elevado teor de óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) é devido à presença de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) e outros minerais argilosos e não argilosos que possuem o silício na sua composição química. O óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) geralmente está associado ao argilo mineral caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ). O óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) fornece a tonalidade vermelha às peças, assim como o óxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) podem proporcionar variação de tonalidade após queima. Os óxidos de cálcio ( $\text{CaO}$ ) e de magnésio ( $\text{MgO}$ ), que geralmente são provenientes da calcita, dolomita e gipsita, têm efeito fundente. O óxido de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) e o de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) têm um efeito fundente intenso

e são, geralmente, provenientes dos feldspatos. A cinza apresentou óxido de cálcio (CaO) (40,10%), óxido de silício (SiO<sub>2</sub>) (8,87%) o óxido de potássio (K<sub>2</sub>O) (9,75%) magnésio (MgO) (6,15%) e como valores de maiores proporções, como os outros componentes tendo percentuais inferiores a 4%, foi também detectado na cinza enxofre e cloro Valores de P e Mn meramente orientativo. (tabela 02).

Tabela 02 - Determinação da análise química por espectrometria de fluorescência de raios x.

Óxidos Presentes	Argila F-03	Argila F-06	Argila F-08	Cinzas
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,53	18,2	22,77	1,67
CaO	0,06	0,13	0,14	40,10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,39	2,73	1,76	0,34
K <sub>2</sub> O	0,14	0,39	0,72	9,75
MgO	0,24	0,40	0,39	6,15
MnO	0,01	0,01	0,01	1,11
Na <sub>2</sub> O	0,04	0,04	0,10	1,50
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,04	0,04	4,02
SiO <sub>2</sub>	81,34	69,84	62,24	8,87
TiO <sub>2</sub>	1,02	1,61	1,20	0,04
Perda Fogo	4,11	6,62	10,13	21,30

A tabela 03 mostra os resultados das análises físicas realizadas nos materiais sintetizados obtidos com a inserção de 0,1%; 0,5%; 1%; 2% e 5% de cinza na matéria-prima padrão. Análises físicas, realizadas em cada amostra estudada, tais como: umidades de extrusão das massas, retração linear de secagem, perda ao fogo, retração linear de queima (RLq), absorção de água (AA) e a resistência à flexão (MPa).

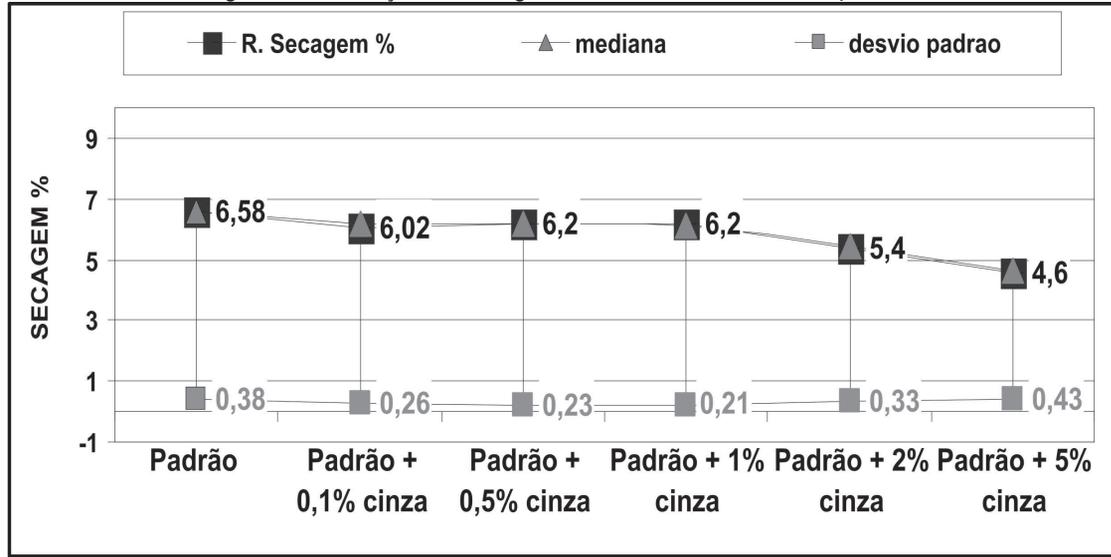
Em função das proporções de cinza pode observar que mais se aproximou da massa padrão em relação à retração de secagem, foram a de 0,1%,0,5% e 1%, porém teve um aumento significativo na retração de queima, absorção de água resistência a flexão, isso ocorreu devido ao grande teor de cálcio na cinza.

Tabela 03 – Caracterização física da matéria-prima padrão e com adição da cinza

AMOSTRAS	Padrão	Padrão + 0,1% cinza	Padrão + 0,5% cinza	Padrão + 1% cinza	Padrão + 2% cinza	Padrão + 5%cinza
Umidade %	23	21	21,4	20,6	18,3	19,6
R. Secagem %	6,58	6,2	6,2	6,2	5,4	4,6
Perda fogo %	11	11,5	8,9	8,3	8,9	8
R. Queima %	4,6	3,8	1,7	2,2	1,3	1,7
A. Agua %	7,1	9,2	12,4	10,3	13	13,1
Res. Flexão MPa	14,1	9,6	5,5	9,1	8,21	7,72

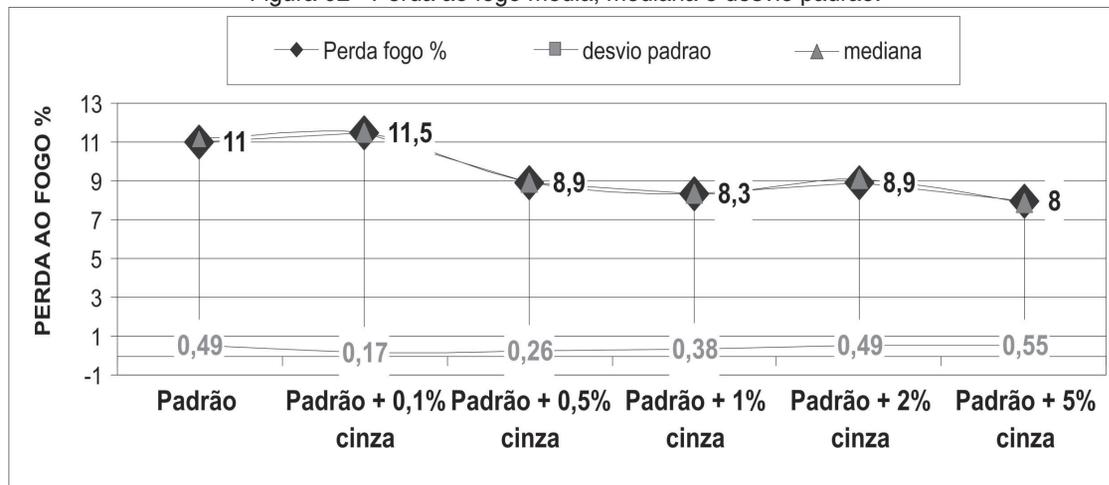
Conforme figura 01 a retração de secagem em relação à massa padrão teve uma retração significativa após a adição de 2% de cinza com desvio padrão médio de 0.33%.

Figura 01 - Retração de secagem média, mediana e desvio padrão.



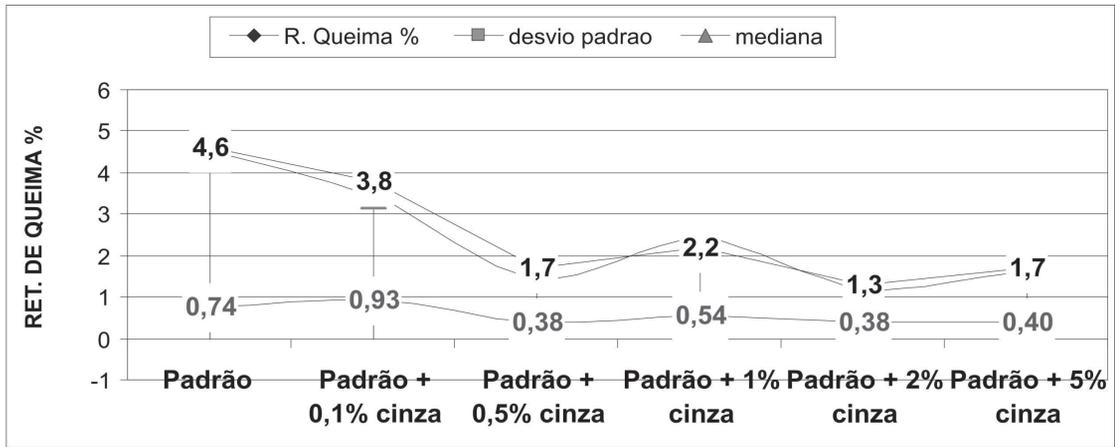
Todas as amostras foram submetidas à mesma temperatura de queima (950°C). Conforme a figura 02 em relação à massa padrão, a perda ao fogo obteve uma redução considerável após a adição de 0.5% de cinza com desvio padrão médio de 0.26%.

Figura 02 - Perda ao fogo média, mediana e desvio padrão.



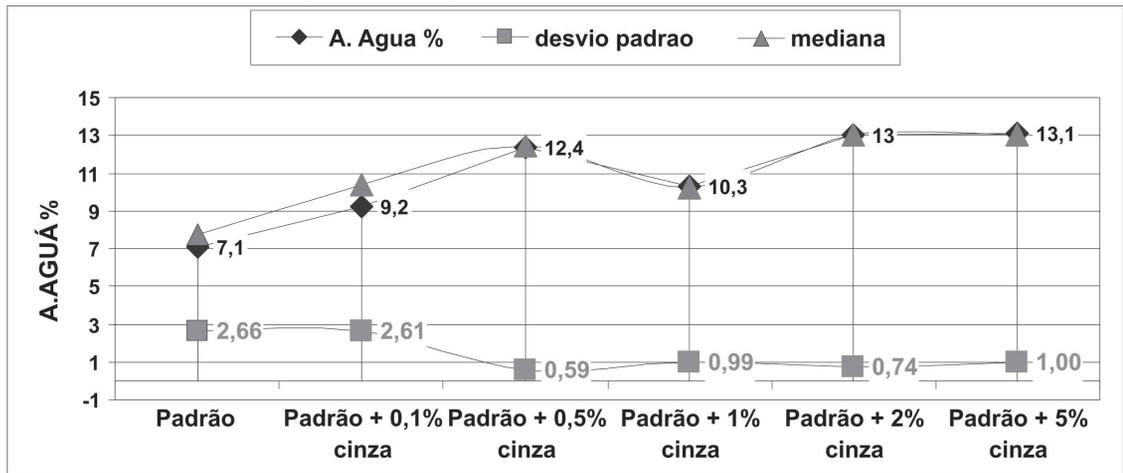
A Retração Linear de queima diminuiu com a adição de cinza a partir de 0,5% com um desvio padrão médio de 0,38, conforme mostra a figura 03 em relação a padrão.

Figura 03 – Retração de queima média, mediana e desvio padrão.



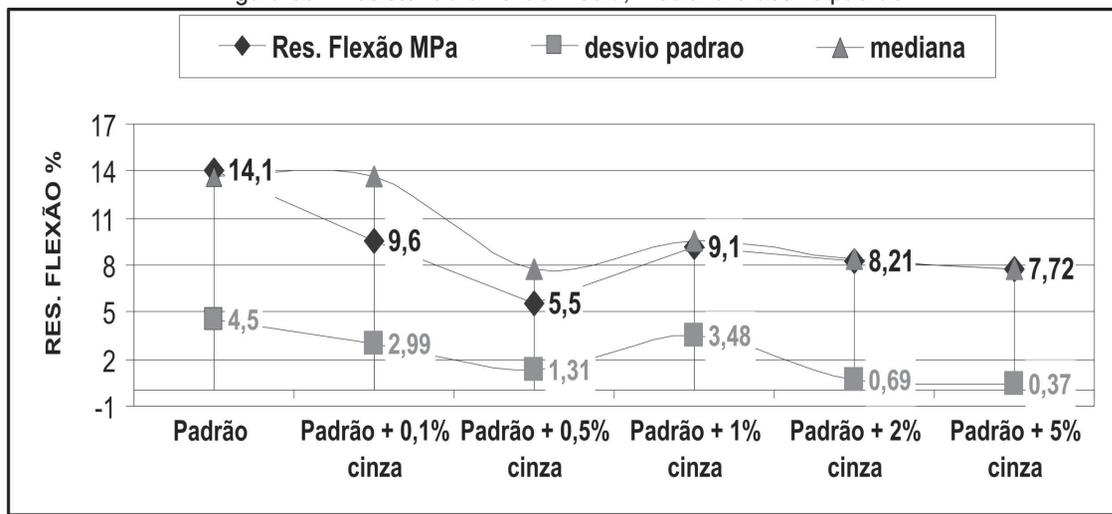
A absorção de água teve um aumento considerável a partir de 0.1% de cinza em relação às padrão com desvio padrão médio de 2.61%, as amostras a partir de 0,5% de cinza o desvio padrão foi menor. (Fig. 04) Nota-se que com o acréscimo da cinza, aumentam também a quantidade de poros na amostra, isso se deve ao fato da liberação do CO<sub>2</sub> durante a etapa de sinterização.

Figura 04 - A. Água média, mediana e desvio padrão.



Na figura 05 encontram-se os resultados das amostras em seus valores médios e respectivos desvios padrões para a resistência mecânica à flexão em três pontos após a queima, a partir das massas sem adição e com adição de cinza. Em função das proporções de cinza estudadas nota-se a redução de resistência à flexão após o acréscimo da cinza, isso ocorre devido ao aumento de absorção da água.

Figura 05 - Resistência à flexão média, mediana e desvio padrão.



### 3 CONCLUSÃO

A partir da análise conjunta dos resultados dos ensaios realizados, pode-se afirmar a viabilidade técnica da utilização de cinza na massa para cerâmica estrutural, com manutenção das suas características necessárias para os fins a que se destinam. Porque se nota mediante análise química, que a cinza apresentou elevado teor de óxido de cálcio (CaO) (40,10%), que geralmente tem efeito fundente acima de 1100°C. Pôde-se observar também o aumento da quantidade de poros nas amostras, comportamento este devido a princípio ao fato da não formação da fase líquida durante a sinterização, possuindo uma menor resistência mecânica à flexão, maior absorção de água, menor retração linear de queima do que a massa sem cinza.

Estudar as formulações de argilas com adição de cinzas nos percentuais de 10% e 15% nas temperaturas de 1000°C e 1100°C, nas quais as telhas tradicionais são confeccionadas, usualmente, na temperatura máxima de 950°C, constituem-se perspectivas para futuros estudos.

### Agradecimentos

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

### REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004/2004. Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.71p.

ANFACER - Associação Nacional de Fabricantes de Cerâmica para Revestimento Historia da Cerâmica: Origem da Cerâmica no Brasil. Disponível em: <www.anfacer.org.br>. Acesso em: 20 out. 2009.

BORLINI, M. C. *et al.* Cinza da lenha para aplicação em cerâmica vermelha parte I: características da cinza. **Cerâmica**. 2005, vol.51, n.319, pp. 192-196. Acesso em: 16/nov./2009

BRUN, Argemiro J. **O Desenvolvimento Econômico Brasileiro**. 20. ed. Ijuí: UNIJUÍ, 1999.

CORDOVA, Marlon Vieira de. Diagnostico Da Poluição Atmosférica No Setor Cerâmico Estrutural Do Município De Morro Da Fumaça. 2007. 79 f. Monografia (Engenheiro Ambiental) - Curso de Engenharia Ambiental da UNESC Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, Criciúma, 2007. Disponível em: <[www.comiteitajai.org.br/dspace/handle/123456789/255](http://www.comiteitajai.org.br/dspace/handle/123456789/255)>. Acesso em: 10 set. 2009.

FARIAS Stela Maris Duarte. A Emancipação Política do Município de Sangão e as Disputas de Poder Político. Criciúma: UNESC, 2008. **Monografia** (Graduação em história)

GOULARTI FILHO, Alcides. **Formação Econômica de Santa Catarina**. 2. Ed.rev. Florianópolis: Ed.da UFSC, 2007.

PROGESC – Programa de Informações Básicas para gestão Territorial de Santa Catarina: **Fontes de Poluições** – Criciúma - SC,1995.

RESOLUÇÃO CONSEMA N.º2006.Conselho Estadual do Meio Ambiente - Aprova a Listagem das Atividades Consideradas Potencialmente Causadoras de Degradação Ambiental. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/Consema>>. Acesso em: 04 nov. 2009.

