



UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE

Curso de Tecnologia em Cerâmica e Vidro

Trabalho de Conclusão de Estágio



**ADIÇÃO de chamote em massa de cerâmica vermelha  
para a produção de telha natural branca**

**Cristiano Pereira**

**Fernando Marco Bertan<sup>1</sup>**

**RESUMO:** Este trabalho investigou o efeito da adição de chamote na massa de cerâmica vermelha para a produção de telha natural branca, realizado na cerâmica Ouro Preto. Foram elaboradas quatro composições denominadas C1, C2, C3 e C4 contendo 1, 2, 3 e 5% de chamote, respectivamente. As composições foram caracterizadas por meio dos ensaios de determinação da retração linear, determinação do módulo de resistência à flexão, absorção d'água, densidade aparente, espectrometria por fluorescência de raio X, microscopia óptica. Por fim, após a caracterização em laboratório foi realizado um teste semi-industrial na unidade fabril da cerâmica Ouro Preto. Os resultados obtidos indicam que a adição de chamote na massa tem influencia direta nas características técnicas finais de telha, porém possibilita reaproveitar todo resíduo gerado na empresa.

Palavras-chaves: cerâmica vermelha; chamote; resíduo.

## **1 - Introdução**

A fabricação de telha utilizando argila como matéria prima é uma atividade milenar já dominada na antiga Grécia, que chega à era moderna eleita como um produto de alta qualidade e beleza, hoje produzido em alguns países com tecnologia de ponta. A telha de argila se consolidou ao passar dos tempos através de suas características técnicas, além de ser um ótimo isolante térmico e acústico.

Devido a sua excelente aceitação no mercado, este produto vem sendo continuamente aprimorado. Com o auxílio da tecnologia utilizada na produção o processo industrial está sendo parcialmente automatizado, aperfeiçoando as características naturais, dando-lhe maior resistência, beleza, menor peso, durabilidade e segurança.

---

<sup>1</sup> professor orientador

A cerâmica Ouro Preto foi fundada em 1972 e, desde então, produz telhas naturais brancas e esmaltadas. Hoje com 40 anos de tradição no mercado, a empresa vem investindo em melhorias contínuas no sistema de produção, e na busca de soluções que possam garantir maior eficiência em seu processo de produção.

Pensando no futuro, buscando sustentabilidade e consciente dos cuidados que a natureza necessita a Ouro Preto investe em reflorestamento sustentável, atingindo a marca de 100.000 m<sup>2</sup> de área reflorestada. A mineração da argila na jazida é realizada a céu aberto, a extração é planejada de modo a minimizar a agressão ambiental.

No processo industrial da cerâmica Ouro Preto, assim como no processo de fabricação de qualquer cerâmica ocorrem quebras de peças já queimadas por falhas no manuseio ou por defeitos gerados durante a fabricação, também se faz necessário seleções de peças que não devem chegar aos clientes devido alguma não conformidade. Este resíduo, chamote gerado durante o processo industrial é indesejável em qualquer produção, porém inevitável. Normalmente o chamote fica estocado nos pátios das cerâmicas ou é destinado a aterros nem sempre legalizados. Na cerâmica Ouro Preto o chamote é depositado no pátio da própria cerâmica servindo de aterro para uma futura expansão da unidade fabril. De acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004) os resíduos são classificados em perigosos (classe I) e não perigoso (classe II), porém os resíduos não perigosos podem ser classificados em não inertes (classe II A) e inertes (classe II B). Os resíduos gerados pela cerâmica estrutural são classificados como um resíduo inerte.

A produção mensal estimada da cerâmica Ouro Preto está em torno de 1.500.000 peças, com peso médio sinterizado variando entre 2,8 a 3,0 kg, totalizando um volume de material na ordem de 4.425 t. Ao final do processo, mais especificamente da queima, o percentual de quebra (chamote) gerado totaliza aproximadamente 2%, algo em torno de 88.500 kg por mês.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é realizar um estudo que possa viabilizar a utilização total do chamote gerado na empresa e analisar os efeitos da adição do mesmo na massa da telha branca realizando caracterização física e química.

## 2 - Revisão Bibliográfica

A indústria da cerâmica estrutural ou vermelha é uma atividade de base ao possibilitar a construção civil, em geral, desde à mais simples a mais sofisticada. Este segmento que produz, principalmente, tijolos furados, tijolos maciços, componentes de lajes, blocos de vedação e estruturais, telhas, manilhas e pisos rústicos é muito importante na geração de renda do setor industrial brasileiro (RODRIGUES, 2002).

No Brasil, existem indústrias de cerâmica espalhadas por todo o país, constituídas principalmente por pequenas e médias empresas, geralmente organizações familiares (BUSTAMANTE, 2000).

As indústrias de cerâmica representam o segmento que mais consome argila no país, devido ao baixo custo dessa matéria prima as fábricas geralmente se situam muito próximas das suas jazidas. Não é por acaso que os principais pólos cerâmicos concentram-se em regiões onde há argilas em abundância (SILVA, 1998).

De acordo com dados da ANICER (2011) estima-se que existem aproximadamente 6.903 empresas de cerâmica vermelha no Brasil, somando 293 mil empregos diretos e perto de 900 mil empregos indiretos. Movimentam cerca de 123.600.000 toneladas por ano de matéria prima, com grandes reflexos nas vias de transporte e no meio ambiente nas lavras de argila.

As indústrias de fabricação e transformação de materiais produzem, em maior ou menor grau, certa quantidade de resíduos que nem sempre são reaproveitados ou têm um destino ecologicamente correto. Dar um destino correto a estes subprodutos constitui um grande desafio. Em alguns casos, estes produtos secundários podem ser reutilizados diretamente ou podem ser aproveitados como matéria prima básica em outros processos industriais (CASAGRANDE, 2008).

A preocupação com a preservação do meio ambiente vem crescendo muito nos últimos anos, e no Brasil não é diferente. Vários fatores apontam este crescimento, destacando-se o aumento do interesse do grande público que gradativamente vai tornando a marca ambiental argumento de marketing, como o aumento na

quantidade e nível das organizações da sociedade civil dedicadas ao tema e a exigência de certificação ambiental às empresas brasileiras exportadoras trazendo reflexos mesmo na indústria interna (CASAGRANDE, 2008).

Conforme o crescente aumento de consciência dos consumidores, pesquisadores como CAMPELO (2004), ALVES (1997) e MENEZES et al. (2002) vem investigando o aproveitamento de rejeitos do processamento cerâmico de indústrias de revestimento e sua implicação nas características das massas cerâmicas e dos produtos após queima. Recentemente trabalhos como o de MORAIS (2006) têm sido desenvolvidos para procurar definir limites de utilização de resíduos cerâmicos queimados, porém não exatamente como um chamote da mesma argila utilizada como matéria-prima.

### **3 – Materiais e Métodos**

O desenvolvimento deste trabalho teve início com a seleção, separação e identificação das sete matérias primas (argilas) que compõem a massa padrão (STD) da telha. Esta etapa foi executada com o objetivo de entender melhor o comportamento individual de cada material e relacionar a possíveis alterações que a adição do rejeito possa provocar na composição STD. As argilas identificadas como A, B, C, D, E e F foram coletadas no pátio da empresa a partir de lotes separados de 1.250 t. Foi realizado um minucioso trabalho de quarteamento resultando um total de 20 kg de material separados para cada argila. Em paralelo, o chamote foi coletado em um lote de 59.000 kg sendo separado ao final do quarteamento, 10 kg.

Antes de iniciar a formulação das composições, o chamote e as matérias primas foram estudadas individualmente. As amostras foram encaminhadas para secar em estufa industrial durante 24 horas e posteriormente passaram por moagem a seco em moinho de martelo para laboratório, marca Servitech modelo CT-061, até ficar passante em malha 30 mesh. Em seguida foram separadas quantidades suficientes (amostra) das argilas e do chamote para avaliação da composição química com o uso da técnica de espectrometria por fluorescência de Raios-X, realizada em equipamento Bruker S2 Ranger.

Na sequência, foi realizado ensaio para determinação do percentual de resíduo retido em malha 325 mesh, para as argilas e para o chamote.

Subsequentemente, as amostras foram umidificadas a 7% de umidade e submetidas ao processo de granulação via seca para auxiliar no processo de compactação. Os corpos de prova, medindo aproximadamente 120 x 20 mm, foram obtidos, por meio de uma prensa hidráulica manual da marca Servitech com pressão de compactação igual a 200 kgf/cm<sup>2</sup>. É importante destacar que para o desenvolvimento do trabalho em laboratório, foi empregado o método de conformação por prensagem a seco. Este método foi escolhido por não haver disponibilidade de equipamentos, tais como, laminadores, extrusora, entre outros, que viabilizassem a conformação por extrusão.

Foram prensados quarenta e cinco corpos de provas para cada matéria prima, sendo separados quinze corpos de prova para cada ensaio de caracterização. Os corpos de prova de cada matéria prima, bem como, do chamote, foram identificados e pesados em balança Marte modelo AC10K com precisão 0,1g. Na sequência, foram medidos com auxílio de um paquímetro de precisão e resolução 0,05mm.

Após a conformação, os corpos de prova foram submetidos à secagem em estufa de laboratório Fanen modelo 320-SE, durante 24 horas à temperatura de 130°C ( $\pm 5^\circ\text{C}$  determinação da retração linear (RL), determinação do módulo de resistência à flexão a seco (MRF) conforme procedimento descrito na norma NBR13818 (ABNT, 1997). O ensaio de determinação do MRF foi realizado no equipamento EMIC modelo DL-20.000 conforme anexo C da NBR13818. Em seguida, foi determinada a densidade aparente das peças cruas (Dap) por imersão em mercúrio (Hg), pelo método de Arquimedes).

Os corpos de prova foram então encaminhados para o processo de queima em forno mufla elétrico Quimis modelo 318D35T com taxa de aquecimento de 3°C/min., a temperatura máxima de 930°C, com patamar de 16 horas e totalizando 35 horas de queima. Este ciclo de queima foi determinado com o propósito de simular o processo de queima industrial. A figura 01 apresenta a curva de queima utilizada para a sinterização dos corpos de prova.

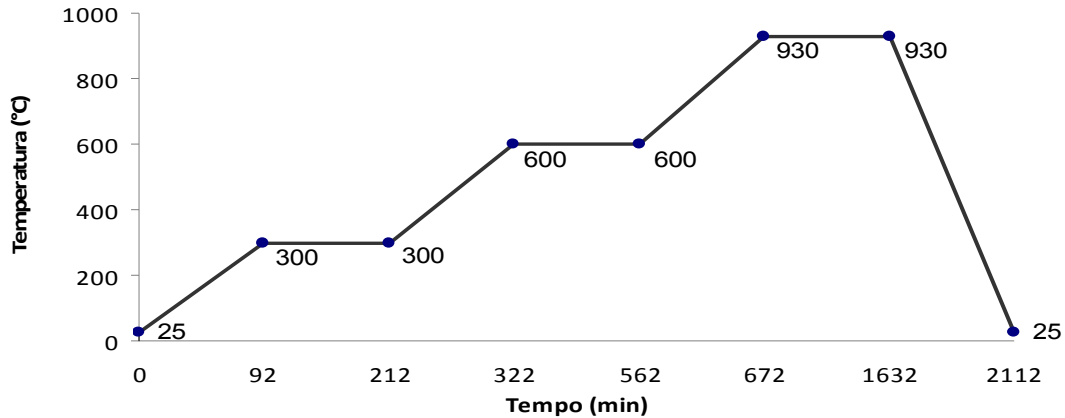


Figura 01. Curva de sinterização dos corpos de prova.

Em paralelo, foram encaminhadas quinze peças de cada argila para sinterização em forno industrial do tipo garrafão com temperatura máxima de 930°C e patamar de 16 horas e totalizando em média 180 horas de queima.

As amostras do chamote foram sinterizadas nas mesmas condições que as argilas, porém não foi possível realizar caracterização nas mesmas. Por se tratar de um material já queimado, o chamote não obteve resistência mecânica suficiente para propiciar a realização dos ensaios. Desta forma, o chamote foi considerado como material inerte para a temperatura de trabalho. Após a sinterização em forno mufla e forno industrial as amostras foram caracterizadas em relação aos ensaios de RL, Dap, AA, MRF e PF.

Para avaliar o efeito da adição de resíduo na composição STD, foram elaboradas quatro composições denominadas C1, C2, C3 e C4 contendo 1, 2, 3 e 5% de chamote, respectivamente. A título de comparação, a tabela 01 apresenta a formulação STD elaborada a partir das argilas.

Tabela 01. Formulação STD (% em peso).

Argila	A	B	C	D	E	F
%	5	15	5	30	30	15

As composições C1, C2, C3, C4 e STD foram preparadas com auxílio de uma balança Marte modelo AC10K com precisão 0,1g. A mistura foi realizada a seco em

moinho de bolas SPLabor modelo Q298 por 10 minutos e passadas em peneira de 20 mesh. Em seguida foram umedecidas com cerca de 7% de umidade e submetidas ao processo de granulação via seca. Na sequência todas as composições foram prensadas para a determinação da RL, MRF, Dap e resíduo. É importante destacar que, foram preparados quarenta e cinco corpos de prova para cada formulação, sendo separados quinze corpos de prova para cada ensaio de caracterização. Depois de realizadas as caracterizações físicas a seco, as amostras foram encaminhadas para sinterização em forno mufla e em forno industrial seguindo os parâmetros utilizados para caracterização das amostras de argila.

Após a sinterização, amostras das composições C1, C2, C3, C4 e STD foram seccionadas e submetidas ao processo de polimento, realizado pelo uso sucessivo de lixas d'água com lubrificação de água corrente. Em seguida, foram submetidas à análise visual e por microscopia óptica com auxílio de um microscópio ótico Meije, com capacidade de aumento de 70x.

Para complementar o estudo foi viabilizado um teste semi-industrial na unidade fabril da cerâmica Ouro Preto com a composição que apresentou os resultados mais significativos em relação às características técnicas e que pode viabilizar a utilização total do chamote gerado na empresa. O teste semi-industrial se realizou durante 1 hora, produzindo algo em torno de 3.000 peças.

O teste semi-industrial teve início com a moagem do chamote realizada em moinho martelo industrial YuHui modelo ASS 75B deixando-o passante em malha 25 mesh. A dosagem das argilas ocorreu com o auxílio de uma pá carregadeira, a mistura foi realizada no pátio com o objetivo de melhorar a homogeneização. Na sequência a composição foi colocada no caixão alimentador onde a empresa instalou um alimentador contínuo para a dosagem do chamote antes que a composição passasse pelo moinho desintegrador. Após a argila estar homogeneizada, a mesma ficou em repouso durante sete dias para completar a etapa de sazonalidade e homogeneização da umidade.

Após a etapa de sazonalidade as argilas foram colocadas em caixão alimentador pela pá carregadeira, permitindo a alimentação constante em todo o teste, em seguida a massa passou pelo laminador com abertura de 2 mm, e na sequência,

para o misturador que a conduz à extrusora. A extrusão foi realizada (etapa de obtenção do bastão da massa) em maromba monobloco Verdés modelo 057. Na sequência, a moldagem plástica (etapa de conformação da telha) foi realizada por meio de uma prensa rotativa a tambor Bruca modelo 6F utilizando estampo industrial para telha tipo americana.

Durante a produção da semi-industrial não foram observadas alterações no comportamento das telhas quanto às características técnicas necessárias para o processo de conformação em relação à massa padrão.

Em seguida, as peças percorreram o mesmo trajeto das peças da produção, permaneceram em repouso durante 12 horas, passaram pelo secador industrial e foram sinterizadas em forno tipo garrafão no ciclo normal de produção.

As telhas obtidas a partir do teste semi-industrial foram caracterizadas por meio de ensaios normalizados para telha cerâmica e os resultados foram comparados aos do produto normal de produção. Foram realizados ensaios de determinação das características dimensionais, tais como, carga de ruptura à flexão, determinação da galga mínima, determinação da impermeabilidade, determinação de absorção d'água, determinação da planaridade, determinação de retilineidade e determinação do rendimento médio conforme procedimentos descritos na norma NBR15310 (ABNT, 2009).

#### **4. Resultados e Discussão**

Neste trabalho, inicialmente foi realizada uma investigação das argilas que compõem a formulação padrão da telha e do rejeito, a fim de entender melhor o comportamento individual de cada material e relacionar a possíveis alterações que a adição do rejeito possa provocar na composição STD. Por isso, primeiro são apresentados e discutidos os resultados da caracterização das matérias primas e do resíduo.

A tabela 02 mostra a composição química do chamote e das argilas estudadas. Pela análise química pode-se perceber o alto teor de  $Fe_2O_3$  constituinte nas argilas B e C



caracterizando uma cor de queima marrom-avermelhada, indesejável para a produção de telha branca. Já as argilas A e E apresentam pouca contaminação com ferro, apresentando cor clara durante a queima, caracterizando argilas propícias para a fabricação de telha branca.

Tabela 02. Composição química das matérias primas e chamote.

Óxidos	A	B	C	D	E	F	Chamote
SiO <sub>2</sub>	60,99	69,20	67,46	69,93	62,65	60,15	72,64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,54	15,77	18,62	18,83	25,04	22,54	21,33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,74	3,02	4,36	2,35	1,93	2,86	3,12
CaO	0,10	0,04	0,14	0,08	0,11	0,34	0,11
K <sub>2</sub> O	1,45	0,56	0,95	0,82	0,98	4,05	1,26
MgO	0,32	0,28	0,35	0,26	0,39	0,78	0,50
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,04	0,03	0,05	0,03	0,03	0,04
TiO <sub>2</sub>	1,11	1,30	1,39	1,46	1,08	0,94	1,32
PF	15,73	9,80	6,69	6,22	7,79	8,31	0,00

A concentração de álcalis presentes nas argilas possui grande variação em seu percentual, tem-se para a argila F 4,826% e 0,839% para a argila B. Pode-se verificar ainda o elevado percentual de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> presente nas argilas E e F, diferente do que acontece com a argila B. Percebe-se ainda que a concentração de SiO<sub>2</sub>, varia bastante entre as argilas, sendo que o chamote apresenta o valor mais elevado. Por se tratar de um material já sinterizado, a perda ao fogo do chamote é nula. Entre as argilas somente uma apresentou elevado valor de perda ao fogo, argila A.

A tabela 03 mostra os resultados de RL, MRF, Dap e resíduo obtidos na caracterização físicas das matérias primas secas. Como pode-se verificar, os resultados de RL, MRF e Dap são similares entre as argilas. Pode-se observar que o MRF possui variação entre 2,57 MPa para a argila F e 3,29 MPa para a argila B, provavelmente, o maior defeito presente nas amostras (o maior poro) influenciou o comportamento mecânico das argilas.

Tabela 03. Caracterização física das matérias primas após secagem.

Análises	A	B	C	D	E	F
RL (%)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3
MRF (MPa)	2,60	3,29	2,88	2,93	2,87	2,57
Dap (g/cm <sup>3</sup> )	1,97	2,09	2,03	1,97	1,90	2,08
Resíduo (#325)	9,40	12,26	16,74	7,35	9,51	1,85

Na figura 02 são representados os resultados de RL, MRF, Dap e resíduos obtidos na caracterização física das argilas. Com base nos dados pode-se verificar a variação no percentual de resíduo entre as argilas, o maior percentual de resíduo foi observado na argila C e pode-se observar que a argila F possui o menor índice.

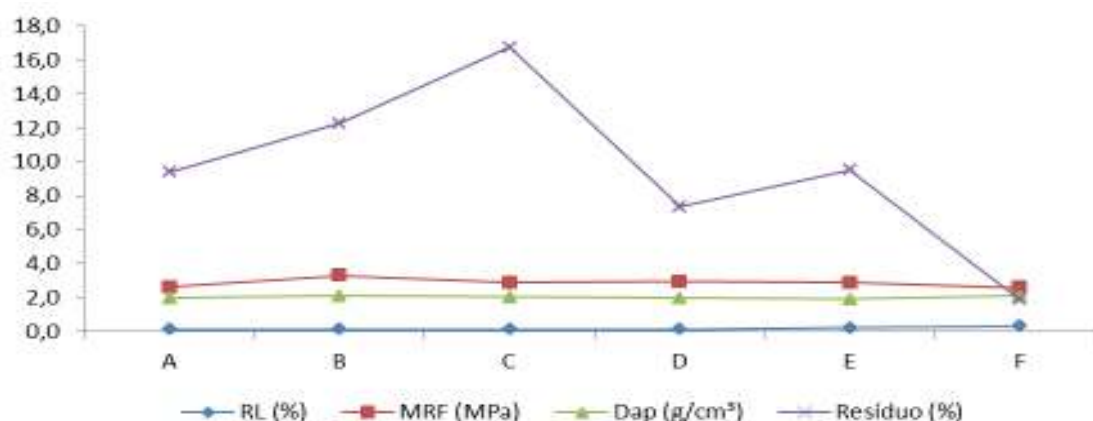


Figura 02. Caracterização física das matérias primas após secagem.

A tabela 04 apresenta os resultados de RL, AA, MRF, Dap e PF, das argilas sinterizadas em forno de laboratório. A variação da RL entre as argilas B e F teve um percentual significativo, 3%. Esta variação na retração de queima está ligada à quantidade de K<sub>2</sub>O presente na composição química das argilas. Os resultados obtidos quanto a AA também são bastante distintos com variação de até 9,3% entre as argilas E e F, esta diferença está diretamente ligada à Dap. Como se pode observar, a argila E possui Dap de 1,79g/cm<sup>3</sup> e a argila F a Dap representa 2,12g/cm<sup>3</sup>. O MRF entre todos os ensaios foi o que mais teve variação, com valores de 5,54 para a argila B e 21,74 para a argila F. O MRF tem ligação direta com o

empacotamento e plasticidade da massa, a argila F possui índice de resíduo e óxido de silício (SiO<sub>2</sub>) inferior à argila B contribuindo para a plasticidade.

Tabela 04. Caracterização física após sinterização em forno mufla das matérias primas.

Análises	A	B	C	D	E	F
RL (%)	1,3	0,5	1,2	1,2	2,9	3,5
AA (%)	15,00	15,10	14,70	16,70	18,10	8,80
MRF (MPa)	9,29	5,54	8,15	7,93	10,57	21,74
Dap (g/cm <sup>3</sup> )	1,86	1,89	1,92	1,85	1,79	2,12
PF (%)	15,73	9,79	6,69	6,22	7,79	8,31

A título de comparação, a tabela 05 apresenta os resultados de RL, AA, MRF, Dap e PF, das argilas após sinterização em forno industrial. Os resultados mostram que as características técnicas das argilas são muito semelhantes em ambas as sinterizações, as variações existentes entre as argilas são próprias de suas características. Porém, o valor obtido para o MRF da argila F na sinterização em forno industrial é 8,08 MPa a menos que o valor obtido para a sinterização em forno de laboratório. Pode-se observar, também, a elevação do percentual de AA, caracterizando claramente que a sinterização das amostras em forno mufla foi melhor do que a sinterização em forno industrial.

Tabela 05. Caracterização física após sinterização em forno industrial das matérias primas.

Análises	A	B	C	D	E	F
RL (%)	1,2	0,4	1,1	1,2	2,8	3,3
AA (%)	15,40	15,90	15,20	17,10	18,60	9,30
MRF (MPa)	7,92	5,52	7,27	7,07	9,23	13,66
Dap (g/cm <sup>3</sup> )	1,84	1,86	1,89	1,81	1,74	2,08
PF (%)	15,69	9,77	6,67	6,20	7,78	8,28

Na sequência, será apresentado e discutido os resultados referentes ao estudo da adição do rejeito à composição STD. Os resultados das análises químicas referentes às composições são apresentados na tabela 06. Percebe-se que houve uma redução no percentual de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> conforme o chamote foi adicionado à massa. Também houve uma redução quanto à PF, esta reação está diretamente ligada com o fato do chamote ser um material inerte. Pode-se constatar que o óxido de silício

(SiO<sub>2</sub>) apresenta um aumento em relação a adição do resíduo, de 67,494% para a composição STD para 69,915% na composição C4, este fato está relacionado à maior presença de óxido de silício (SiO<sub>2</sub>) na composição química do chamote.

Tabela 06. Composição química das formulações.

Oxídeos	STD	C1	C2	C3	C4
SiO <sub>2</sub>	67,49	67,78	67,85	68,63	69,92
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,98	19,72	20,06	20,88	20,58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,91	2,80	2,79	2,71	2,57
CaO	0,10	0,08	0,09	0,08	0,10
K <sub>2</sub> O	1,17	1,24	1,13	1,18	1,18
MgO	0,42	0,45	0,50	0,26	0,35
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04
TiO <sub>2</sub>	1,31	1,31	1,27	1,22	1,23
PF	6,58	6,57	6,27	5,02	4,31

Na sequência, serão apresentados os resultados referentes à caracterização a seco das composições. A tabela 07 apresenta os resultados dos ensaios de RL, MRF, Dap e resíduo. Em relação à RL não foi possível observar variação entre as composições, pois as massas continham baixa umidade e a pressão de compactação utilizada foi relativamente elevada.

Tabela 07. Caracterização física após secagem das formulações C1, C2, C3, C4 e STD.

Análises	STD	C1	C2	C3	C4
RL (%)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
MRF (MPa)	3,52	3,50	2,77	1,90	1,61
Dap (g/cm <sup>3</sup> )	1,98	1,99	2,00	2,01	2,01
Resíduo (#325)	7,07	7,77	8,02	8,68	9,98

A variação do MRF dos corpos de prova em relação à adição do chamote é bastante influenciada, promovendo a redução acentuada da resistência mecânica entre as composições STD e C4, isto pode ser explicado pelo fato do resíduo não apresentar plasticidade. A Dap por sua vez, em função da adição do chamote teve um leve aumento. Analisando os percentuais de resíduos retidos em malha 325 mesh

verifica-se a influência da adição do chamote, o aumento do percentual de resíduo atribui-se à alta concentração de chamote retido em malha 325 mesh, 78%.

A composição C1 apresenta basicamente os mesmos resultados para MRF e Dap da composição STD, observa-se que o resultado do resíduo da composição C1 teve um pequeno aumento. A figura 03 permite visualizar melhor as variações nas propriedades físicas (RL, MRF, Dap e resíduo) das composições, conforme se aumenta o percentual de adição do chamote na composição STD.

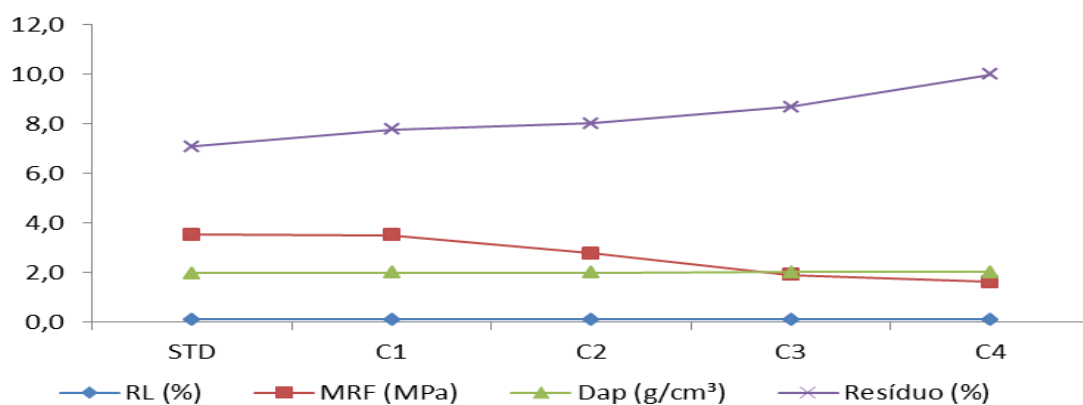


Figura 03. Caracterização física após secagem das formulações C1, C2, C3, C4 e STD.

Em seguida, serão apresentados os resultados após sinterização das composições STD, C1, C2, C3 e C4. Da mesma forma apresentada anteriormente para as argilas, as composições também foram sinterizadas utilizando dois métodos de queima. A tabela 08 mostra os resultados obtidos para as caracterizações de RL, AA, MRF, Dap e PF realizadas após a sinterização em forno mufla. A influência do chamote pode ser observada quanto à PF, que varia entre 6,58% para a composição STD e 4,31% para a composição C4, pode-se relacionar esta redução pelo fato do chamote não obter PF. Em função da adição de chamote observa-se que houve redução do MRF. A redução do MRF pode ser explicada pelo fato do chamote não apresentar plasticidade e, também, pelas condições de sinterização as quais foram submetidas às amostras, já que o referido resíduo foi considerado inerte para a temperatura de trabalho. A adição do chamote não alterou sensivelmente a AA, mantendo-se muito próxima ao valor da massa STD.

Tabela 08. Caracterização física após sinterização em forno mufla das formulações C1, C2, C3, C4 e STD.

Análises	STD	C1	C2	C3	C4
RL (%)	1,5	1,5	1,5	1,4	1,3
AA (%)	15,10	15,10	15,20	15,35	15,60
MRF (MPa)	10,51	10,23	9,00	8,25	8,16
Dap (g/cm <sup>3</sup> )	1,88	1,90	1,89	1,89	1,89
PF (%)	6,58	6,57	6,27	5,02	4,31

A tabela 09 mostra os resultados obtidos para as caracterizações de RL, AA, MRF, Dap e PF realizadas após a sinterização em forno industrial. Analisando o MRF é possível verificar que os corpos de prova sinterizados em forno mufla obtiveram maior resistência mecânica em relação às amostras sinterizadas em forno industrial. Conforme apresentado nas tabelas 08 e 09, a RL e a PF das composições obtiveram comportamentos semelhantes em ambas as situações de sinterização.

Tabela 09. Caracterização física após sinterização em forno industrial das formulações C1, C2, C3, C4 e STD.

Análises	STD	C1	C2	C3	C4
RL (%)	1,5	1,5	1,5	1,4	1,3
AA (%)	15,70	15,90	16,10	16,30	16,70
MRF (MPa)	7,35	7,18	7,04	6,97	6,80
Dap (g/cm <sup>3</sup> )	1,80	1,86	1,86	1,86	1,87
PF (%)	6,56	6,53	6,25	5,02	4,31

A influência da adição do chamote na composição STD pode ser melhor observada através da figura 04. Analisando a figura pode-se perceber o efeito da adição do chamote na composição STD quanto à AA, que aumenta gradativamente em função da adição do chamote. Para a sinterização em forno de laboratório a composição STD possui AA de 15,10% e a composição C4 possui AA de 15,60%, já para a sinterização em forno industrial a variação fica entre 15,70% para STD e 16,70% para a composição C4.

Com base na figura pode-se constatar ainda que os efeitos de tratamentos térmicos diferentes resultaram em características técnicas bastante semelhantes. O resultado que mais destaca-se é o MRF, que para a sinterização em forno mufla a partir da

composição C2 acentua-se uma queda, já para a sinterização em forno industrial observa-se basicamente uma redução suave na resistência mecânica.

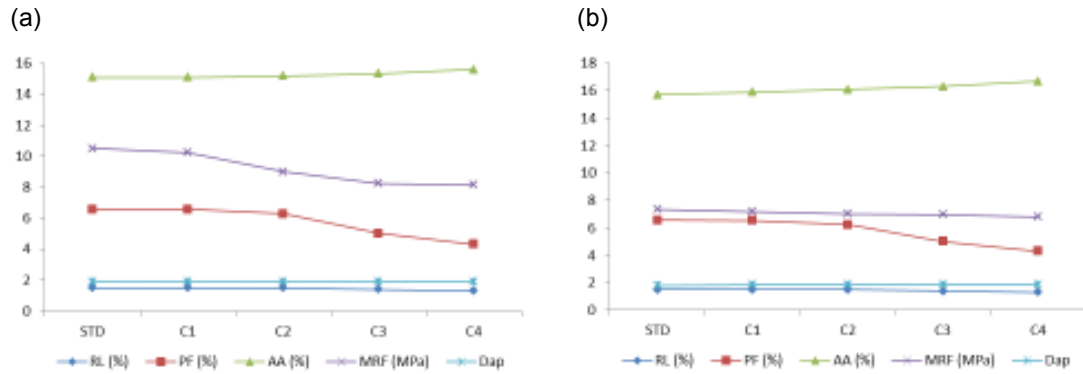


Figura 04. Caracterização física após sinterização das formulações C1, C2, C3, C4 e STD:

(a) Forno mufla; (b) forno industrial.

Para avaliar melhor as características micro estruturais as peças sinterizadas em forno industrial foram avaliadas por meio de microscopia ótica. A figura 05 mostra comparativamente as micrografias superficiais das composições STD, C1, C2, C3 e C4 com aumento de 20x.



Figura 05. Micrografias superficiais das formulações STD, C1, C2, C3 e C4 com aumento de 20x após sinterização em forno industrial.

Não foram observados defeitos superficiais nas amostras, porém pode-se perceber um leve aumento na porosidade das peças conforme é adicionado o chamote. Para a escolha da composição que seria utilizada no teste semi-industrial foram analisados cautelosamente os resultados dos ensaios técnicos descritos anteriormente. A composição C2 foi a escolhida por apresentar viabilidade técnica de acordo com a norma vigente e possibilitar a utilização total do chamote.

A tabela 10 apresenta os resultados comparativos entre a composição STD e C2, onde foram analisadas as características dimensionais (largura de fabricação, comprimento de fabricação, posição do pino, altura do pino), carga de ruptura à flexão, determinação da galga mínima, determinação da impermeabilidade, determinação de absorção d'água, determinação da planaridade, determinação de retilidade e determinação do rendimento médio conforme procedimentos descritos na norma NBR15310.

De acordo com os resultados obtidos no teste semi-industrial podemos observar que houve uma redução no MRF para a composição C2 em relação à composição STD. A composição STD apresentou 3338,6N de resistência mecânica à flexão e para composição C2 a resistência à flexão não ultrapassou 2370,1N. Outro ponto importante a ser destacado é o aumento no percentual de absorção d'água, partindo de 16,1% para (STD) e resultando em 16,8% para (C2).

Tabela 10. Caracterização física após sinterização em forno industrial das formulações STD industrial e semi-industrial com a formulação C2.

Dimensões	STS	C2	Tolerância
Largura de fabricação (mm)	270,00	271,00	270,00 (± 2%)
Comprimento de fabricação (mm)	430,00	433,00	435,00 (± 2%)
Posição do pino (mm)	390,00	400,00	400,00 (± 2%)
Altura do pino (mm)	7	7	≥7
MRF (N)	3338,6	2370,1	1300,0
Galga mínima (cm)	36,4	36,7	36,3 (± 2%)
Impermeabilidade	Impermeável	Impermeável	Impermeável
AA (%)	16,1	16,8	20
Planaridade (mm)	2	1	5
Retilidade (mm)	1	0	1



Os resultados da comparação dos ensaios de caracterização entre as formulações STD e C2 conforme NBR15310 se mostraram satisfatórios, mantendo-se entre os limites de tolerância pré-estabelecidos na norma NBR 15310.

## **5. Conclusão**

A adição de chamote à massa cerâmica pode ser uma alternativa sustentável e ecológica para o reaproveitamento correto deste resíduo, este estudo teve como objetivo viabilizar tecnicamente esta utilização. A partir da análise conjunta dos resultados apresentados neste trabalho, pode-se afirmar que a adição do chamote na massa cerâmica tem influência direta em seu comportamento técnico. Os resultados mostram que há viabilidade técnica para a utilização do chamote, desde que em proporções adequadas. Com a adição de 2% de chamote à massa STD notou-se uma redução nas características técnicas da telha, porém nada que afete a qualidade e confiabilidade das telhas hoje produzidas pela cerâmica Ouro Preto. De acordo com o teste semi-industrial a utilização de 2% de chamote adicionado à composição STD reaproveitará todo o chamote gerado pela empresa. Para um próximo trabalho pode-se realizar uma análise de custos gerados pela adição do chamote à composição STD.

## **Referências Bibliográficas**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004/2004. Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13818/1997. Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 78 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15310/2009. Componentes cerâmicos - Telhas - Terminologia, requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 47 p.

ALVES, W. A.; BALDO, J. B. O potencial de utilização de um resíduo argiloso na fabricação de revestimentos cerâmico. Parte I - Caracterização. Revista Cerâmica Industrial, v. 2, n. 5/6, p. 38-40, set./dez. 1997.

ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica - Disponível em:  
<<http://www.anicer.com.br/index.asp?pg=institucional.asp&secao=3&categoria=60&seMenu=3>>, Acesso em 5 nov. 2011.

BUSTAMANTE, G.M.; Bressiani, J.C. A Indústria Cerâmica Brasileira. Revista Cerâmica Industrial. v. 5, n. 3, p. 31-36, mai/jun, 2000.

CASAGRANDE, M.C.; Sartor, M.N.; Gomes, V.; Della, V.P.; Hotza, D.; Oliveira, A.P.N.. Reaproveitamento de Resíduos Sólidos Industriais: Processamento e Aplicações no Setor Cerâmico, Revista Cerâmica Industrial. V. 13, n. 1/2, p. 34-42, Jan/Abr , 2008.

CAMPELO, N. S. et al. Ensaio tecnológicos em cerâmica vermelha do pólo oleiro dos municípios de Iranduba e Manacapuru, AM. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 48, 2004, Curitiba. Anais... São Paulo: ABC, 2004. 1-12 p.

MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. O estado da arte Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 6, n. 2, p. 303-313, maio/ago. 2002.

MORAIS, M. R. et al. Estudo da Utilização de Resíduo Cerâmico Queimado ("Chamota") Oriundo do Pólo Oleiro dos Municípios de Iranduba e Manacapuru - AM, como Aditivo na Fabricação de Telhas. Revista Cerâmica Industrial, v. 11, n. 1, p. 44-46, jan/fev, 2006.

RODRIGUES, M.M.B. Proposta de Modelo de Qualificação evolutiva para empresas fabricantes de blocos e telhas cerâmica vermelha do Estado de Santa Catarina. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

SILVA, S. A. C. Caracterização do Resíduo da Serragem de Blocos de Granito Estudo do Potencial de Aplicação na Fabricação de Argamassas de Assentamento e de Tijolos de Solo-Cimento. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES. 1998.