

## Estudo sobre a Viabilidade de Utilização do Resíduo Proveniente do Setor de Moagem em uma Formulação de Engobe Cerâmico

Gian Garcia<sup>a\*</sup>, Guilherme E. Vanderlind<sup>a</sup>, Carolina R. M. Marques<sup>a</sup>, Aline R. Melo<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Faculdade Satc, Criciúma, SC, Brasil

\*e-mail: [giangarcia12@gmail.com](mailto:giangarcia12@gmail.com)

### Resumo

O reaproveitamento de resíduos de produção no processo de geração do mesmo é interessante tendo em vista seus aspectos econômicos e ecológicos. Essa pesquisa avaliou a possibilidade de se reaproveitar os resíduos gerados no setor de moagem no próprio processo. O resíduo utilizado apresentava contaminação por ferro metálico que resultou em um aumento da fundência quando adicionado ao engobe que se tinha como referência. O melhor resultado foi obtido utilizando 6% de resíduo e passando o engobe por processo de desferronização além de adicionar matérias-primas que corrigiram a fundência do resíduo. O melhor teste apresentou reologia, absorção, retração, cor de queima e mancha d'água satisfatórios. O único ponto negativo foi a dilatação que ficou mais baixa que o padrão.

**Palavras-chave:** resíduo, reaproveitamento, engobe.

## 1. Introdução

O sistema liberal tem como premissa básica o objetivo de se obter sempre o maior lucro possível e isso é alcançado através de várias ações, entre elas a redução das perdas de processos. Elas podem ser diminuídas ao se amenizar a situação que causa perda, ou então quando o descarte é inevitável é possível diminuir esses custos reaproveitando uma parte desse material na manufatura de um novo produto. Esse tipo de ideologia além de trazer melhores resultados ao empresário, também traz benefícios ao meio ambiente uma vez que esse material deixa de ser um rejeito e se torna um resíduo.

O processo de moagem via úmida por moinhos de bolas nas indústrias cerâmicas apresenta como principal resíduo a água proveniente da limpeza dos equipamentos. Ela traz consigo restos de esmaltes, engobes e contaminantes.

Tendo em vista essa situação se torna necessário avaliar se a água proveniente desse processo de limpeza pode ser separada do seu material sólido para que o mesmo possa voltar para o processo de manufatura.

Levando em consideração as consequências ambientais positivas que um reaproveitamento desse resíduo pode trazer a sociedade e ao meio ambiente, o presente trabalho tem por objeto avaliar as características do rejeito proveniente do decantador do setor de moagem de um colorífico cerâmico da AMREC a fim de avaliar se esse resíduo pode ser reaproveitado para formulações de engobes cerâmicos de modo que sua adição não altere significativamente as propriedades do vidro padrão.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Engobe

A qualidade dos revestimentos cerâmicos depende muito de um bom acordo entre pasta e vidro, otimizada por uma camada intermediária que compensa diferentes

dilatações térmicas. Essa camada intermediária corresponde ao engobe. Alguns dos benefícios são:

- Atenua as diferenças de composição entre os dois corpos que se querem unidos, o suporte e o vidro;
- Limita o aparecimento de defeitos na camada de vidro;
- Mascara a cor do suporte quando necessário;
- Impermeabiliza a peça a vidrar;
- Permite diminuir as camadas de vidro aplicadas, reduzindo o custo do produto<sup>1</sup>.

Já Gonçalves<sup>2</sup> comenta que o engobe cerâmico é uma camada intermediária aplicada entre o biscoito (suporte) e o vidro cerâmico (esmalte). Sua principal função é opacificadora, ocultando a coloração do substrato cerâmico, preparando esta superfície para a aplicação do vidro e decoração. Contudo, outras funções são atribuídas ao engobe: composto intermediário para atenuar as diferenças físico-químicas entre o biscoito e o vidro, contribuindo positivamente para o acordo massa-vidro; camada impermeabilizante, evitando os efeitos da penetração de umidade através do biscoito poroso. Portanto, um engobe de qualidade deve ser opaco, apresentar a coloração mais branca possível, ser impermeável, compatível com o vidro e o biscoito, e ter uma curva reológica adequada ao tipo de aplicação utilizada<sup>3</sup>.

O engobe possui em sua formulação matérias-primas encontradas tanto no vidro quanto no suporte, isso devido a necessidade que ambos se fixem. Geralmente são compostos por 20-60% de frita (podendo ser também isentos) e o restante de matérias-primas, principalmente argilas, feldspato, alumina e zircônio<sup>4</sup>.

## 2.2. Resíduo

O dicionário Santos<sup>5</sup> define resíduo como: 1. O que resta. 2. O que resta de substâncias submetidas à ação de diversos agentes: as cinzas são o resíduo da combustão da lenha.

Praticamente todo processo produtivo gera resíduo, o processo de fabricação de pavimentos cerâmicos não é diferente. Há resíduo em diversas etapas, destaca-se o setor de moagem e decoração (aplicação do engobe e do esmalte)<sup>6</sup>.

É importante destacar as diferenças existentes entre o resíduo e o rejeito. Garcia<sup>7</sup> defende que a partir do que sobra de determinado produto (embalagem, casca) ou processo (uso do produto) é que o resíduo sólido é gerado, mas ele pode ser consertado, servir para outra finalidade (reutilização) ou até ser reciclado. Já o rejeito é um tipo específico de resíduo sólido quando todas as possibilidades de reaproveitamento ou reciclagem já tiverem sido esgotadas e não houver solução final para o item ou parte dele, trata-se de um rejeito, e as únicas destinações plausíveis são encaminhá-lo para um aterro sanitário licenciado ambientalmente ou incineração.

Em resumo, o rejeito não pode ser reciclado, o resíduo sim. Como no processo de moagem os dejetos provenientes são, na maioria dos casos, sobras do mesmo material, eles se classificam na classe do resíduo, conseqüentemente é necessário encontrar alternativas para reutilizá-lo<sup>8</sup>.

## 2.3. Moagem em moinho de bolas

Na indústria cerâmica comumente são utilizados moinhos de bolas, esses equipamentos são constituídos por uma carcaça cilíndrica de metal e no seu interior são revestidos de alta alumina. Os elementos moedores podem ser também de alta alumina, seixos rolados ou ágatas. A Figura 1 apresenta as vistas frontal e lateral dos moinhos de bolas.

Ribeiro e Abrantes<sup>9</sup> defendem a utilização desse tipo de equipamento nas indústrias cerâmicas: “o moinho de

bola, ou moinho Alsing, é um equipamento de moagem bastante utilizado na indústria cerâmica, nomeadamente para a moagem de pastas, ou dos seus componentes duros (principalmente em cerâmica de pavimentos, revestimentos, sanitários, louça utilitária e decorativa)”.

Esse tipo de equipamento apresenta como principal característica a utilização de água e a necessidade de carga e descarga entre as moagens (processo em batelada). Cada troca de produção se faz necessário que esses equipamentos sejam lavados, a água proveniente dessa limpeza é destinada para tanques de decantação e é esse resíduo que será utilizado no trabalho<sup>10</sup>.

## 3. Procedimentos Experimentais

Para dar início ao trabalho obteve-se o rejeito que seria utilizado na formulação do engobe. Este rejeito foi retirado das canaletas do setor de moagem, sendo o mesmo proveniente da lavagem dos moinhos ao fim de cada processo.

O rejeito foi seco em estufa laboratorial numa temperatura de  $150 \pm 10^\circ\text{C}$  e posteriormente, destorroado em almofariz e peneirado em malha de 32 mesh. Com o material preparado, foi possível iniciar o processo de formulação do engobe, sendo que este foi dividido em três etapas.

### 3.1. Etapa 1

Devido ao pouco conhecimento das características do material a ser reaproveitado decidiu-se, na primeira etapa, realizar um gradiente, onde foram feitas fórmulas utilizando 2, 4, 6, 8 e 10% do rejeito em substituição da FRITA 2, conforme Tabela 1. Foi escolhida esta frita, pois acreditava-se que o rejeito teria características semelhantes a mesma, obtendo-se desta forma, menores variações das características dos engobes testes em relação ao engobe padrão sem a presença do rejeito.

As fórmulas foram pesadas em cargas de 200g cada e moídas em moinho laboratorial (periquito) com 35%

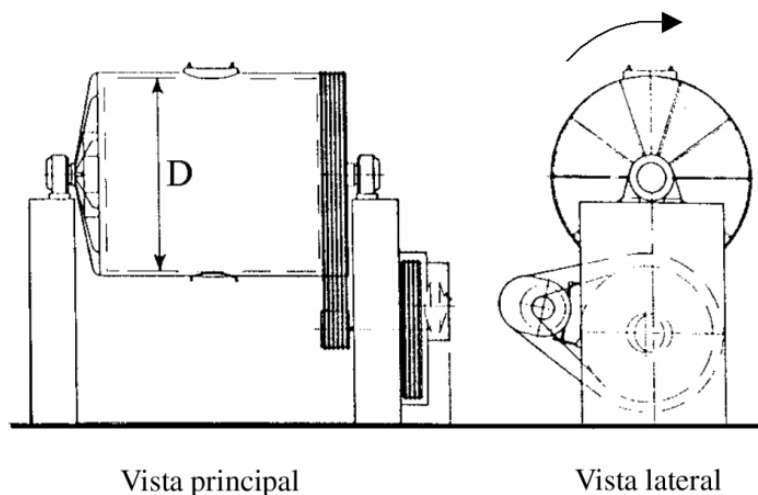


Figura 1. Vista frontal e lateral do moinho de bolas. Fonte: Ribeiro e Abrantes<sup>9</sup>.

**Tabela 1.** Formulações desenvolvidas na etapa 1.

	<b>PADRÃO</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
FRITA 1	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2
FRITA 2	<b>10,0</b>	<b>8,0</b>	<b>6,0</b>	<b>4,0</b>	<b>2,0</b>	-
VIDRO	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
QUARTZO	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
FELDSPATO	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
DOLOMITA	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
ARGILA 1	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
ARGILA 2	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
ALUMINA	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
REJEITO	-	<b>2,0</b>	<b>4,0</b>	<b>6,0</b>	<b>8,0</b>	<b>10,0</b>
DEFLOCULANTE 1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
BENTONITA	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

de água. Com os engobes moídos, mediu-se a densidade e tempo de escoamento, além do resíduo de moagem passante em malha de 325 mesh. Todas as densidades foram corrigidas para  $1,83 \text{ g/cm}^3$  e o resíduo de moagem foi fixado entre 2,0 e 2,5%.

Tendo-se as amostras preparadas aplicou-se as mesmas numa base cerâmica com camada de 0,2mm, e sobre elas também se aplicou uma camada de 0,3mm de esmalte, a fim de avaliar a opacidade e a cor que os engobes iriam proporcionar. Sendo assim, a base foi levada a queima em forno semi-industrial, com temperatura de  $1110^\circ\text{C}$  e 25 minutos de ciclo.

### 3.2. Etapa 2

Os primeiros resultados não foram satisfatórios, não apresentando cor e cobertura desejada, além da presença de pontos pretos em todos os testes. Por isso decidiu-se utilizar imãs magnéticos para uma possível remoção de contaminações presentes e fazer ajustes um pouco mais intensos nas formulações desenvolvidas. Essa nova parte do trabalho foi definida como etapa 2.

Como dito anteriormente, nesta etapa foram feitas alterações na formulação dos testes, conforme Tabela 2, a fim de se obter um melhor resultado, principalmente em relação à opacidade, cor e fundência, e também nesta etapa deu-se uma atenção especial para uma característica muito importante em engobes, que é a mancha d'água, procurando, assim como todas as outras características, alcançar uma condição igual ou melhor que a apresentada no engobe padrão. As novas formulações foram desenvolvidas a partir da fórmula com 6% de rejeito.

As etapas de pesagem, moagem, aplicação e queima dos engobes foram realizadas exatamente nas mesmas condições da etapa 1.

### 3.3. Etapa 3

Após a etapa 2 obteve-se uma formulação de engobe aprovada em relação as características avaliadas inicialmente, como cobertura, fundência e mancha d'água. Partiu-se então para uma próxima etapa, denominada etapa 3, a fim de realizar uma caracterização mais detalhada do engobe

aprovado, avaliando dilatação térmica e retração e absorção de queima. Além disso foi realizada uma modificação nos aditivos da fórmula aprovada, buscando melhores condições reológicas.

## 4. Resultados e Discussões

Com a queima dos engobes na primeira etapa do trabalho, percebeu-se que à medida que foi aumentado o percentual de rejeito os testes ficaram mais fundentes e com isso perdendo opacidade. Os testes que possuíam 2 e 4% de rejeito não sofreram muitas alterações quando comparados ao padrão, porém apresentaram uma baixa redução de custo, já os testes com 8 e 10% de rejeito obtiveram características mais distintas, principalmente quando se refere a fundência. Com isso decidiu-se fixar uma quantidade de 6% de resíduo, já que o teste com este percentual apresentou características intermediárias quando comparadas com os outros testes, inclusive em relação à redução de custo. Nesta primeira etapa, também havia sido percebido a presença de pontos pretos no esmalte aplicado sobre os engobes testes e a hipótese de contaminação do rejeito por metais provenientes do desgaste dos moinhos foi comprovada, uma vez que, como pode-se perceber na Figura 2, houve uma grande concentração de metais acoplados no imã quando este foi mergulhado no engobe teste.

Como já se imaginava, o imã foi de grande eficiência e reduziu a quase zero a presença dos pontos pretos, facilitando desta forma, o desenvolvimento de um engobe com as mesmas características do engobe padrão. Para atingir o resultado desejado foi necessário, a partir daí, realizar modificações na formulação do engobe, adicionando ou retirando matérias-primas e fritas conforme as características que se desejava. As mudanças mais significativas foram a retirada do restante da FRITA 2 a fim de diminuir a fundência e também da Alumina para reduzir ainda mais o custo da fórmula.

Como citado no procedimento, também foram necessários ajustes nos percentuais dos aditivos da fórmula do engobe teste. Foram diminuídos os percentuais de Defloculante 1

e Bentonita e adicionado um segundo defloculante que possui mecanismo de estabilização eletroestérica, o mais eficiente entre os defloculantes. Desta forma, obteve-se a fórmula aprovada presente na Tabela 3, com características satisfatórias em relação a cor, cobertura, fundência, mancha d'água e condições reológicas.



Figura 2. Imã utilizado.

#### 4.1. Tempo de escoamento

Conforme mencionado anteriormente foram necessárias modificações nos teores de aditivos a fim de obter melhores condições reológicas. Na Figura 3, tem-se a comparação entre os tempos de escoamento dos engobes padrão, teste sem correção reológica e o teste final já com alteração dos aditivos, medidos ao fim da moagem e também 24h após a mesma.

#### 4.2. Mancha d'água

Durante as etapas iniciais notou-se que os engobes desenvolvidos apresentaram maior mancha d'água, diante disso adicionou-se o talco, uma ótima matéria-prima quando o objetivo é diminuir a propagação da água para a superfície da base cerâmica devido a sua estrutura de composição. Dessa forma, obteve-se um engobe com menor mancha d'água.

#### 4.3. Dilatação térmica

Os resultados de dilatação térmica se mostraram um pouco distintos, uma vez que o engobe padrão apresentou uma dilatação de  $90,6^{\circ}\text{C}^{-1}$ , enquanto o teste aprovado pela equipe apresentou  $83,6^{\circ}\text{C}^{-1}$ . Este é um ponto que deve ter uma atenção especial, pois diferenças de dilatações podem ocasionar alguns problemas, como empeno, por exemplo.

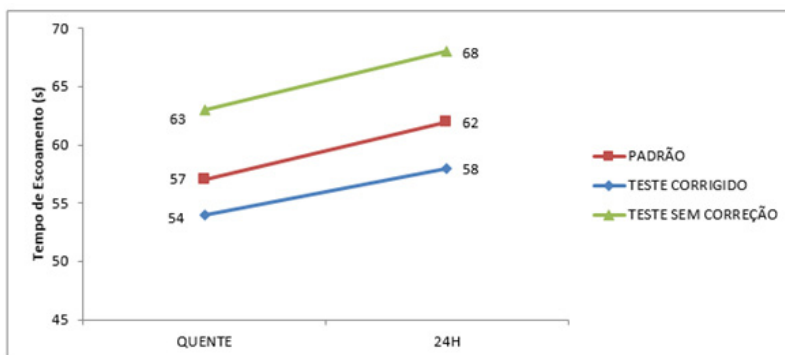


Figura 3. Gráfico referente aos tempos de escoamento a quente e a frio.

Tabela 2. Formulações desenvolvidas na etapa 2.

	C1	C2	C3
FRITA 1	20,2	20,2	20,8
FRITA 2	-	-	-
VIDRO	2,0	2,0	2,0
QUARTZO	30,0	30,0	30,0
FELDSPATO	15,0	15,0	14,0
DOLOMITA	9,0	9,5	9,0
ARGILA 1	9,0	7,5	6,0
ARGILA 2	6,0	7,0	7,0
ALUMINA	1,6	1,6	-
REJEITO	6,0	6,0	6,0
DEFLOCULANTE 1	0,5	0,5	0,5
BENTONITA	0,7	0,7	0,7
	100,0	100,0	100,0

**Tabela 3.** Melhor formulação teste.

	PADRÃO	C4
FRITA 1	16,2	21,0
FRITA 2	10,0	-
VIDRO	3,0	2,0
QUARTZO	30,0	30,0
FELDSPATO	14,0	14,0
DOLOMITA	8,0	9,0
ARGILA 1	11,0	6,0
ARGILA 2	5,0	7,0
ALUMINA	1,6	-
REJEITO	-	6,0
DEFLOCULANTE 1	0,5	0,4
BENTONITA	0,7	0,5
DEFLOCULANTE 2	-	0,1
	100,0	100,0

**Tabela 4.** Resultados de retração e absorção d'água.

AMOSTRA	RETRAÇÃO	ABSORÇÃO
PADRÃO	1,15%	18,89%
TESTE C3	0,55%	20,77%

Sendo assim, diante de um possível teste em escala industrial, será necessário acompanhar o aparecimento destes possíveis defeitos, e com algumas leves alterações na formulação do engobe, resolvê-los.

#### 4.4. Retração e absorção de queima

Para finalizar a caracterização do engobe padrão e do engobe desenvolvido para uma posterior comparação foram realizados os ensaios de retração e absorção de queima. Se torna importante o conhecimento destes valores, pois com estes pode-se saber, por exemplo, o quão fundente ou refratário é o material, o que auxilia posteriormente na solução de alguns possíveis defeitos. Como pode-se perceber na Tabela 4, os resultados para ambos engobes se mantiveram próximos, e que se trata de um engobe altamente refratário já que apresentou baixíssima retração e uma alta absorção de queima.

## 5. Conclusões

Com o término do presente estudo pode-se concluir que os rejeitos são aqueles materiais que são impossibilitados de retornar ao processo de produção e que por isso devem ser descartados, sendo assim, a descoberta de uma utilização deste tipo de material é muito importante, uma vez que podem gerar gastos extras e, principalmente, agredir o meio ambiente.

Diante dos resultados obtidos percebe-se que é possível o desenvolvimento de um engobe utilizando rejeito do setor de moagem de um colorífico cerâmico, uma vez que através de alterações na formulação consegue-se alcançar resultados iguais ou até mesmo mais satisfatórios.

Além das características técnicas desejadas, alcançou-se uma redução significativa no custo do material, obtendo

uma redução de 6 centavos por quilo. Tratando de um engobe com consumo mensal de 100.000kg, por exemplo, obtém-se uma redução de R\$ 6.000,00 ao mês e R\$ 72.000,00 anuais.

Por fim, a equipe deixa como sugestão para uma possível continuação do trabalho, a realização de um teste em escala piloto, e obtendo resultados satisfatórios, prosseguir para um teste em escala industrial, para desta forma utilizar o mesmo na produção de revestimentos cerâmicos.

## Agradecimentos

A equipe agradece à Empresa Colorminas Colorífico e Mineração S.A. pela infraestrutura disponibilizada e pelos materiais cedidos.

## Referências

- AMOROS, J. L., et ali. Acordo Esmalte-Suporte (I) - A falta de acordo como causa do empenamento. Revista Cerâmica Industrial. São Paulo, Agosto/Dezembro. 1996, p.6.
- GONÇALVES, P. S., SUSTER, M., FLOR, R. S. Reformulação de Engobes Visando a Substituição de Zirconita. Cerâmica Industrial, São Paulo, v. 1, n. 5, p.1-3, jan. 2000. Mensal. Disponível em: <[http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v05n01/v5n1\\_5.pdf](http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v05n01/v5n1_5.pdf)>. Acesso em: 18 jul. 2015.
- MELCHIADES. Fabio G., BARBOSA, Andréa R.D., BOSCHI, Anselmo O. Relação entre a Curvatura de Revestimentos Cerâmicos e as Características da Camada de Engobe. Revista Cerâmica Industrial. São Paulo, Março/Abril. 2000. p.29.
- ABRIL, F. I. L. H. O. Oscar de. Esmaltes, Esmaltação e Variação de Tonalidade. Revista Cerâmica Industrial. São Paulo, 1999, p.40.
- SANTOS. Débora Ribeiro et al. Dício. São Paulo: Folha de São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.dicio.com.br/residuo/>>. Acesso em: 13 jul. 2016.
- MODESTO, C., et ali. Caracterização Tecnológica de Rejeitos Industriais de Xisto para Fabricação de Grês Vermelho. Revista Cerâmica Industrial. São Paulo, Janeiro/Fevereiro. 2005. p.41.
- GARCIA. Karla Giuliane Gomes. A LOGÍSTICA REVERSA PARA OS RESÍDUOS ELETRÔNICOS COMO PROTEÇÃO AO MEIO AMBIENTE NO BRASIL. Revista do Ceds, Dom Bosco, v. 1, n. 2, p.1-12, jul. 2015. Semestral. Disponível em: <[http://www.undb.edu.br/publicacoes/arquivos/revceds\\_n\\_2\\_logistica\\_reversa\\_para\\_os\\_residuos\\_eletronicos\\_karla\\_giuliane\\_gomes\\_garcia.pdf](http://www.undb.edu.br/publicacoes/arquivos/revceds_n_2_logistica_reversa_para_os_residuos_eletronicos_karla_giuliane_gomes_garcia.pdf)>. Acesso em: 14 jul. 2016.
- FATTA, D. et al. Generation and management of construction and demolition waste in Greece – an existing challenge. **Resources, Conservation and Recycling**, n. 40, 81-91, 2003.
- RIBEIRO. Manuel Joaquim P. M.; ABRANTES, Joao Carlos Castro. Moagem em Moinho de Bolas: Estudo de Algumas Variáveis e Otimização Energética do Processo. Cerâmica Industrial, Avero, v. 2, n. 6, p.7-11, Março/Abril. 2001. Bimestral. Disponível em: <[http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v06n02/v6n2\\_1.pdf](http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v06n02/v6n2_1.pdf)>. Acesso em: 19 jul. 2016.
- NANDI, V. S., MONTEDO, O. R. K. Otimização do Processo de Moagem de Engobes Cerâmicos para Produção de Revestimento. Revista Cerâmica Industrial. São Paulo, Julho/Agosto. 2009. p.24.