

Reaproveitamento de Lodo Cerâmico de Estação de Tratamento de Efluentes para a Produção de Esmaltes

**Vitor de Souza Nandi^{a,d}, Tiago Savi Mondo^d, Bianca Goulart de Oliveira^e,
Oscar Rubem Klegues Montedo^{c*}, Antonio Pedro Novaes de Oliveira^{a,b}**

^aPrograma de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PGMAT

^bDepartamento de Engenharia Mecânica, Núcleo de Materiais Cerâmicos e Vidro,
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis - SC, Brasil

^cUniversidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma - SC, Brasil

^dCerâmica Novagres Ltda, Urussanga - SC, Brasil

^eUniversidade da Região de Joinville – UNIVILLE, Joinville - SC, Brasil

*e-mail: oscar.rkm@gmail.com

Resumo: O processo de fabricação de cerâmica de revestimento gera, em maior ou menor grau, quantidades significativas de resíduos sólidos, o que caracteriza um problema importante para as indústrias produtoras de pavimentos cerâmicos. Neste contexto, este artigo reporta resultados de um estudo experimental, levando em consideração também os custos envolvidos, sobre a utilização de resíduo de estação de tratamento de efluentes (ETE), conhecido também como “lodo cerâmico”, para a produção de esmaltes. Amostras do resíduo foram oportunamente coletadas e esmaltes, para o recobrimento de placas cerâmicas, com propriedades interessantes (PEI V, classe de limpabilidade 5 e dureza Mohs 7) para pavimentação de ambientes externos como calçadas, foram formulados, aplicados e caracterizados, do ponto de vista de suas propriedades reológicas, químicas e físicas. As placas cerâmicas esmaltadas obtidas evidenciam a possibilidade de valorização de resíduos descartados por meio da sua reintrodução no processo produtivo, para a obtenção de produtos com propriedades compatíveis com aquelas prescritas pelas normas de certificação e qualidade de produtos cerâmicos com ganho econômico. De fato, uma redução de 95% dos custos referentes somente ao custo do esmalte pode ser obtida para uma produção mensal de 37.347 m² com qualidade relativa de 92%.

Palavras-chave: *resíduos, esmaltes, lodo, cerâmica, estação de tratamento de efluentes.*

1. Introdução

Com o desenvolvimento industrial (séc. XVIII), o modelo ou estratégia de desenvolvimento das nações consolidou suas bases técnicas e sociais¹. O objetivo principal era o crescimento econômico, em curto prazo, mediante a utilização de novos processos produtivos e a exploração intensiva de energia e matérias-primas, cujas fontes eram consideradas infinitas. Este modelo gerou grandes excedentes de riqueza econômica, mas trouxe grandes problemas sociais e ambientais, entre eles os resíduos.

A estratégia das empresas em obter melhorias de desempenho ambiental está inserida na sua função social, pois além de atender à vontade de seus clientes, melhora os relacionamentos com órgãos ambientais de controle e com a sociedade em geral². Seguir apenas os padrões mínimos expressos na legislação ambiental não é considerado suficiente para manter vantagens competitivas, sobretudo no mercado externo.

A visão preservacionista pode e deve existir, porém deve ser limitada a regiões específicas, pois hoje é difícil a aceitação de condições de vida que signifiquem abrir mão de confortos materiais já alcançados ligados ao uso de combustível, energia e bens materiais imprescindíveis à vida moderna³. Dentro deste contexto, já está sendo discutido um modelo econômico que considera o valor real para produtos obtidos por meio de matérias-primas não renováveis⁴ que, além de apresentar uma nova forma de calcular os custos industriais, também atribui o ônus do tratamento e beneficiamento dos rejeitos a seus produtores. A valorização do capital natural é de tal forma inevitável, que o desenvolvimento de tecnologia verde (Green Integrated Technology) pode ser uma das maiores tendências tecnológicas dos próximos vinte anos⁵.

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, 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. Este conjunto de fatores se expressa diretamente em políticas estatais de preservação ambiental e mesmo em textos normativos da série ISO 14000, que serve de base para transações comerciais.

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 (ISO 14040).

De fato, o desenvolvimento de trabalhos de pesquisa que contemplem a utilização de resíduos⁶⁻¹⁷, dentro de uma visão que trata estes poluentes como matérias-primas importantes para aplicações com maior valor agregado, visando a sua transformação em bens úteis para a sociedade e a proteção do meio ambiente, é uma iniciativa importante e necessária.

A utilização dos resíduos por meio das indústrias cerâmicas pode ser viabilizada pela substituição de uma ou mais matérias-primas da composição original por resíduo, mantendo-se o processo de produção igual ao convencionalmente utilizado, a fim de que as propriedades do produto sejam reproduzidas¹⁸.

Neste caso, a estação de tratamento de efluentes (ETE) da Cerâmica Novagres Ltda gera cerca de 30 t de lodo por mês, o que permite uma produção de aproximadamente 37.347 m² (formato 45 × 45 cm). No entanto, a capacidade produtiva instalada da empresa é de 300.000 m².

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de esmaltes a partir de resíduos da estação de tratamento de efluentes da Cerâmica Novagres Ltda para aplicação em placas para pavimentos cerâmicos. Aspectos econômicos referentes a custos para disposição do rejeito e sua utilização serão também considerados, evidenciando, desta maneira, a viabilidade técnica e econômica de aplicação industrial de um rejeito ora descartado.

2. Procedimento Experimental

Primeiramente, uma amostra representativa do rejeito de esmalte cerâmico, conhecido também como raspa de esmalte (lodo contendo 30% de umidade) foi coletada para caracterização em quatro pontos diferentes do lote. Após quarteamento, o resíduo foi moído em moinho gira-jarro por 6 minutos, adicionando-se água em quantidade suficiente para que se obtivesse uma barbotina com aproximadamente 65% de sólidos. Uma alíquota desta barbotina foi aplicada sobre a camada de engobe padrão de uma placa cerâmica, com o auxílio de um Binil Servitech, para que fosse possível a visualização de cor de queima e a avaliação da dureza ao risco na escala Mohs, conforme norma NBR 13818/97 - Anexo V, da resistência ao desgaste superficial por meio do método PEI (abrasímetro Servitech), conforme norma NBR 13818/97 - Anexo D, e da determinação do brilho superficial por meio de um equipamento para medida do brilho superficial BYK-GARDNER Instruments, modelo Micro Tri-Gloss μ , com ângulo de 60° em peças queimadas a 1180 °C em 48 minutos em forno a rolos Barbieri e Tarozzi de 156 m da Cerâmica Novagres Ltda. O potencial de emprego deste resíduo como um esmalte cerâmico para aplicação em um produto com superfície em relevo foi confirmado por intermédio da comparação dos resultados de caracterização obtidos com os padrões laboratoriais existentes na empresa. A seguir, foi preparado um esmalte (suspensão) estável reologicamente a partir do resíduo, contendo a formulação mostrada na Tabela 1. Em um moinho gira-jarro, foram adicionados o resíduo, a água, o tripolifosfato de sódio (TPF) e o carboximetilcelulose (CMC) para moagem por apenas 20 minutos, após o qual foi adicionado o defloculante Disperlam LD6. O esmalte obtido apresentava resíduo de moagem (peneira de laboratório Servitech malha 325 mesh) de 0,65%, densidade (densímetro Servitech) de 1,59 g.cm⁻³, tempo de escoamento (viscosímetro Servitech Copo Ford n° 4) de 43 segundos e teor de sólidos de 65%.

Subsequentemente, o esmalte foi aplicado, em escala laboratorial, por meio de uma pistola a ar comprimido, já que a superfície da base cerâmica escolhida apresentava relevos acentuados, para avaliação das características superficiais de aplicação, como textura. A etapa seguinte foi a produção de uma carga de esmalte, em escala semi-industrial, com o intuito de se avaliar o desempenho do esmalte em condições de produção. Para isto, os materiais necessários para se obter 300 kg de esmalte com a formulação mostrada na Tabela 1 foram moídos em moinho rotativo descontínuo revestido em alta alumina e com bolas de alta alumina por 1 hora. Ao final da moagem, obteve-se um esmalte com as seguintes características físicas: resíduo de moagem entre 0,50 e 1%, densidade de 1,54 g.cm⁻³ e tempo de escoamento de 38 segundos. A seguir, o esmalte foi descarregado em peneira

Tabela 1. Formulação do esmalte de rejeito.

Material	Proporção (% em massa)
Resíduo (lodo)	83,9
CMC MB5	0,2
TPF	0,5
Disperlam LD6	0,4
Água	15

vibratória com malha 100 mesh ($d_p < 150 \mu\text{m}$). Uma alíquota deste esmalte foi coletada para medida do coeficiente de expansão térmica linear em um dilatômetro BP Engenharia (RE 3000-20). Na sequência, o esmalte foi aplicado por meio de cabine de disco para a obtenção de um revestimento cerâmico esmaltados com elevados PEI e resistência ao risco. Granilha com hematita foi empregada para obter-se um efeito metálico com pontos brilhantes. As placas esmaltadas foram, então, queimadas em forno a rolos Barbieri e Tarozzi de 156 m da Cerâmica Novagres Ltda, a temperatura máxima de 1180 °C (patamar de queima de 7 minutos) e ciclo total de 48 minutos. Após a queima, as placas foram preparadas para a determinação da dureza ao risco, na escala Mohs, da resistência ao desgaste superficial e da resistência ao atrito, conforme norma NBR 13818/97 - Anexo N.

3. Resultados e Discussão

A Figura 1 mostra uma fotografia referente a uma placa cerâmica (queimada) esmaltada com a suspensão inicialmente preparada, contendo somente água e lodo. Como é possível observar a partir da análise da Figura 1, o esmalte obtido não apresenta características técnicas adequadas para a fabricação de um produto com um mínimo de qualidade, em particular estética, já que inúmeras fissuras de secagem foram originadas e evidenciadas muito claramente após processo de queima.

Apesar das fissuras evidenciadas nas amostras preparadas e queimadas, os demais parâmetros, normalmente utilizados no desenvolvimento de esmaltes, isto é, cor de queima, dureza ao risco, resistência à abrasão superficial (PEI) e brilho, apresentaram resultados compatíveis com os padrões utilizados na empresa.

Para resolver o problema das fissuras, um ajuste composicional otimizado da formulação (com a introdução de aditivos), como mostrado na Tabela 1, foi realizado com sucesso. De fato, o esmalte, após processo de queima (1180 °C/7 minutos - ciclo total de 48 minutos), apresentou coeficiente de expansão térmica linear de $62,1 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}$, sendo compatível dilatometricamente com o esmalte padrão utilizado na empresa, o qual apresenta um coeficiente de expansão térmica linear de $61,0 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}$, e com o engobe e a massa que constituem as placas cerâmicas da Cerâmica Novagres Ltda. Além disso, sendo o esmalte preparado e obtido fundamentalmente branco, é possível, como ilustram as fotografias da Figura 2, produzir placas cerâmicas esmaltadas com diferentes cores por meio da introdução

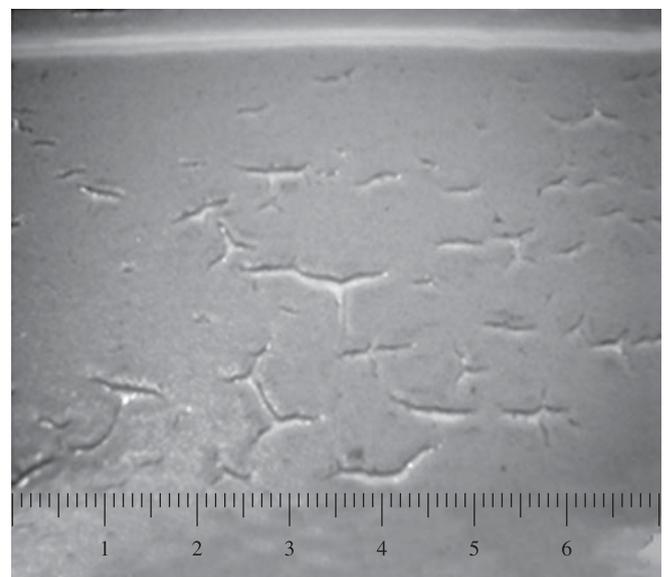


Figura 1. Fotografia referente a uma placa cerâmica esmaltada (aplicação com aerógrafo) com suspensão (65% de sólidos) do lodo (com aproximadamente 45% esmalte, 45% de engobe e 10% de massa) sem aditivos e queimada a 1180 °C em 48 minutos.

de um corante apropriadamente selecionado. Como pode ser visto na Figura 2, além das possibilidades cromáticas, é possível também obter esmaltes com texturas mate e áspera (quando apenas uma camada de esmalte é aplicada) e com pouco brilho, indicando elevadas resistências ao risco e à abrasão. Os efeitos de textura e relevo podem ser obtidos em função do processo de aplicação do esmalte e das características físicas e reológicas do esmalte. De fato, a aplicação por meio de campânula (formação de véu), apesar de bastante utilizada, requer um esmalte com boa consistência, isto é, tempo de escoamento entre 30 e 60 segundos e densidades em torno de $1,80$ a $1,86 \text{ g.cm}^{-3}$, enquanto processos a disco admitem menores valores de tempo de escoamento e densidade (neste trabalho: densidade de $1,54 \text{ g.cm}^{-3}$ e tempo de escoamento de 38 segundos) razão pela qual foi o processo utilizado neste trabalho. Além disso, não foi possível obter valores de densidade, para o esmalte formulado, maiores que $1,60 \text{ g.cm}^{-3}$.

A partir dos produtos obtidos, foram realizados alguns ensaios de produto acabado (Tabela 2) os quais são importantes para avaliar a qualidade e durabilidade de produtos que devem ser colocados no mercado. Como pode ser visto, a partir dos resultados da Tabela 2, o esmalte formulado apresenta nível e classe máximos de resistência

à abrasão e de limpabilidade (PEI V, Classe 5) com dureza análoga a do quartzo (Mohs 7), indicando que os produtos obtidos com o esmalte desenvolvido podem ser utilizados em locais de alto tráfego e em áreas e ambientes externos.

4. Conclusões e Considerações Finais

Placas cerâmicas esmaltadas com esmalte formulado a partir de rejeito/resíduo denominado lodo cerâmico proveniente de ETE da Cerâmica Novagres Ltda foram obtidas com sucesso através de aplicação de suspensão de esmalte por meio de discos e subsequente processo de monoqueima. Sendo fundamentalmente branco o esmalte base obtido, foi possível obter uma grande variedade de efeitos cromáticos associados também a efeitos de relevo superficial. Ensaio típicos de produto acabado indicaram que o produto tem forte potencial para ser utilizado em locais de alto tráfego e em áreas e ambientes externos.

Além das características positivas e intrinsecamente relacionadas ao esmalte e aos produtos obtidos, convém salientar também os aspectos relacionados à gestão/operacionalização de resíduos desta natureza, seu valor e seu impacto sobre a qualidade e custo de fabricação de placas de cerâmica de revestimento.

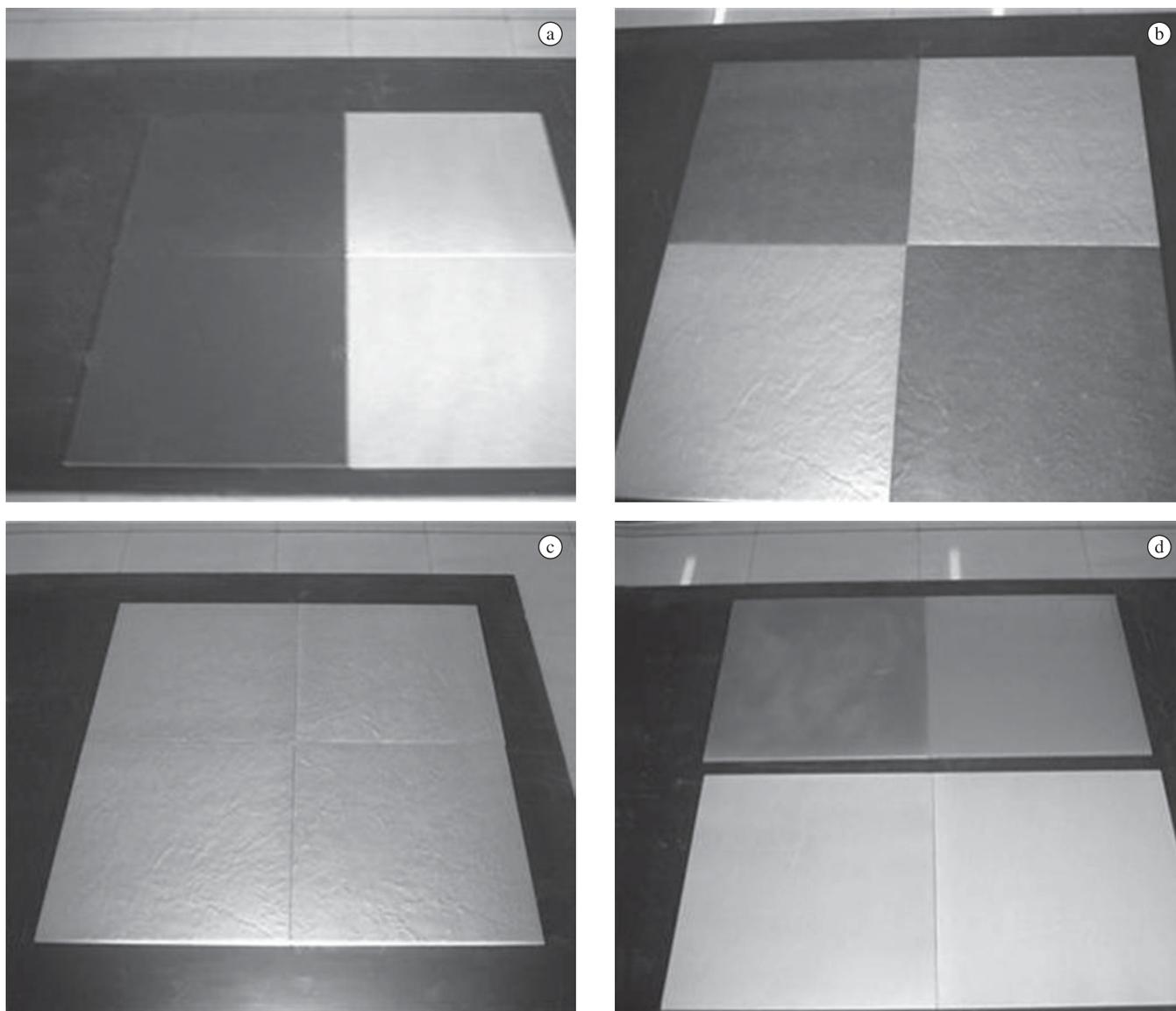


Figura 2. Fotografias referentes às placas cerâmicas esmaltadas (formato: $45 \times 45 \text{ cm}$) com o esmalte formulado (Tabela 1) e queimadas a $1180 \text{ }^\circ\text{C}/7$ minutos em 48 minutos. a) placas cerâmicas esmaltadas com esmalte sem corante (placas brancas) e com corante (placas pretas, 3% de corante preto); b) esmalte de resíduo sem corante (branco) e com 3% de corante preto e 0,6% de corante azul de cobalto; c) e d) placas com esmaltes pigmentados e com diferentes texturas. Aplicações realizadas com discos.

Tabela 2. Resultados de ensaios de produto acabado realizados em placas cerâmicas esmaltadas, com o esmalte formulado e obtido neste trabalho, e com o padrão da empresa.

Ensaio	Esmalte padrão da empresa	Esmalte formulado
Resistência à abrasão (PEI)	V	V
Dureza ao risco (Mohs)	7	7
Classe de limpabilidade	5	5

De fato, quando se trata da utilização de resíduos para a fabricação de outros produtos, em particular esmaltes cerâmicos, a manutenção das características e propriedades do resíduo é um problema que deve ser considerado com atenção, já que modificações relacionadas aos tipos de esmaltes, corantes e massas acontecem ao longo do tempo, afetando principalmente a tonalidade dos esmaltes dos produtos obtidos. No entanto, a adequada disposição do resíduo na fábrica e o controle constante de características básicas relacionadas aos esmaltes pode, sem dúvida, possibilitar a utilização de resíduos desta natureza sem grandes problemas técnicos, já que, neste caso, é possível, inclusive, realizar correções de ordem composicional. Esta é uma tarefa que exige esforço e organização, mas que pode colocar a empresa em uma posição fortemente competitiva no mercado, com demonstração do uso racional de recursos naturais não renováveis.

Neste sentido, é importante uma análise do investimento necessário para a implantação de um projeto desta natureza, o que envolve, entre outras coisas, uma projeção do *pay back*.

Os principais custos envolvidos em uma atividade como esta são:

- custo de análises laboratoriais: R\$ 750,00 por mês;
- custo do transporte do resíduo: R\$ 1.800,00 por mês;
- taxa para manutenção do resíduo no aterro sanitário: R\$ 200,00 por t.

Além destes custos, as despesas com transporte e manutenção do resíduo em aterros sanitários chegam a uma média anual de aproximadamente R\$ 102.600,00, ou seja, um gasto relativamente alto, já que não haveria retorno algum do valor utilizado para este fim. A capacidade produtiva da *Cerâmica Novagres Ltda* é de 300.000 m²/mês de placas cerâmicas. Com esta produção é possível reutilizar praticamente toda a produção de lodo, viabilizando o trabalho apenas por meio da inertização do resíduo. O custo de moagem é relativamente baixo e o custo para produção de esmalte de resíduo é menor ainda, já que para efetuar a moagem é necessário pouco tempo, pois o rejeito já havia sido processado.

Através de dados de monitoramento periódico do processo produtivo, concluiu-se que o custo de produção do esmalte de rejeito era de aproximadamente R\$ 0,08/kg, considerando-se o custo de moagem por hora, custo de transporte do resíduo no percurso estação de tratamento – moinhos e também a mão de obra utilizada.

A relação custo/benefício pode ser estabelecida da seguinte maneira:

- O custo mensal para manutenção do resíduo no aterro sanitário é, em média, de R\$ 8.550,00. Se o resíduo for reaproveitado, este custo deixa de existir;
- O custo para moagem deste material é de R\$ 0,08/kg, enquanto que o preço do esmalte, comprado dos coloríficos, é de aproximadamente R\$ 3,00/kg.

Assim, tem-se uma economia mensal de R\$ 6.150,00, que representa a diferença entre o custo de descarte e o custo de moagem do resíduo, considerando-se a moagem de todo o resíduo gerado, que é de cerca de 30 t/mês.

Desta maneira, uma produção mensal de formato 45 × 45 cm com consumo de todo o resíduo gerado, resulta em aproximadamente 37.347 m²/mês de placas cerâmicas esmaltadas com qualidade relativa de 92%. Esta mesma produção realizada com a compra de esmaltes preparados custaria à empresa R\$ 82.797,00, enquanto que se utilizando como base o esmalte de resíduos este custo passa a ser

de R\$ 2.208,00, o que representa uma redução de 95% tendo como base apenas o custo do esmalte. Considerando um preço de venda do novo produto de R\$ 16,00/m², conclui-se que o faturamento mensal, correspondente à produção de 37.347 m² de placas cerâmicas, é de aproximadamente R\$ 597.550,00/mês. Como o custo do esmalte corresponde a cerca de 20% do valor do produto final, economiza-se aproximadamente R\$ 119.510,00/mês somente com a venda dos 37.347 m². Excluindo-se os custos referentes à moagem e descarte do resíduo, é possível economizar R\$ 128.060,00/mês ou R\$ 1.536.725,00/ano, demonstrando-se, desta maneira, que uma iniciativa desta natureza pode gerar lucro e melhorar a imagem da empresa frente aos órgãos ambientais e a sociedade em geral.

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

1. TOFFLER, A. **A terceira onda**. 25 ed. São Paulo: Record, 2001.
2. BALANÇO social 2001. **Revista Expressão**, Florianópolis, v. 11, n. 112, 2001. Disponível em <<http://www.expresso.com.br>>.
3. BARBOSA, B. A natureza contra-ataca. **Revista Veja**, São Paulo, v. 34, n. 15, 2001. Disponível em: <http://veja.abril.com.br/180401/p_092.html>.
4. HAWKEN, P.; LOVINS, A.; LOVINS, H. **Capitalismo natural**. São Paulo: Cultrix, 1999. Disponível em: <<http://www.pensamento-cultrix.com.br>>.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INSTITUIÇÕES DE PESQUISA TECNOLÓGICA - ABIPTI. **Informe ABIPTI**, v. 22, n. 11, 2001. Disponível em: <<http://www.abipti.org.br>>.
6. MODRO, N. L. R.; MODRO, N. R.; OLIVEIRA, A. P. N. Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos de PET. **Revista Matéria**, v. 14, n. 1, p. 725-736, 2009.
7. SARTOR, M. N. et al. Aluminum anodizing sludge used to fabricate engobes, glazes and frits. **American Ceramic Society Bulletin**, v. 87, n. 5, p. 9201-9208, 2008.
8. CASAGRANDE, M. C. et al. Reaproveitamento de resíduos sólidos industriais: Processamento e aplicações no setor cerâmico. **Cerâmica Industrial**, v. 13, n. 1-2, p. 34-42, 2008.
9. DELLA, V. P. et al. Synthesis of hematite from steel scrap to produce ceramic pigments. **American Ceramic Society Bulletin**, v. 86, n. 5, p. 9101-9105, 2007.
10. OLIVEIRA, A. P. N. et al. Obtaining amorphous silica from acid-leached, calcined rice husk. **Industrial Ceramics**, v. 26, n. 1, p. 11-15, 2006.
11. SOUZA, F. J. P.; OLIVEIRA, A. P. N.; ALARCON, O. E. Industrial wastes used in floor tile glazes. **American Ceramic Society Bulletin**, v. 85, n. 8, p. 9101-9107, 2006.
12. DELLA, V. P. et al. Estudo comparativo entre sílica obtida por lixívia ácida da casca de arroz e sílica obtida por tratamento térmico da cinza de casca de arroz. **Química Nova**, v. 29, n. 6, p. 1175-1179, 2006.
13. OLIVEIRA, A. P. N.; LABRINCHA, J. A.; GOMES, V. Synthesis of pigments using aluminium-rich sludge. **American Ceramic Society Bulletin**, v. 84, n. 5, p. 9501-9503, 2005.
14. OLIVEIRA, A. P. N.; FOLGUERAS, M. V.; ALARCON, O. E. Glass-ceramics obtained from processed slag and fly ash. **American Ceramic Society Bulletin**, v. 84, n. 11, p. 9201-9205, 2005.
15. OLIVEIRA, A. P. N. et al. Obtenção e caracterização de materiais cerâmicos a partir de resíduos sólidos industriais. **Cerâmica Industrial**, v. 8, n. 4, p. 14-18, 2003.
16. OLIVEIRA, A. P. N.; FERNANDES, P. F.; HOTZA, D. Reciclagem do lodo da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de revestimentos cerâmicos: parte 2. **Cerâmica Industrial**, v. 8, n. 4, p. 26-32, 2003.
17. OLIVEIRA, A. P. N.; HOTZA, D.; FERNANDES, P. F. Reciclagem do lodo da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de revestimentos cerâmicos: parte 1. **Cerâmica Industrial**, v. 8, n. 2, 2003.
18. SCARINCI, G. et al. Vitrification of industrial and natural wastes with production of glass fibers. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 20, n. 14-15, p. 2485-2490, 2000.