

## Potencial Técnico e Econômico do Aproveitamento de Resíduos da Indústria de Cerâmica Vermelha

Marsis Cabral Junior<sup>a\*</sup>, Paulo Brito Moreira de Azevedo<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, São Paulo, SP, Brasil

\*e-mail: marsis@ipt.br

### Resumo

A indústria de setores tradicionais baseada em recursos naturais apresenta diversos problemas em relação ao meio ambiente. Entre os principais impactos ambientais negativos, a geração de resíduos sólidos é uma preocupação premente. No caso da indústria de cerâmica vermelha, os resíduos gerados (cacos cerâmicos) - RCV situam-se na faixa de 3% a 5% do total da sua produção no país, o que equivale a um montante anual entre 4 a 6,5 milhões de toneladas de materiais descartados. Este artigo mostra a viabilidade técnica e econômica da utilização do RCV, tendo por referência estudo de caso desenvolvido no cluster de cerâmicas estruturais localizado no Oeste do Estado de São Paulo, composto por cerca de 100 empresas, as quais geram entre 50 a 85 mil toneladas de resíduos anualmente.

**Palavras-chave:** resíduo, cerâmica vermelha, matéria-prima, viabilidade econômica.

### 1. Introdução

A cerâmica estrutural ou vermelha integra o ramo de produtos de minerais não-metálicos da Indústria de Transformação fazendo parte, em conjunto com outros setores, como os de cerâmica de revestimento, sanitários, indústria cimenteira e vidreira, do conjunto de cadeias produtivas que compõem o Complexo da Construção Civil. Tem como atividade a produção de uma grande variedade de materiais, como blocos de vedação e estruturais, telhas, tijolos maciços, lajotas e tubos, além de produtos para fins diversos como argilas piro-expandidas, objetos ornamentais e utensílios domésticos.

Trata-se de uma indústria com uma estrutura empresarial assimétrica, pulverizada e de capital estritamente brasileiro, no qual coexistem pequenos empreendimentos familiares artesanais (olarias), cerâmicas de pequeno e médio porte (com deficiências de mecanização e gestão), e empreendimentos de médio a grande porte (em escala de produção) de tecnologia mais avançada, operando com processos semi-automatizados, melhor preparação da matéria-prima, secagem forçada e fornos de queima semi-contínua ou contínua (Cabral Junior, Cruz, & Tanno, 2009).

A partir de informações da Anicer – Associação Nacional da Indústria Cerâmica (2016) estima-se que o volume anual da produção brasileira situa-se em torno de 70 bilhões de peças, grosso modo dividido em 75% de blocos, lajotas e pisos, e 25% de telhas, perfazendo um faturamento de R\$ 18 bilhões. Essa produção é quase que totalmente consumida no mercado doméstico, sendo as exportações ainda incipientes.

Apesar dos esforços e recentes avanços da indústria cerâmica brasileira, envolvendo uma série de iniciativas importantes, como melhoria dos processos industriais, maior controle e padronização dos produtos, e a sua

capacitação técnica e gerencial, um entrave importante que persiste em praticamente todos os APLs cerâmicos refere-se às perdas ao longo do processo produtivo, e que interferem na competitividade das empresas.

Quando os defeitos acontecem antes da queima, em que pese à queda de produtividade, os produtos extrudados (secos ou úmidos) podem ser reprocessados. O mesmo não acontece com as peças defeituosas queimadas, que não se tem até o momento nenhum aproveitamento em larga escala, sendo esses materiais (cacos cerâmicos), via de regra, descartados junto aos empreendimentos cerâmicos.

Além das perdas econômicas, esse processo cumulativo de resíduos tem resultado em passivos ambientais de dimensões consideráveis nas aglomerações cerâmicas, com impactos negativos que incluem a mobilização de áreas expressivas, incomodo visual e, ocasionalmente, proliferação de insetos nocivos em decorrência do acúmulo de materiais, quase sempre dispostos desordenadamente. Deve-se observar que, mesmo em manufaturas cerâmicas tecnologicamente mais sofisticadas, as perdas ocorrem, embora em taxas menores. Isto se deve à própria limitação dos processos e equipamentos utilizados nas indústrias de cerâmica vermelha no Brasil (p.ex. qualidade das matérias-primas, secadores, fornos).

O presente estudo deriva de um trabalho mais amplo realizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (2015) que objetivou o aproveitamento econômico de resíduos de cerâmica vermelha - RCV, com intuito de reduzir os passivos ambientais gerados pelas indústrias, diminuir os custos operacionais e agregar valor aos negócios das empresas. Foram avaliados dois tipos de aplicação para esses materiais: i) aproveitamento como matéria-prima das próprias cerâmicas, pela incorporação dos resíduos na mistura de argilas (massas) usualmente empregadas;

e ii) como material com propriedades cimentícias, em substituição parcial ao cimento comercial, em concretos e blocos para construção.

Este artigo trata basicamente da viabilidade técnica e econômica da rota tecnológica dirigida à utilização do RCV como material inerte (chamote), após processamento adequado, na composição das massas cerâmicas. Detalhes dos resultados técnicos obtidos sobre as propriedades cimentícias do RCV encontram-se abordados em Garcia et al. (2014).

A aglomeração industrial selecionada para o desenvolvimento dos estudos corresponde ao Polo de Cerâmica Vermelha de Panorama, ou como também conhecida Arranjo Produtivo Local do Oeste Paulista. Localizado na região oeste do Estado de São Paulo, esse APL abrange além de Panorama e Paulicéia, onde se concentra o parque fabril, outros municípios circundantes como Presidente Epitácio, Ouro Verde, Teodoro Sampaio e Regente Feijó. O número de empreendimentos é expressivo, contando com mais de 100 unidades cerâmicas.

## 2. Procedimentos Adotados

São apresentados a seguir, as etapas de trabalho que orientaram os estudos e resultados do projeto de pesquisa (Figura 1).



Figura 1. Encadeamento metodológico do estudo.

### 2.1. Revisão da literatura e organização do projeto

Nessa etapa foram desenvolvidas as seguintes atividades:

- revisão da literatura acerca da caracterização físico-química e tecnológica, do aproveitamento de RCV e materiais de natureza físico-química similar, e das características gerais do setor cerâmico brasileiro e paulista; e
- articulação com o setor produtivo por meio de reuniões técnicas servindo para disseminar os objetivos e estimular a participação dos ceramistas no desenvolvimento do projeto, aferindo o seu interesse nos resultados dos estudos, obtenção de informações sobre a estrutura produtiva e indicação de empresas para visitas técnicas e amostragem de RCVs.

### 2.2. Levantamentos de campo

Essa atividade abrangeu o dimensionamento do volume de RCV gerado pelo parque cerâmico; levantamentos dos tipos de produtos cerâmicos das indústrias e qualificação dos aspectos do processo cerâmico que interferem nas propriedades dos resíduos, tais como o tipo de argila consumida, processo de queima – tipo de forno, temperatura, entre outros; e amostragem de RCV para as caracterizações laboratoriais subsequentes, sendo coletados materiais em quatro cerâmicas representativas da produção do APL.

### 2.3. Estudos para incorporação do RCV na massa cerâmica: ensaios laboratoriais

As amostras passaram por processos de homogeneização, quarteamento e cominuição, adequados aos ensaios tecnológicos. A Figura 2 ilustra a rota adotada de preparação e caracterização tecnológica das matérias-primas, para avaliação técnica da incorporação do RCV como material inerte (chamote) na massa cerâmica.

### 2.4. Rota de processamento de RCV

Baseando-se nas referências obtidas nas etapas anteriores, foi elaborado um projeto conceitual de uma unidade de processamento de RCV, contemplando, basicamente, a configuração preliminar do sistema de beneficiamento de resíduos, sendo indicadas as operações unitárias, capacidade produtiva, linhas de equipamentos e estimativa de investimentos.

### 2.5. Análise de viabilidade econômica

A partir dos resultados obtidos nos estudos laboratoriais cerâmicos e na rota tecnológica desenvolvida para o beneficiamento do RCV, realizou-se uma análise da viabilidade econômica da incorporação desses resíduos na composição das massas, tendo como referência direta de economicidade a apreciação comparativa entre os custos de produção do chamote de RCV e o preço médio da argila na região.

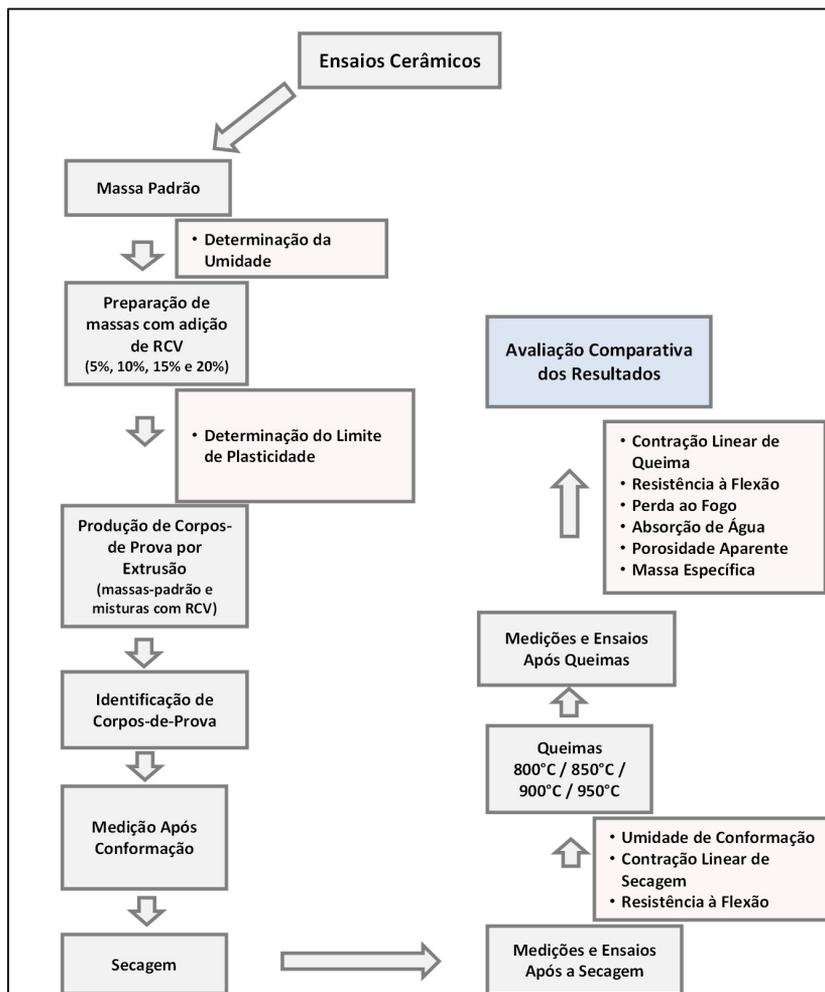


Figura 2. Rota laboratorial adotada para avaliação da incorporação do RCV como material inerte na massa cerâmica.

### 3. Viabilidade Técnica e Rota de Processamento do RCV para Incorporação na Massa Cerâmica

O Estado de São Paulo abriga o maior parque industrial do setor no Brasil, que se concentra em cerca de 15 aglomerações produtivas, parte delas reconhecida pelas instâncias governamentais como arranjos produtivos locais - APLs de Itu, Tatuí, Tambaú, Vargem Grande do Sul e Panorama (conhecido também como APL de cerâmica vermelha do Oeste Paulista).

Dispondo de uma produção diversificada, suas cerâmicas atendem o mercado paulista, outros estados da federação e, em menor escala, exportam para alguns países da América Latina e os Estados Unidos. Pelas estimativas disponíveis (Anicer, 2016; Cabral Junior, Tanno, & Albrarelli, 2014), pode-se inferir que São Paulo responde por 20% do total da produção brasileira (13 bilhões de peças ou 26 milhões de toneladas de cerâmica queimada), o que deve corresponder

a uma produção e consumo anual da ordem de 30 milhões de toneladas de argila em território paulista.

Com base em informações obtidas junto às diversas aglomerações produtivas, estima-se que as perdas em produtos acabados situam-se na faixa de 3% a 5%, representando um descarte anual de cacos cerâmicos de cerca de 780 mil a 1,3 milhão de toneladas no território paulista. (Tabela 1).

#### 3.1. Perfil do parque cerâmico do APL de Panorama

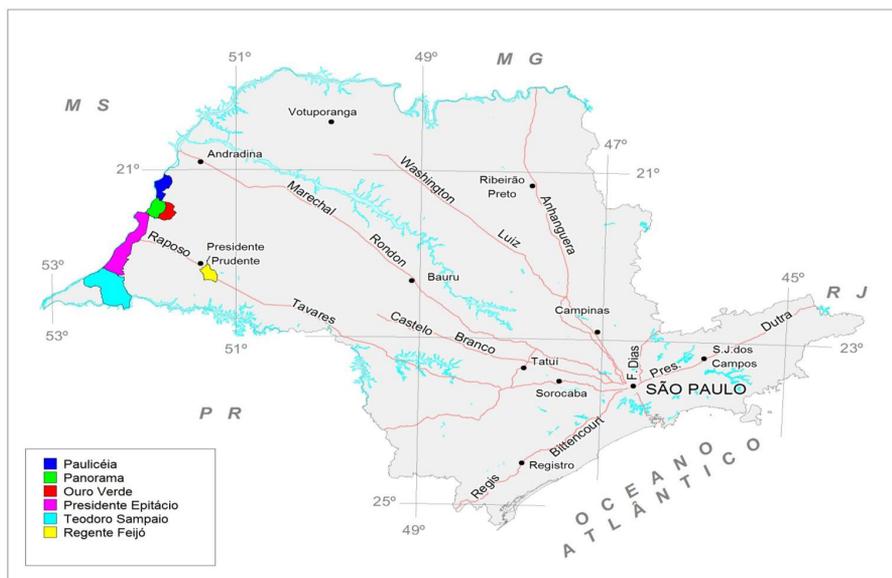
A aglomeração industrial selecionada para o desenvolvimento dos estudos corresponde ao APL de Cerâmica Vermelha de Panorama, localizado na região oeste do Estado de São Paulo (Figura 3). O número de empreendimentos é muito significativo, contando com mais de 100 unidades cerâmicas (micro e pequenas empresas). Outras atividades presentes são os fornecedores de equipamentos, serviços e insumos diversos, sendo que, desde

**Tabela 1.** Estimativas de produção de peças, consumo de argila e geração de RCV na indústria de cerâmica vermelha.

	PRODUÇÃO CERÂMICA		CONSUMO DE ARGILA	GERAÇÃO DE RCV
	PEÇAS	TONELADAS		
<b>BRASIL</b>	65 Bilhões	130 Milhões t	156 Milhões t	3,9 a 6,5 Milhões t
<b>ESTADO DE SÃO PAULO</b>	13 Bilhões	26 Milhões	31 Milhões t	0,780 a 1,3 Milhão t

Perdas estimadas – 3% a 5%

Estimativas baseadas em informações da Anicer sobre a produção cerâmica brasileira em número de peças (2016). Fonte: Adaptado de Garcia et al. (2014).



**Figura 3.** Localização do APL de cerâmica vermelha de Panorama – municípios abrangidos.

2007, a governança do APL conta com uma coordenação bem estruturada, comandada pela Incoesp - Cooperativa das Indústrias Cerâmicas do Oeste Paulista (IPT, 2015).

Estima-se que a produção anual do APL seja da ordem de 720 milhões de peças, em sua maioria constituída de blocos de vedação, seguidos por lajotas e telhas, o que deve corresponder a cerca de 1,7 milhão de toneladas de cerâmica queimada.

O perfil empresarial das cerâmicas é predominantemente familiar, basicamente de micro e pequenas empresas, com produção média da ordem de 500.000 a 600.000 peças/mês. De forma geral, o processo de fabricação é feito com o uso dos seguintes equipamentos: caixão alimentador, cominuição e homogeneização por meio de destorroador/desintegrador, laminador e misturador, conformação por extrusora, prensa (no caso de telhas), secagem (estufas rudimentares alimentadas com ar quente dos fornos em fase de resfriamento) e fornos intermitentes.

### 3.2. Geração de RCV e amostragem

Pelas informações obtidas em campo, estima-se que as perdas em produtos acabados situam-se na faixa de 3% a 5%, valores similares à média do padrão tido para as empresas no Brasil, representando um descarte de

cacos cerâmicos da ordem entre 50 e 85 mil toneladas por ano no APL.

Constatou-se que os cacos cerâmicos são geralmente depositados em bota-foras dentro dos pátios das próprias fábricas, não havendo no território do APL nenhum local específico de concentração dos RCVs. Comumente, juntam-se aos resíduos cerâmicos outros materiais descartados, como sobras de materiais argilosos, solo e restos de lenha e cavaco de madeira.

A amostragem de RCV para as caracterizações laboratoriais deu-se em quatro cerâmicas representativas do parque industrial do APL (Tabela 2). Em cada unidade fabril foram coletadas cerca de 80 kg de RCV e uma amostra representativa da massa cerâmica de aproximadamente 40 kg.

Os resíduos cerâmicos foram coletados nos locais de descartes, em áreas dentro dos pátios das fábricas, preferencialmente sem a contaminação de outros materiais. As massas foram obtidas na linha de produção das cerâmicas, logo após a passagem pelo misturador e antes da adição de óleo combustível (procedimento por vezes empregado para facilitar a conformação das peças) e carvão moído (insumo empregado em algumas cerâmicas para melhoria da queima das peças).

**Tabela 2.** Perfil produtivo das cerâmicas visitadas.

Fabricantes	Município	Gradiente Usual de Temperatura de Queima*	Principais Produtos	Produção* Mensal - toneladas	Índice de Perdas Mensal*	
					%	toneladas
Cerâmica Corte	Panorama	550 °C a 850 °C	bloco de vedação	1.400	2	28
Cerâmica São Domingos	Panorama	560 °C a 860 °C	lajota	2.000	4 a 5	80-100
Cerâmica Modelo	Panorama	640 °C a 830 °C	telha, bloco estrutural e lajota	1.050	5 a 6	52,5
Cerâmica Costa	Paulicéia	600 °C a 900 °C	bloco de vedação, canaleta	2.000	5	100

\*Obs.: informações fornecidas pelas empresas visitadas; as temperaturas de queima correspondem aos patamares atingidos na base e no topo das câmaras dos fornos intermitentes das cerâmicas.

### 3.3. Avaliação técnica da incorporação do RCV na massa cerâmica

A caracterização cerâmica envolvendo o uso de RCV como chamote foi efetuada de forma empírica, por meio da comparação das propriedades cerâmicas das amostras de massas-padrão das quatro empresas selecionadas, com as massas formuladas com adições crescentes de RCV moído (< 0,85 mm - 20 Mesh), nas proporções de 5%, 10%, 15% e 20%.

A análise comparativa dos resultados dos ensaios tecnológicos entre as massas cerâmicas utilizadas nas fábricas, composta por misturas de argilas, e as massas formuladas em laboratório com adições de RCV, evidenciou que a incorporação desses resíduos, de forma dosada e devidamente moída, acrescenta vantagens no processamento industrial e nos produtos de cerâmica vermelha.

Quando da adição do chamote de RCV, além do menor consumo de matérias-primas naturais (argilas), há a possibilidade de benefícios importantes que advêm da otimização do processo de secagem, bem como da diminuição de perdas e melhoria da qualidade dos produtos (melhor controle dimensional e diminuição de trincas), em função da menor retração das peças durante a secagem e queima.

As principais propriedades cerâmicas nas amostras estudadas, como resistência mecânica, absorção de água, retração linear e porosidade, indicaram que o valor mais adequado de adição de RCV nas massas cerâmicas do APL de Panorama situa-se em torno de 5%. A incorporação de RCV em percentual superior pode comprometer a qualidade dos produtos, principalmente no que tange a resistência e a porosidade desses materiais.

A diminuição da contração linear após o processamento industrial associada à manutenção da resistência mecânica abre perspectiva para o desenvolvimento de massas formuladas com adição de RCV para a fabricação de produtos inovadores de maior valor agregado no APL, caso de pisos extrudados.

A possibilidade de adição de 5% de chamote nas massas coincide ou é pouco superior à quantidade de cacos gerados pela maioria das cerâmicas do APL de Panorama, o que faz com que possa ser reaproveitado praticamente todo resíduo produzido nas empresas desse aglomerado industrial.

### 3.4. Rota de beneficiamento: projeto conceitual de unidade de processamento de RCV

Para a estruturação da rota de beneficiamento levou-se em consideração, basicamente: quantidade de resíduos gerados por unidade fabril e pelo conjunto de empresas do APL, e estimativa de investimentos.

Os resíduos gerados dentro de uma cerâmica, em média de 3% a 5% em massa da quantidade de peças produzidas (25 t/mês a 100 t/mês, dependendo da produção de cada unidade), são tecnicamente compatível com o volume de RCV passível de incorporação na massa cerâmica das próprias unidades fabris geradoras. No entanto, a quantidade de RCV de apenas uma cerâmica para ser processado é muito pequena em relação à capacidade dos equipamentos de moagem disponíveis no mercado.

Dessa forma, optou-se por uma unidade móvel de processamento, que deve se deslocar pelas cerâmicas, beneficiando os resíduos *in loco* (Figura 4). Cada cerâmica acumularia seus cacos durante um determinado período e receberia essa unidade para produção e consumo próprio do chamote beneficiado.

A unidade de processamento é montada em uma plataforma sobre rodas (semirreboque), acoplada a um caminhão que fará o seu transporte. Nessa plataforma serão instalados, basicamente, uma moega, um destorroador, esteiras transportadoras e um moinho de martelos. Por se tratar de cerâmicas de portes distintos e com diferentes percentuais de geração de resíduos, o tempo de retorno da unidade móvel será variável. Levando em conta uma geração média de resíduo por empresa entre 40 t/mês e 65 t/mês e a capacidade diária de processamento de 200 t/dia de RCV pela unidade móvel, o ciclo de retorno previsto dessa unidade por cerâmica será de 3 a 6 meses.

Para que as estimativas de investimentos relativas à montagem das unidades de beneficiamento de resíduos fossem efetuadas de maneira consistente, foram efetuados testes de moagem dos cacos cerâmicos em escala industrial. Para tanto, foram coletadas três toneladas de cacos cerâmicos em uma das empresas do APL e remetidas ao laboratório de uma das grandes empresas de equipamentos do setor minero-cerâmico do Brasil, para ensaios de cominuição em moinhos de martelo e

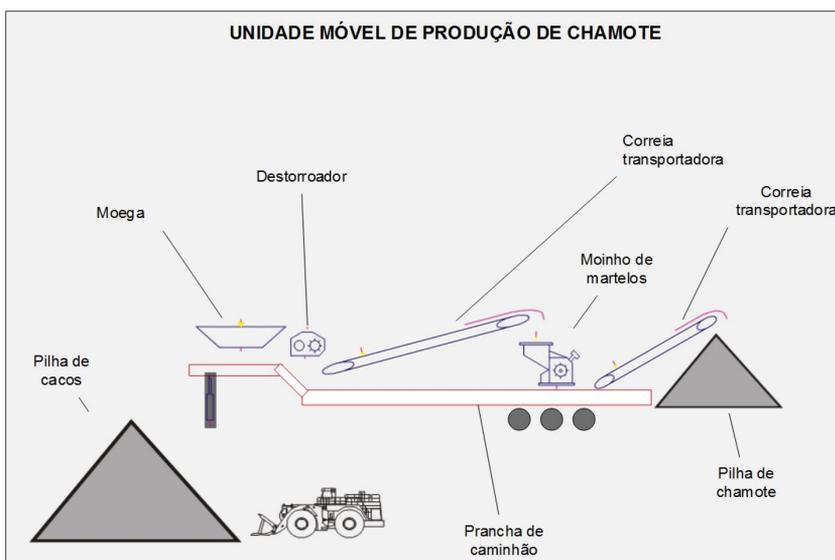


Figura 4. Lay out esquemático da unidade móvel de produção de chamote.

pendular. Esses ensaios permitiram avaliar a dureza desses materiais e estimar o tempo requerido para sua moagem na granulometria especificada para os usos cerâmicos. A partir desses parâmetros foi possível escolher e dimensionar as linhas de equipamentos da unidade móvel do RCV, bem como estimar os investimentos, em função das escalas de produção julgadas satisfatório para o atendimento ao APL (Tabela 3).

Para a montagem da unidade móvel, os investimentos foram estimados em torno de R\$ 710.000,00. Esse valor abrange os equipamentos principais da unidade, nos quais foram adicionados mais 15% para outros componentes não orçados (semirreboque, sistema de proteção dos equipamentos para transporte rodoviário, e outros acessórios menores) e para a instalação dos equipamentos sobre o semirreboque.

É importante considerar que os valores estimados para a montagem da unidade de processamento representam uma primeira aproximação dos principais investimentos e indicam ordens de grandeza que poderão servir de referência para o detalhamento dos projetos e a formulação de um plano de negócio para a sua condução empresarial.

#### 4. Análise de Viabilidade Econômica

Como visto anteriormente, o aproveitamento de resíduos da indústria cerâmica vermelha é tecnicamente possível por meio da adição de até 5% de RCV na massa inicial de argila. Afora isso, verificou-se que essa porcentagem adequada de adição de RCV é próxima à quantidade de cacos gerados pela maioria das cerâmicas do APL de Panorama, o que torna factível o reaproveitamento de praticamente todo resíduo produzido nas empresas desse aglomerado industrial.

Ao se constatar a exequibilidade técnica do aproveitamento desses resíduos, inevitavelmente surge

a questão da economicidade. Seria este aproveitamento do RCV viável economicamente? Este tópico busca responder este questionamento. Para tanto são utilizadas algumas premissas e técnicas de análise as quais são descritas a seguir.

Além de possíveis ganhos que podem ser obtidos com a incorporação do chamote à massa original, como a otimização do processo de secagem, melhoria da qualidade dos produtos e diminuição de perdas, uma forma de avaliar diretamente a economicidade dessa adição pode ser efetuada por meio da estimativa do custo de produção do chamote de RCV. Desse modo, o ganho econômico esperado decorrerá da comparação entre o preço da argila a ser substituída e o custo de beneficiamento dos resíduos. Se o custo de beneficiamento for inferior ao preço da argila, a incorporação do RCV será viável economicamente, caso contrário, o sucesso econômico dependerá da efetivação dos citados ganhos de produtividade ao longo do processamento cerâmico, que, por sua vez, dependerá das condições operacionais de cada planta industrial.

Um dos principais aspectos que envolvem estudos de viabilidade econômica refere-se às incertezas relativas aos dados e informações utilizadas no desenvolvimento do trabalho. Estudos de viabilidade econômica simulam a operação de uma atividade econômica com o objetivo final de constatar o seu potencial econômico. Muitas das informações a serem utilizadas no desenvolvimento do estudo têm estreita relação com o contexto econômico, preços, variações sazonais de mercado, política econômica, variações na taxa de câmbio, legislação, tributação entre outras informações. Na maioria das vezes o comportamento dos valores destas informações foge completamente do controle da gestão do negócio. Essas imprecisões das informações podem levar os resultados do estudo de

**Tabela 3.** Previsão de investimentos: unidade móvel de processamento do RCV.

<b>UNIDADE MÓVEL – CAPACIDADE 20 t/h</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Granulometria de entrada (Ge): cacos de material cerâmico, 100% menor que 400 mm</li> <li>▪ Granulometria saída:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Moinho de Martelo</li> <li>GS: 10% retido - malha 50 (0,85 mm)</li> </ul> </li> </ul>		
Equipamentos Orçados*	Potência - CV	Valor do Investimento R\$
01 Chassi metálico para instalação sobre um semirreboque prancha com 3 eixos	-	71.115,00
01 Moega de alimentação ao destorroador	2,5	75.400,00
01 Destorroador (Modelo 116 DT)	30	204.315,00
01 Moinho de martelo (modelo 036 D, com acoplamentos)	125	208.853,00
02 Esteiras transportadoras	8	43.845,00
01 Quadro elétrico	-	16.263,00
<b>Subtotal</b>		<b>619.791,00</b>
Investimentos adicionais – complementos e montagem (15% do subtotal)		<b>97.500,00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>146 CV</b> (Fator de Demanda = 0,88)	<b>712.791,00</b>

\*Obs.: especificações de equipamentos fornecidos pela empresa Verdés Máquinas e Instalações.

viabilidade econômica a conclusões completamente equivocadas.

No entanto existem diferentes técnicas de análise que buscam contornar essas imprecisões, trabalhando com cenários derivados de alterações nas referências inicialmente considerados nas variáveis do modelo. Logo é possível verificar qual o impacto dessas alterações nos resultados do estudo. Por exemplo, se uma determinada variável que depende diretamente do valor da taxa de câmbio tiver seu valor alterado em 10 ou 20% em relação ao valor inicialmente considerado qual será sua implicação no resultado da viabilidade econômica.

Uma dessas técnicas é a simulação de Monte Carlo (Palisade, 2017). A simulação de Monte Carlo é uma metodologia estocástica, portanto trabalha com o comportamento aleatório (sorteio dos valores) das principais variáveis do modelo de simulação. Com isso, ao final, constitui-se numa ampla quantidade de cenários (acima de mil) os quais poderão ser analisados através da distribuição estatística desses cenários, permitindo desta maneira estabelecerem-se as probabilidades de ocorrência dos resultados encontrados. O desvio padrão dos valores a serem considerados nas variáveis irá determinar a precisão dos resultados finais. Quanto maior o desvio padrão, maior será a dispersão dos resultados.

Isto posto, para determinação da viabilidade econômica do uso de resíduos da indústria cerâmica vermelha, foi concebido um modelo de simulação que irá emular o custo de beneficiamento deste resíduo de forma a ser incorporado na massa inicial de argila.

Uma das principais questões levantadas pelo estudo relaciona-se à escala de geração de resíduos em uma única cerâmica, que é muito reduzida em relação à capacidade

dos equipamentos de moagem disponíveis no mercado. A alternativa técnica encontrada, como visto, foi a concepção de uma unidade móvel instalada num chassi de caminhão (ver Figura 4) a qual irá se deslocar entre as unidades produtivas do aglomerado cerâmico de Panorama.

Este modelo irá simular, portanto, a operação desta unidade móvel e comparar o seu custo de operação com o preço pago pela argila in natura. As variáveis de referência da unidade móvel consideradas foram as seguintes (valores de 2014-2015):

- Investimento: R\$ 713.000,00;
- Capacidade de produção da unidade móvel: 20 t/dia;
- Horas de produção: 10 h/dia;
- Dias anuais de operação: 320 dias;
- Custo do Kwh: R\$ 0,36/kwh;
- Custo da mão de obra: R\$ 66.000,00/ano;
- Custo de manutenção: 8% do valor do investimento;
- Vida útil da unidade móvel: 10 anos;
- Taxa de recuperação do capital: 12,5% ao ano;
- Preço da argila: R\$ 17,50/tonelada (valor estimado para a região).

Tendo em vista, a proximidade das unidades fabris concentradas em um raio de 15 km, os custos de deslocamento da unidade móvel são insignificantes para serem computados na simulação. A Tabela 4 sintetiza os fatores e custos de produção do chamote de RCV para essa situação de referência.

Como se observa diante dos valores de referência considerados na Tabela 4, tem-se um ganho de R\$ 11,75, ou seja, o preço da argila é R\$17,50 contra somente R\$ 5,75 do custo de beneficiamento do resíduo, correspondendo a uma relação de ganho significativa: o custo de beneficiamento equivale a 34% do preço da argila.

#### 4.1. Simulação de Monte Carlo

Bem como já observado, muitas dessas variáveis consideradas no cálculo do custo de beneficiamento inserem-se no campo das incertezas e, portanto, merece uma análise mais detalhada do comportamento dos

**Tabela 4.** Custo estimado de beneficiamento do RCV para os valores de referência.

Potência	146	Cv
Capacidade produção	20	t/hora
Horas produção diária	10	Horas
Dias anuais de produção	320	Dias
Produção anual estimada	64.000	t
Valor do investimento	<b>R\$ 713.000,00</b>	
Custo Energia elétrica	R\$ 123.621,12	Anual
Custo mão de obra	R\$ 66.000,00	Anual
Custo Manutenção	R\$ 49.910,00	Anual
Custo total de operação	<b>R\$ 239.531,12</b>	Anual
Custo oportunidade capital	<b>R\$ 128.783,33</b>	Anual
Desembolsos	<b>R\$ 368.314,45</b>	Anual
Vida útil da unidade	10	Anos
Taxa de recuperação do capital	12,5%	Ao ano
Custo final chamote de RCV	R\$ 5,75	t
Preço da argila	R\$ 17,50	t
Diferença (ganho)	<b>R\$ 11,745</b>	t

resultados frente a alterações de seus valores, conhecida por Análise de Sensibilidade, vista aqui através do Diagrama de Tornado (Figura 5).

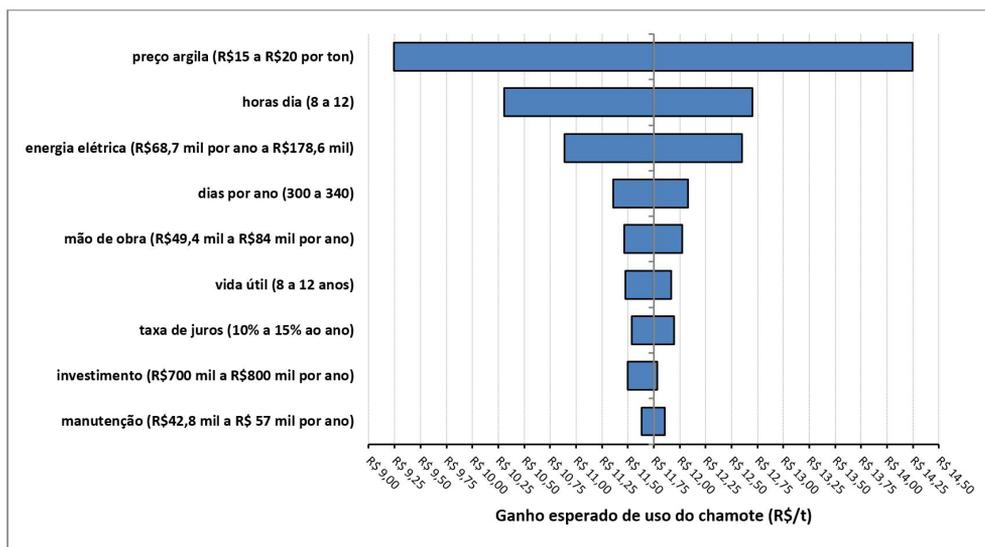
O Diagrama indica que quanto maior a barra horizontal, maior será o impacto no resultado. Por exemplo: se o preço da argila for R\$ 15,00/t o ganho do uso do RCV será de R\$ 9,25/t, ao passo que se o preço da argila for superior e atingir a R\$ 20,00/t, consequentemente o ganho será de R\$ 14,25/t.

As variáveis que apresentam maior impacto nos resultados são o preço da argila, horas de trabalho diário, custo da energia elétrica. As demais variáveis têm impactos modestos no resultado.

A partir da sensibilidade das variáveis, elaborou-se o modelo de simulação de Monte Carlo. Este modelo constou da seguinte abrangência das variáveis acima identificadas na análise de sensibilidade como pode ser observado na Tabela 5.

Estabelecida a abrangência de limites das variáveis, para cada rodada (cenário), foi sorteado aleatoriamente um valor entre os limites inferior e superior por meio da Simulação Monte Carlo, sendo que o modelo de simulação foi rodado computacionalmente mil vezes; os resultados são apresentados no histograma mostrado na Figura 6 a seguir.

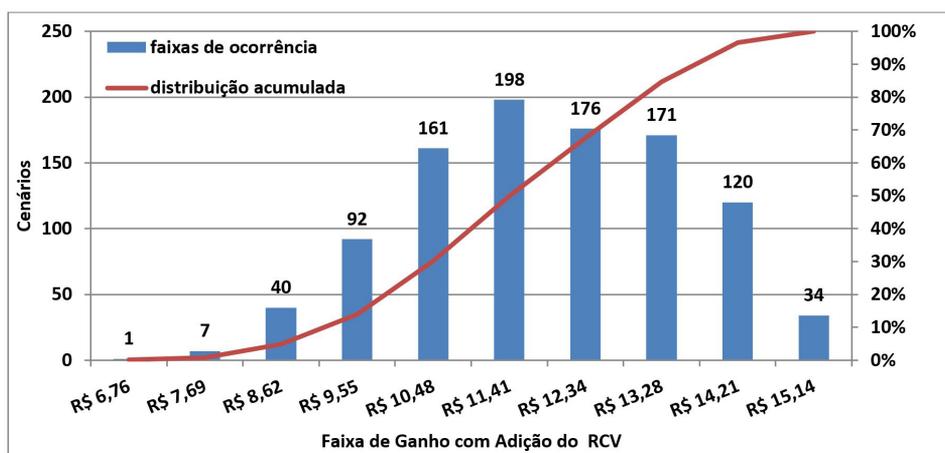
Como se observa dos mil cenários rodados, a distribuição do ganho do uso do RCV ficou entre R\$ 6,76 a R\$ 15,14, sendo a predominância na faixa que vai de R\$ 10,48 a R\$ 11,41 (198 cenários). A probabilidade de o ganho ficar entre R\$9,55/t e R\$ 13,28/t é de 70,6%. A média geral ficou em R\$11,98. É interessante observar que não ocorreu nenhum cenário de valores de ganho negativos, mostrando elevada certeza na viabilidade econômica da utilização deste resíduo.



**Figura 5.** Diagrama de Tornado do ganho estimado pela adição de RCV (Chamote).

**Tabela 5.** Valores inferiores e superiores consideradas no sorteio aleatório das variáveis.

Variável	Valor de referência	Inferior	Superior
Horas produção diária	10	8	12
Dias anuais de produção	320	300	340
Valor do investimento	R\$ 713.000,00	R\$ 700.000,00	R\$ 800.000,00
Energia elétrica (anual)	R\$ 123.621,12	R\$ 68.678,40	R\$ 178.563,84
Mão de obra (anual)	R\$ 66.000,00	R\$ 48.000,00	R\$ 84.000,00
Manutenção (anual)	R\$ 49.910,00	R\$ 42.780,00	R\$57.040,00
Vida útil (anos)	10	8	12
Taxa de recuperação Capital (ao ano)	12,50%	10,0%	15,0%
Preço da argila – CIF (t)	R\$ 17,50	R\$ 15,00	R\$20,00



**Figura 6.** Histograma dos resultados do ganho do uso de resíduos da indústria de cerâmica.

## 5. Conclusões

Os estudos realizados no polo de cerâmica vermelha do Oeste Paulista demonstraram a exequibilidade técnica-econômica do aproveitamento do RCV na composição de massas, possibilitando a agregação de valor aos negócios da indústria cerâmica local.

Levando em conta as propriedades físicas cerâmicas das misturas com adição de chamote de RCV em relação às massas usualmente utilizadas nas indústrias da região de Panorama, concluiu-se que a incorporação dos resíduos de forma dosada pode acrescentar algumas vantagens no processamento industrial, especialmente na otimização do processo de secagem, melhoria da qualidade dos produtos e redução de perdas.

A análise comparativa entre os custos de beneficiamento do RCV e o preço da argila consumida na região, efetuada por meio da simulação de Monte Carlo, indicou ganhos econômicos efetivos na incorporação do chamote de RCV, cujo preço de produção é invariavelmente inferior ao preço dos materiais argilosos.

Além das vantagens econômicas apresentadas, a transformação de um resíduo indesejável em uma nova matéria-prima ou produto mineral, eliminará a geração de

passivos ambientais decorrentes da disposição do RCV, o que pode se traduzir em um diferencial aos empreendedores que fizerem uso dessas tecnologias.

Tendo em vista os investimentos necessários para a instalação de uma unidade industrial de beneficiamento e, sobretudo, a escala mínima de produção de RCV moído, que deve envolver o aproveitamento dos resíduos gerados por várias empresas cerâmicas, recomenda-se que esse empreendimento seja estruturado preferencialmente de forma consorciada entre os ceramistas. O fato de já existir uma estrutura de governança consolidada e atuante no APL, representada pela cooperativa de ceramistas (Incoesp), é um grande passo para a viabilização da implantação dessas unidades de aproveitamento de RCV.

Uma ação dessa natureza deve também contribuir para uma maior interação e sinergia empresarial, possibilitando outros ganhos de competitividade ao APL.

Um dos desdobramentos também previstos é que a implantação de uma unidade de processamento de RCV pelo setor produtivo, além dos ganhos ambientais e econômicos no APL de Panorama, servirá de efeito demonstração para outras aglomerações minero-cerâmicas no Brasil.

## Agradecimentos

Os autores expressão seus agradecimentos ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo suporte e financiamento do projeto “Desenvolvimento de Tecnologia para o Aproveitamento de Resíduos Cerâmicos – RCV no APL de Cerâmica Vermelha de Panorama – SP”, que gerou os resultados apresentados nesse artigo.

## Referências

- Associação Nacional da Indústria Cerâmica [ANICER]. (2016). *Informações técnicas – homepage*. Recuperado de <http://portal.anicer.com.br/setor>.
- CABRAL, M. Junior, CRUZ, T. T., TANNO, L. C. Central de Massa: uma alternativa para o aprimoramento do suprimento de matéria-prima à indústria de cerâmica vermelha. **Cerâmica Industrial**, v. 14, n. 5/6, 11-19, 2009.
- CABRAL, M. Junior, TANNO, L. C., ALBARELLI, D. S. N. A. Caracterização geológica e tecnológica dos polos cerâmicos do Estado de São Paulo, Brasil. **Comunicações Geológicas**, v. 101, 757-760, 2014.
- GARCIA, E. et al. Resíduo de cerâmica vermelha (RCV): uma alternativa como material pozolânico. **Cerâmica Industrial**, v. 19, 31-38, 2014.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas [IPT]. (2015). *Desenvolvimento de tecnologia para o aproveitamento de resíduos cerâmicos – RCV no APL de cerâmica vermelha de Panorama – SP*. (Relatório Final 142213 – 205). São Paulo, SP: IPT.
- Palisade. (2017). *Simulação de Monte Carlo*. Recuperado de [http://www.palisade-br.com/risk/monte\\_carlo\\_simulation.asp](http://www.palisade-br.com/risk/monte_carlo_simulation.asp).