

**Industrial Ecology: A symbiosis between the green ceramic and soft coffee industries**

**Ecología Industrial: La simbiosis entre las industrias de la cerámica roja y del café instantáneo**

**Ecologia Industrial: A simbiose entre as indústrias de cerâmica vermelha e de café solúvel**

**Julia Santos Nunes de Campos<sup>a</sup>, Patricia Miranda Dresch<sup>b</sup>, Talita Pereira Faro da Silva<sup>c</sup>, Mauricio Francisco Henriques Junior<sup>d</sup>**

*a National Technology Institute—INT, Av. Venezuela 82, Centro, Rio de Janeiro, (Brazil). Email: [julia.campos@int.gov.br](mailto:julia.campos@int.gov.br). ORCID: <http://orcid.org/0009-0004-4194-686>*

*b National Technology Institute—INT, Av. Venezuela 82, Centro, Rio de Janeiro, (Brazil). ). Email. [patricia.dresch@int.gov.br](mailto:patricia.dresch@int.gov.br). ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5157-9647>.*

*c National Technology Institute—INT, Av. Venezuela 82, Centro, Rio de Janeiro, (Brazil).. Email. [talita.pereira@int.gov.br](mailto:talita.pereira@int.gov.br).. ORCID: <http://orcid.org/0009-0001-2797-6252>.*

*d National Technology Institute—INT, Av. Venezuela 82, Centro, Rio de Janeiro (Colombia). [mauricio.henriques@int.gov.br](mailto:mauricio.henriques@int.gov.br). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9759-6968>.*

*\*Corresponding author: Julia Santos Nunes de Campos, email: [julia.campos@int.gov.br](mailto:julia.campos@int.gov.br)*

To reference this article:

Santos N. J. de C., Dresch, M., Pereira da F., T., Henriques J. F. (2025). Industrial Ecology: A symbiosis between the green ceramic and soft coffee industries. *LADEE*, 6(1), 25–34. <https://doi.org/10.17981/ladee.06.01.2025.3>

**Keywords:** Industrial symbiosis, red ceramics, energy, coffee waste, circular economy

**Palabras clave:** simbiosis industrial, cerámica roja, energía, posos de café, economía circular.

**Palavras-chave:** simbiose industrial, cerâmica vermelha, energia, borra de café, economia circular.

**Abstract**

This study investigates the integration between the red ceramic and soluble coffee industrial sectors in Brazil, examining the technical and economic aspects involved in using coffee grounds as an input for brick manufacturing. Based in the principles of industrial ecology and the circular economy, the study demonstrates how this symbiosis promotes energy efficiency, waste reduction, and improvements in the quality of ceramic products. It also assesses the capacity of ceramic hubs in the country to absorb such waste, generating economic and energy gains, along with other advantages for their manufacturing processes, as well as the equivalent area of possible avoided deforestation, in the case that part of the firewood used in ceramics comes from illegal sources.

**Resumen**

Este estudio investiga la integración entre los sectores industriales de la cerámica roja y el café soluble en Brasil, examinando los aspectos técnicos y económicos del uso de posos de café como insumo para la fabricación de ladrillos. Basado en los principios de la ecología industrial y la economía circular, el estudio demuestra cómo esta simbiosis promueve la eficiencia energética, la reducción de residuos y la mejora de la calidad de los productos cerámicos. También evalúa la capacidad de los centros cerámicos del país para absorber dichos residuos, generando ganancias económicas y energéticas, junto con otras ventajas para sus procesos de fabricación, así como el área equivalente de posible deforestación evitada, en caso de que parte de la leña utilizada en la cerámica provenga de fuentes ilegales.

**Resumo**

O presente trabalho aprofunda a análise da integração entre os setores industriais de cerâmica vermelha e as de café solúvel no Brasil, examinando os aspectos técnicos e econômicos envolvidos na utilização da borra de café como insumo para a fabricação de blocos estruturais. A partir dos princípios da ecologia industrial e da economia circular, o estudo demonstra como essa simbiose promove eficiência energética, redução de deposição inadequada de resíduos e melhorias na qualidade dos produtos cerâmicos. Também é analisada a capacidade de suporte dos polos cerâmicos regionais no país que poderiam absorver tais resíduos auferindo ganhos econômicos, energéticos e outras vantagens aos seus processos fabris, bem como a área equivalente de um possível desmatamento evitado, no caso de parte da lenha combustível utilizada nas cerâmicas ser de origem ilegal.

DOI: 10.17981/ladee.06.01.2025.3

Date received 05/07/2025.

Date of acceptance 11/09/2025

## 1. Introdução

A produção de resíduos sólidos é um problema socioambiental alarmante, tendo em vista que apenas nas cidades do país são recolhidos cerca de 82,5 milhões de toneladas por ano, com cerca de 40% de disposição inadequada em todo o Brasil (ABRELPE, 2021). Isto causa a degradação do solo e do ar, e todas as consequências que isso acarreta, como assoreamento de rios, contaminação do lençol freático, eutrofização de rios e lagos, perda de biodiversidade, dentre muitos outros. Deste modo a moderna sociedade deveria procurar novas formas de gerir seus resíduos, bem como definir locais apropriados de depósito ou descarte (Russo, 2003).

O resíduo borra de café foi escolhido por ser um material sólido orgânico, portanto, com carga energética que, ao ser incorporado à massa argilosa para fabricar tijolos e blocos, doa energia ao processo, economizando a energia empregada nos fornos na etapa de queima. Além disso, devido às suas características químicas, e por se tratar de um material homogêneo (Garcia-Muñoz, 1999), toda modificação que a sua inserção à massa cause no produto final, será uniforme em todo o lote.

Ambos os setores podem ter benefícios com a inserção do resíduo borra de café industrial solúvel à massa. A indústria de café solúvel, por dar uma finalidade ambientalmente correta para seu resíduo e a indústria cerâmica também, pois a borra de café traz um input energético na sinterização dos produtos, economizando energia nesta etapa, e poderá proporcionar melhoria da qualidade das peças cerâmicas e ainda redução de perdas na produção.

Neste contexto, o presente estudo analisa a integração entre a indústria de café solúvel que gera significativas quantidades de borra de café como resíduo e o setor cerâmico, que pode incorporar esse material em sua produção de blocos.

Dentre as ferramentas da ecologia industrial, destaca-se a simbiose industrial, que estabelece relações mutualísticas entre setores distintos, transformando resíduos de uma indústria em matéria-prima para outra. Esse conceito alinha-se perfeitamente aos princípios da economia circular, que visa substituir o modelo linear tradicional (extrair-produzir-descartar) por sistemas de produção regenerativos.

A pesquisa demonstra como essa simbiose proporciona benefícios econômicos (redução de custos energéticos), ambientais (diminuição de resíduos e redução no desmatamento) e técnicos (melhoria nas propriedades dos blocos). Estes benefícios são quantificados com um intuito de sensibilizar empresas e agentes públicos envolvidos.

## 2.2 O setor de cerâmica vermelha no Brasil

As indústrias de cerâmica vermelha no país compreendem a produção de elementos estruturais, de vedação e de acabamento para a construção civil, como blocos, telhas, tubos, lajotas e pisos, com uma produção anual média de mais de 8 bilhões de peças em aproximadamente 5.500 empresas, segundo a ANICER (2025).

A produção de cerâmica vermelha estrutural (blocos e tijolos) emprega basicamente três insumos básicos - argila e água, e necessita de aportes energéticos para alimentar seus fornos e mover máquinas.

O processo fabril compreende as seguintes fases: extração da argila, preparação e mistura da massa cerâmica, conformação dos produtos via prensagem ou extrusão, secagem e queima, exatamente a etapa onde se dá um grande aporte de energia, geralmente na forma de lenha ou de outras biomassas energéticas (INT, 2017). Atualmente, de acordo com a ANICER (2025), o setor já faz uso de biomassas residuais, tais como pó de serra, cascas, podas e outras, de forma consistente, embora não exista uma estatística sobre o montante empregado, como será abordado a frente.

A adição ou o aproveitamento de resíduos com carga orgânica se daria na etapa de preparo da massa e, por possuir conteúdo energético, cederia calor para as peças cerâmicas na etapa de queima em fornos de sinterização (Figura 1), podendo reduzir o input energético usualmente necessário para a queima plena das peças cerâmicas.

A utilização de resíduos na massa cerâmica vem sendo pesquisada largamente, principalmente na Europa (Menezes et al., 2002). Por serem muitos os tipos de resíduos, estes são comumente agrupados em categorias, de acordo com suas propriedades e influência no produto final. No presente trabalho foi selecionada a borra de café solúvel industrial, categorizada como combustível, pelo seu alto teor de matéria orgânica, como também por apresentar volume adequado em grandes indústrias e certa facilidade de transporte regionalmente.

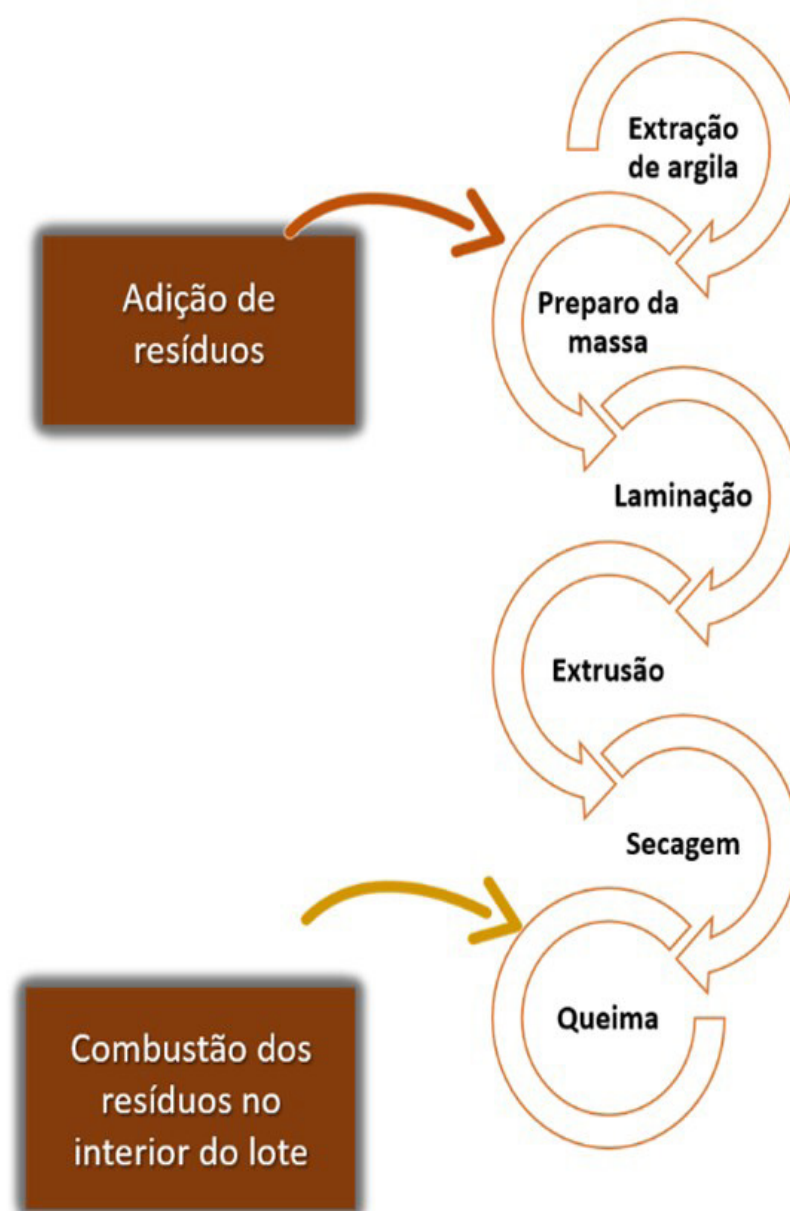


Figura 1 – Processo produtivo da indústria de cerâmica vermelha com adição de resíduo.

### 2. 3 A indústria de café solúvel

O Brasil, em 2020, foi o maior produtor de café solúvel do mundo, com mais de 122 mil toneladas produzidas destinadas ao consumo interno e à exportação, com projeções de aumento em 18% para os anos seguintes (ABICS, 2021).

O processamento industrial dos frutos de café para produzir café moído e torrado em pó pode ser resumido em seis etapas: pré-limpeza, secagem, beneficiamento, torrefação, moagem e envase. Já na fabricação do café solúvel existem etapas complementares.

Após a seleção dos grãos, torra e moagem há a etapa de extração, quando há a circulação de água a 210 °C em alta pressão (20kgf/cm<sup>2</sup>), e são obtidos aproximadamente 37% de sólidos solúveis (extrato de café) e 63% de sólidos não solúveis, a chamada borra de café.

Após esta etapa, a parte líquida do produto segue para concentração, onde a água é retirada do extrato. Na fase seguinte dá-se a recuperação de aromas e do tratamento de extrato. Esse extrato passa ainda por duas etapas de secagem, por aspensão e por liofilização, após as quais o produto segue para a etapa de aglomeração e envase.

Portanto, a borra resulta da etapa de extração e, em alguns processos industriais, ela é prensada para reduzir a umidade e pode ser seca para finalmente ser usada como fonte de energia em caldeiras adaptadas, apresentando umidade final em torno de 20 – 25% de água (Cabral e Morris, 2010). Seu aproveitamento pode se dar de diversas formas, tais como: compostagem, adubo orgânico, produção de biocombustíveis, biochar, bioplástico, combustível sólido e, no presente caso para compor a massa cerâmica de blocos, atuando como fonte energética secundária e aditivo para a melhoria de alguns parâmetros técnicos (Tangmankongworakoon, 2019, Freitas e Renó, 2022, Silva et al., 1998).

### 2. 4. O resíduo borra de café empregado na fabricação de blocos

A borra de café é um resíduo sólido obtido após a etapa de extração da bebida com os grânulos submetidos à água quente. A quantidade de borra gerada no processo é considerável, sendo que para cada tonelada de café processado são produzidos aproximadamente 480 kg de borra (ADANS e DOUGAN, 1985 apud Cabral e Morris, 2010).

Segundo Vegro e Carvalho (1993), por ser formada de grânulos isométricos, proporciona uma mistura homogênea na massa cerâmica. Ainda nesta pesquisa encontra-se a informação de que a borra de café é formada de 91% de matéria

orgânica rica em lipídios e esta característica atenta para a capacidade de geração de calor do resíduo, cujo poder calorífico é de 3.500 kcal/kg (Soares, 2015).

Fonseca et al. (2014) realizaram misturas de argila com até 30% de borra de café adicionados à massa cerâmica, e os resultados indicaram que o uso deste resíduo aumenta a absorção de água e a porosidade aparente dos produtos cerâmicos, enquanto a densidade aparente e a resistência mecânica diminuem, sendo as amostras com 5% as mais indicadas para utilização (para peças queimadas a 1.100°C). A qualidade das peças no que tange ao isolamento térmico foi superior em virtude de uma redução de até 30% da condutividade térmica.

Maciel et al. (2020) realizaram misturas de argila com até 20% de borra de café, queimadas a 1.000°C e observaram que maiores quantidades de borra aumentam a absorção de água, a porosidade aparente e a perda de massa, enquanto a massa específica aparente e a resistência mecânica diminuem conforme é adicionado este resíduo.

Manni et al. (2019) realizaram misturas de argila com 10%, 20% e 30% de borra café em sua composição e as amostras foram queimadas a 1.150°C. Neste experimento também concluíram que o uso deste resíduo aumenta a porosidade e a absorção de água, e diminui a densidade aparente, a resistência à flexão e a condutividade térmica. Afirmam também que o teor de 30% é o melhor a ser empregado por trazer alto índice de porosidade.

Jovanovic et al. (2018) fizeram seus experimentos com adição de 5% e 10% de borra de café à massa de argila, com corpos de prova queimados até 1.173°C, concluindo que a adição deste resíduo aumenta a plasticidade da argila e a porosidade e ainda diminui o tempo de secagem das peças e a densidade aparente. Por outro lado, mesmo com o aumento da porosidade e, conseqüentemente a diminuição da resistência à compressão, as peças ainda apresentam valores aceitáveis para este parâmetro quando se adiciona até 10% do resíduo. Também concluíram que o uso do resíduo diminui a condutividade térmica. Com a diminuição da densidade aparente são obtidos blocos mais leves, o que facilita o transporte.

Os autores consideraram a adição mais conservadora ao simular as adições em 5% de borra de café, tendo em vista que os resultados positivos de alguns experimentos não ultrapassavam esse limite. Alguns relatos indicavam uma piora da resistência mecânica para misturas com teores superiores, o que seria indesejado (Maciel et al., 2020.; Jovanovic et al., 2018). E com base em um experimento próprio, em laboratório e em escala industrial, mas com o uso de turfa, concluiu-se que este seria um limite seguro (Henriques Jr et al., 1991). Além disso, este levantamento bibliográfico apresentado sobre o tema específico para borra de café industrial é apoiado em evidências empíricas.

Sobre a queima da borra de café, pode-se também dizer que sua combustão segue os padrões de outros combustíveis, isto é, seus componentes mais voláteis são liberados mais rapidamente e queimados imediatamente na atmosfera aquecida dos fornos e, na sequência, os componentes de cadeia química mais pesada entram em combustão. Outro efeito observado em testes laboratoriais, descrito por Henriques Jr. et al. (1991), é a redução do tempo de sinterização quando o resíduo se encontra misturado à carga cerâmica, proporcionando redução do input energético ou economia de energia (ou ainda redução de perdas térmicas).

### 3. Materiais e métodos

A metodologia empregada neste estudo combinou abordagens quantitativas e qualitativas, integrando análise de dados técnicos com reflexões teóricas sobre sustentabilidade e economia circular.

Em uma etapa inicial do estudo buscou-se verificar a capacidade de absorção dos resíduos cafeeiros pelo setor cerâmico em função da viabilidade técnica e econômica baseada em teores máximos admissíveis nas misturas e nas distâncias existentes entre as empresas geradoras de tais resíduos e os polos cerâmicos eventualmente absorvedores.

Inicialmente, foram coletadas informações sobre a produção brasileira de café solúvel e a geração correspondente de borra de café, com a base de dados da Associação Brasileira da Indústria de Café Solúvel (ABICS). O levantamento concentrou-se nas empresas associadas à ABICS, devido à maior facilidade de acesso e confiabilidade dos dados.

Paralelamente, buscou-se na literatura a caracterização das propriedades físico-químicas da borra de café, especialmente seu poder calorífico e sua composição orgânica.

A quantidade de resíduo a ser aplicada na massa cerâmica foi definida com base na revisão de estudos anteriores (Fonseca Et Al., 2014; Maciel Et Al., 2020; Manni Et Al., 2019.; Jovanovic et al., 2018), sendo o percentual de adição para as quantificações desenvolvidas de acordo com Henriques et al. (1991). Este último demonstra que a adição de resíduo orgânico à massa cerâmica proporciona redução do tempo de sinterização e gera economia de energia, ou seja, as perdas de calor presentes são reduzidas no processo de sinterização.

Já os dados de produção do setor cerâmico, especificamente de blocos, foram retirados de literatura específica (INT, 2017; ANICER, 2025). Observa-se que foi considerada somente a produção de blocos (estruturais e de vedação), uma vez que o aumento da porosidade observado, não indicaria esse aproveitamento para a fabricação de telhas cerâmicas.

Por fim, a viabilidade econômica foi calculada considerando dois fatores principais: a capacidade de absorção do setor cerâmico regionalmente e os custos de transporte. Assim sendo, para estabelecer as distâncias máximas viáveis, utilizou-se calculadora online do website [www.rotasbrasil.com.br](http://www.rotasbrasil.com.br), que fornece os preços para as rotas comerciais baseadas nas tabelas da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) atualizadas.

#### 4. Resultados e discussão

De modo a estabelecer a possibilidade de simbiose, foi investigada a proximidade das indústrias de cerâmica vermelha com indústrias de café solúvel regionalmente, já que o transporte seria o fator econômico limitador.

Foi, então, estipulado que deveria se levar em conta um raio máximo econômico em que fosse viável a obtenção do resíduo e que seu valor não poderia ultrapassar o preço base que uma empresa cerâmica dispense para o transporte da argila, ou seja, USD 245,00<sup>1</sup> para um caminhão com capacidade para 25 toneladas, com motorista incluso<sup>2</sup>. Assim, através do website da ANTT, chegou-se a uma distância máxima de 350 km de distância, e a um custo de USD 180,00 para transportar as mesmas 25 toneladas do resíduo borra de café.

Ao plotar as principais indústrias de café solúvel do país no mapa<sup>3</sup>, pode-se notar que todos os polos de produção cerâmica (em amarelo), seja do estado de Minas Gerais (MG), Rio de Janeiro (RJ), Espírito Santo (ES), São Paulo (SP) e Paraná (PR), estão dentro do raio máximo de comercialização de 350km em torno destas (Figura 2). É importante notar que as indústrias de café solúvel estão localizadas nas principais regiões produtoras de café em grãos do país, ou seja, na região Sudeste, compreendendo os estados de Minas Gerais, São Paulo e Espírito Santo (IBGE, 2023).

Uma vez que é demonstrada a viabilidade de utilização dos resíduos, com base na revisão de literatura, é possível estabelecer o valor conservador de 5% de adição do resíduo à massa cerâmica (Fonseca et al., 2014), visto que esta proporção demonstra oferecer um melhor desempenho em relação às características físicas do bloco, considerando um produto com 2,5kg/peça (INT, 2017). Dentro dos benefícios, além daqueles quantificados adiante, a adição de 5% de borra de café à massa melhora o isolamento térmico das peças, reduzindo em até 30% a condutividade térmica (Fonseca et al., 2014). Observa-se ainda que a incorporação dos resíduos também produz peças mais leves, o que facilita o transporte e diminui o tempo de secagem dos produtos, segundo Jovanovic et al. (2018).

Ao mesmo tempo, a adição de 5% resulta numa capacidade de absorção das empresas cerâmicas da região de estudo em cerca de 2 milhões de toneladas do resíduo. Com base em dados de 2021, onde foram produzidas 122,2 mil toneladas de café solúvel (ABICS, 2021), e considerando que cada tonelada de café gera aproximadamente 480 kg de borra (ADANS e DOUGAN, 1985 apud Cabral e Morris, 2010), pode-se inferir que houve uma geração de mais de 58 mil toneladas de borra de café solúvel neste ano.

Ao ser incorporado na massa dos blocos cerâmicos e ao entrar em contato com o ambiente aquecido dos fornos, o resíduo incorporado cede calor ao processo de queima, o que faz com que o processo de sinterização seja otimizado. Dessa forma o presente trabalho estimou os ganhos econômicos de acordo com sua origem: a) calor fornecido pela borra de café e sua equivalência em lenha utilizada nas fornalhas; b) a economia de lenha oriunda de uma melhor sinterização e redução de tempo deste processo; c) a economia por redução de perdas por quebras e trincas devido a uma cocção mais homogênea; e d) economia da matéria prima propriamente dita - a argila, conforme detalhado adiante.

1 1 Dólar = 5,41 Reais em 08/09/2025.

2 Este preço foi estimado com base em informações obtidas com os sindicatos regionais de ceramistas.

3 As indústrias de café solúvel também se encontram em regiões próximas aos principais portos no país, ajudando a escoar exportações.



Figura 2 – Localização das empresas de café solúvel e polos cerâmicos nas regiões Sudeste e Sul do Brasil dentro de um raio máximo econômico de comercialização.

#### 4.1. Equivalência borra e lenha – substituição energética

Considerando-se que toda a borra produzida fosse incorporada à massa cerâmica, produzindo assim 1,17 milhão de toneladas em peças de argila com resíduo, e que este resíduo possui poder calorífico de  $3.500 \text{ kcal/kg}^4$  (Vegro e Carvalho, 1993), essa adição contribuiria anualmente para todo o setor com 205 mil Gcal (ou 20 mil tep<sup>5</sup> aproximadamente). Este resíduo agregado à massa, ao entrar em contato com o calor do forno, doa a referida quantidade de calor ao processo, substituindo a mesma quantidade de energia equivalente que originalmente seria obtida via queima de lenha ou outro tipo de biomassa nos fornos. Esta quantidade de energia equivale a 44% da energia total necessária para sinterizar a produção de 1,17 milhão de toneladas de blocos indicada acima.

Tomando-se como base que o principal combustível utilizado nas cerâmicas é a lenha (INT, 2017), esta economia resulta em aproximadamente 66 mil toneladas desse energético por ano. Pontuando-se que esta lenha é comercializada em volume (por estéreo<sup>6</sup>), a economia alcançaria cerca de USD 11,1 milhão para o setor anualmente.

#### 4.2. Redução do tempo de sinterização

Segundo Mothé (2008), com a utilização de certos tipos de resíduo na massa cerâmica há maior uniformidade de temperatura nos fornos, reduzindo o tempo de queima em até 40%, o que permite aumentar a produção e diminuir custos. De acordo com o estudo sobre adição de turfa à massa cerâmica (Henriques Jr et al., 1991), a utilização deste energético, tomado como referência, proporcionou uma economia de energia e uma redução do tempo de sinterização em 16%, valor base adotado para a presente estimativa.

Para produzir blocos, os fornos empregam em média 0,6 estéreos a cada mil peças produzidas. Portanto, para produzir as 1,1 milhão de toneladas em peças que poderiam agregar a borra seriam aportadas quase 150 mil toneladas de lenha sem a adição do resíduo. Com a adição, e conseqüente redução de 16%, seria evitado um gasto de aproximadamente 24 mil toneladas de lenha, contribuindo com 16% do total da lenha necessária para sinterizar todas as peças (1,17 milhões de toneladas de blocos). Esta lenha poupada resulta em uma economia de USD 4 milhões de dólares para o setor como um todo.

#### 4.3. Redução de perdas na produção (maior qualidade dos produtos e produtividade)

Ainda de acordo com o estudo mencionado sobre a turfa (Henriques Jr et al., 1991), com base na doação de calor do resíduo para as peças, obtém-se uma produção mais homogênea, já que o calor durante a sinterização ocorre de forma mais uniforme e sem grandes oscilações com relação à queima exclusiva com lenha. Esta maior homogeneidade faz com que as perdas possam ser reduzidas em 4% devido à uma menor quantidade de trincas, quebras e peças defeituosas.

4 Umidade em torno de 20% após secagem.

5 Tonelada equivalente de petróleo.

6 1 estéreo (st) corresponde a massa de 1 metro cúbico ( $\text{m}^3$ ) de madeira empilhada, incluindo os espaços vazios entre as toras ou lascas. No presente estudo, considerou-se um estéreo com 320kg e custo de USD 54,00/st, também com base nas informações cedidas pelos sindicatos regionais.

Considerando a produção com borra para processar 1,1 milhão de toneladas em peças, e o preço do lote com 2,5 toneladas a USD 72,001, a redução de gastos com perdas é da ordem de USD 1,35 milhão por ano para todo o setor. Com esta redução evita-se o desperdício de se queimar cerca de 47 mil toneladas de peças para complementar uma produção anteriormente perdida, que implicaria em gasto equivalente a 6 mil toneladas de lenha, ou o equivalente a 4% do total do combustível para sinterizar as 1,1 milhão de toneladas de peças.

#### 4.4 Economia de matéria prima – a argila

Com a substituição parcial da argila por borra de café, diminui-se a pressão sobre as jazidas, mesmo que em pequena escala, além da diminuição nos gastos com este insumo, que custa cerca de USD 10,00 por tonelada. Com 58.560 toneladas de borra produzidas por ano sendo absorvidas pelo setor, seriam evitados gastos com argila da ordem de USD 570 mil dólares por ano para todo o setor nas regiões selecionadas. Acredita-se que as variações dos tipos de argila para a fabricação de blocos e tijolos não devam ser significativas para modificar o entendimento técnico tratado.

#### 4.5 Resultados consolidados

Os resultados encontrados nos quatro blocos anteriores encontram-se resumidos na Tabela 1. O aporte de energia térmica total entregue nos três primeiros blocos atinge 96.000 toneladas de lenha ou 298.000 Gcal. Evitar este gasto com biomassa energética nas fornalhas, somado à economia de argila que se faz com a substituição desta por resíduo, gera um ganho econômico total de mais de USD 17 milhões para todo o setor anualmente.

Tabela 1 – Resumo dos ganhos econômicos e energéticos passíveis de obtenção pela adição de resíduo de borra de café na massa cerâmica anualmente para todo o setor.

	Economia de energia (t de lenha/ano)	Energia equivalente economizada		Ganho financeiro (USD/ano)
		(Gcal/ano)	(tep/ano)	
Substituição energética de lenha por borra (Item 4.1)	66.000	205.000	20.500	11.100.000
Redução no tempo de sinterização (Item 4.2)	24.000	74.400	7.440	4.000.000
Redução de perdas / Maior produtividade (Item 4.3)	6.000	18.600	1.860	1.350.000
Economia de argila (Item 4.4)	-	-	-	570.000
<b>TOTAL</b>	<b>96.000</b>	<b>298.000</b>	<b>29.800</b>	<b>17.020.000</b>

#### 4.6. Outros ganhos – desmatamento evitado

Dada à alta informalidade da produção de cerâmica vermelha no Brasil (INT, 2017; IBGE, 2022), é sabido que parte da lenha empregada no setor de cerâmica vermelha tem origem ilegal, sendo extraída irregularmente de vários biomas no país. Dada à alta informalidade da produção de cerâmica vermelha no Brasil (INT, 2017; IBGE, 2022), é sabido que parte da lenha empregada no setor de cerâmica vermelha tem origem ilegal, sendo extraída irregularmente de vários biomas no país (MMA, 2018).

É certo que o aproveitamento de alguns resíduos alimentando as fornalhas nas empresas cerâmicas já vem sendo realizado, como é o caso da bucha de coco, podas de frutíferas, resíduos de serrarias, resíduos madeireiros da construção civil, pallets, gramíneas, caroços, dentre outros (INT, 2017; MMA, 2018; Santos et al., 2013; Seyes et al., 2003; Campos e Oliveira, 2016; Lopes et al., 2016). Porém, estas fontes são insuficientes, bem como é deficiente a oferta de lenha legalizada, seja oriunda de Plano de Manejo Florestal Sustentável ou de florestas plantadas (MMA, 2018; Pareyn et al., 2016).

Diante deste déficit na oferta quando comparada com a demanda, calculada a partir dos consumos específicos dos fornos e a produção comercializada (INT, 2017), fica evidente que algumas cerâmicas se utilizam de biomassa de fontes ilegais<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> Esta prática é caracterizada como crime de acordo com a Lei de Crimes Ambientais (BRASIL, 1998) que proíbe o uso de matéria prima florestal sem comprovação de origem. Também infringe Lei nº 6.938/1981 (Política Nacional do Meio Ambiente – BRASIL, 1981) e consequente Resolução CONAMA nº 237/1997 (CONAMA, 1997) quem não cumpre o acordado quando do processo de licenciamento ambiental, que prevê a rastreabilidade de qualquer insumo que seja de origem florestal.

No presente estudo, considerando os estados-alvo (MG, RJ, ES, SP e PR), e com base no MapBiomass e consequente Relatório Anual de Desmatamento (2023), adotou-se a taxa de desmatamento média em tais estados abrangidos de 23%. Dessa forma, aplicando-se esta taxa de desmatamento sobre o total de lenha a ser economizada (96.000 t/ano), estima-se que poderiam ser poupadas cerca de 22 mil toneladas por ano de lenha ilegal, caso todo esse montante fosse extraído irregularmente.

Por fim, considerando que a área de estudo se encontra em regiões com predomínio do bioma Mata Atlântica, cuja densidade média é de 55 toneladas de lenha por hectare segundo [Ramires et al. \(2021\)](#), pode-se estimar que a área poupada de eventual desmatamento seria equivalente a aproximadamente 300 hectares por ano.

## 5. Conclusão

A transição para uma economia circular exige modelos inovadores em que resíduos deixam de ser passivos ambientais e se transformam em recursos. Nesse contexto, a simbiose industrial surge como uma solução, conectando setores distintos em uma relação de benefício mútuo: o que é descarte para uma indústria torna-se matéria-prima para outra. Essa abordagem não apenas reduz impactos ambientais, mas também gera eficiência energética e, conseqüentemente, econômica, alinhando-se a políticas como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que incentiva o reaproveitamento de resíduos em diferentes cadeias produtivas ([Brasil, 2010](#)).

Esta simbiose traz benefícios ambientais e técnicos com a transformação de um passivo ambiental (borra de café) em ativo, inserindo-o em uma cadeia produtiva e consolidando vantagens competitivas para as cerâmicas, como blocos mais leves, com melhor isolamento térmico e menor taxa de defeitos.

A indústria de cerâmica vermelha é capaz de assimilar a adição do resíduo borra de café solúvel em 5% da massa cerâmica que compõe os blocos e poderia ainda abarcar outros resíduos com carga orgânica.

Essa integração gera impactos significativos com a consequente economia energética e financeira, com a redução de 30 mil tep ou 96 mil estéreos de lenha/ano, distribuídos em 69% pela substituição energética nas fornalhas, 25% pela redução no tempo de sinterização, e 6% pela diminuição de peças defeituosas. Esta economia em lenha faz com que o setor tenha uma redução de gastos da ordem de USD 16,5 milhões/ano. Contabilizando-se ainda a substituição de argila, esta economia chega a USD 17 milhões por ano para todo o setor.

Outros benefícios diretos se referem à redução do desmatamento provocado pela atividade ceramista no país. Considerando a taxa média de desmatamento nos estados tratados, e levando-se em conta também a alta informalidade presente no setor, poderiam ser conservadas anualmente 22 mil toneladas de lenha e, o que equivale a quase 300 hectares/ano, se extraídas ilegalmente.

A sinergia entre as indústrias de café e cerâmica exemplifica como a simbiose industrial pode impulsionar a economia circular e demonstrar a ecologia industrial na prática, combinando sustentabilidade, eficiência econômica e inovação tecnológica. Os resultados evidenciam que soluções circulares podem ser viáveis tecnicamente e economicamente, transformando problemas ambientais em oportunidades estratégicas.

Assim sendo, recomenda-se que esse tema dos resíduos no Brasil possa ser mais estudado, porque é possível estabelecer condições ganha-ganha para os lados envolvidos – geradores e absorvedores de resíduos, gerando economias, renda, empregos e maior conservação ambiental.

Por outro lado, sabe-se que esta opção não é trivial. A informalidade presente no setor cerâmico faz com que este não seja plenamente visível para as instituições públicas, dificultando a priorização de investimentos e a atenção do poder público. Além disso, a falta de cooperação setorial, obstáculos regulatórios e a oposição de produtores convencionais agregam aos obstáculos para uma política pública efetiva.

Como recomendação fica também a questão da emissão de gases de efeito estufa, mas que poderia ser simulada com base em diversas situações, considerando a decomposição de resíduos direcionados para lixões gerando gás metano versus as emissões provenientes de desmatamento. Adicionalmente, sugerem-se estudos complementares sobre avaliação de ciclo de vida de blocos cerâmicos, comparando-os com outros produtos concorrentes, e com e sem resíduos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à equipe técnica do Instituto Nacional de Tecnologia (INT), e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que proporcionou essa pesquisa no âmbito do Programa de Capacitação Institucional (PCI) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) - processo 314480/2025-0.

## Referencias

- ABICS. Associação Brasileira da Indústria do Café Solúvel. Relatório do café solúvel no Brasil. 2021. Disponível em: <https://www.abics.com.br/informacoes.php>. Último acesso em: 14/03/2025.
- ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. 2021. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>. Último acesso em: 06/10/2024.
- ANICER. Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Dados do setor. 2025. Disponível em: <https://www.anicer.com.br/anicer/setor/>. Último acesso: 27/05/2025.
- Brasil. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Último acesso em: 09 de maio de 2025.
- Brundtland, G. H. Our common future. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1987.
- Cabral, M. S.; Morris, V. A. S. Reaproveitamento de borra de café como medida de minimização da geração de resíduos. 2010.
- Campos, J. S. N.; Oliveira, M. C. R. Caracterização da cadeia produtiva de processamento de biomassa residual para o setor de cerâmica vermelha em São José dos Pinhais, Paraná. Congresso Internacional de Biomassa, 2016.
- Fonseca, B. S. Vilão, A. Galhano, C. Simão J. A. R. Reusing coffee waste in manufacture of ceramics for construction. *Advanced in applied ceramics*, v. 113, n. 3. 2014. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/263656635\\_Reusing\\_coffee\\_waste\\_in\\_manufacture\\_of\\_ceramics\\_for\\_construction](https://www.researchgate.net/publication/263656635_Reusing_coffee_waste_in_manufacture_of_ceramics_for_construction). Último acesso em: 28/03/2025.
- Freitas, L. C. F. Renó, M. L. Z. Avaliação ambiental e econômica dos resíduos de café. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, V. 27. 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/VzMTJdrdT4FnP4mkJsLW9Bp/abstract/?format=html&lang=pt>. Último acesso em: 28/05/2025
- Garcia-Muñoz, A.f. Riaño-Luna, C.e. Extracción de celulosa a partir de la borra de café. *Cenicafé*. V. 50, n. 3. 1999. Disponível em: [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc050\(03\)205-214.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc050(03)205-214.pdf). Último acesso em: 06/10/2024.
- Henriques Jr., M.f., Barreto, A.j.b., Tapia, R.s.e.c., Uso de turfa na massa cerâmica para a fabricação de tijolos vermelhos. Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Cerâmica e III Iberoamericano de Cerâmica, vol. 1, Vidro e Refratário, ABCeram, Belo Horizonte-MG, 1991.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. PNAD Contínua: indicadores de informalidade na construção civil. Quintas da CIBIC. 2022. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2022/05/apresentacao-pnadc-informalidade-cbic-11052022.pdf>. Último acesso em: 18/06/2025.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção de Café. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cafe/br>. Último acesso em: 05/09/2025.
- INT. Instituto Nacional de Tecnologia. Cerâmica vermelha – Projeto EELA no Brasil. Henriques Jr., M.F. e Rodrigues, J. A. P. (Orgs.), Rio de Janeiro, 2017.
- Jovanovic, M. Mujkanovic, A. Tutic, E. Effects of coffee waste addition to brick clay “cavka”. 1° international conference holistic approach to environment, Sisak, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/328495923>. Último acesso em: 29/03/2025.
- Lopes, G. A.; Brito, J. O.; Moura, L. F. Uso energético de resíduos madeireiros na produção de cerâmicas no estado de São Paulo. Nota Técnica, *Ciências Florestais* nº 26, v. 2. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/WSngFyLqwV3qbQ43cxwqBSz/?format=html&lang=pt>. Último acesso em: 19/08/2025.
- Maciel, F.s. Holanda, J. N. F. Loiola, R. L. Maciel, L. A. R. Gonçalves, V. S. Aplicabilidade de resíduo borra de café como matéria prima alternativa na obtenção de material cerâmico. 3° Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, Rio Grande do Sul, 2020. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2020/XII-012.pdf>. Último acesso em: 28/03/2025.
- Manni, A. Haddar, A. E. Hassani, I. E. A. Bouari, A. E. Sadik, C. Valorization of coffee waste with Moroccan clay to produce a porous red ceramic. *Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio*, v. 58, n. 5, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0366317519300226>. Último acesso em: 29/03/2025.
- MAPBIOMAS. COLEÇÃO 9, COBERTURA E USO DA TERRA. 2025. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/>. Último acesso em: 03/06/2025.

- MAPBIOMAS. RAD2023: Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2023 - São Paulo, Brasil - MapBiomass, 2024 – Disponível em: <http://alerta.mapbiomas.org>. Último acesso em: 03/06/2025.
- Meadows, D. et. al Limits to Growth: A Report for the Club of Rome Project on the Dilemma of Humankind. São Paulo: Perspectiva, 1973.
- Menezes, R.r. Neves, G.a. Ferreira, H.c. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.2, Paraíba, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/6vLG6Nh3xPkHkBJWk6p49YL/abstract/?lang=en>. Último acesso em: 29/09/2024.
- MMA. Biomassa para energia: atualidades e perspectivas. 2018. Disponível em: [https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/br/Livro\\_APNE\\_NE\\_AGO20.pdf](https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/br/Livro_APNE_NE_AGO20.pdf). Último acesso em: 12/08/2025.
- Mothé, A. V. Utilização de lama de alto-forno em Cerâmica Vermelha .2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais), UENF, Campos dos Goytacazes. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/pdf-lama.pdf>. Último acesso em: 03/06/2025.
- Pareyn, F. et al. Manual para escolha da Biomassa Combustível em Indústrias de Cerâmica Vermelha no Nordeste. 1ª edição. Rio de Janeiro: INT/MCTI , 201. Disponível em: [https://anicerpro.com.br/wp-content/uploads/2018/06/Manual-da-Escolha-da-Biomassa-Combust%C3%ADvel-EELA\\_INT.pdf](https://anicerpro.com.br/wp-content/uploads/2018/06/Manual-da-Escolha-da-Biomassa-Combust%C3%ADvel-EELA_INT.pdf). Último acesso em: 12/08/2025.
- Ramírez, C., Alberdi, I., Bahamondez, C., Freitas, J., coords. 2021. Inventarios Forestales Nacionales de América Latina y el Caribe: Hacia la armonización de la información forestal. Roma, FAO. Disponível em: [https://snif.florestal.gov.br/images/pdf/publicacoes/Inventarios\\_Forestales\\_Nacionales\\_armonizacion\\_2021.pdf](https://snif.florestal.gov.br/images/pdf/publicacoes/Inventarios_Forestales_Nacionales_armonizacion_2021.pdf). Último acesso em: 03/06/2025.
- Resolução Conama nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental disponível em: [https://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=237](https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=237). Último acesso em: 12/08/2025.
- Russo, M. A. T. Tratamento de resíduos sólidos. Faculdade de Ciências e Tecnologias. Universidade de Coimbra. 2003. Disponível em: <http://homepage.ufp.pt/madinis/RSol/Web/TARS.pdf>. Último acesso em: 15/03/2025.
- Santos, L. R. O.; Scarlet, V.; Barros, J. L.; Martins, M. P.; Yamaji, F. M. Caracterização da biomassa utilizada em fornos cerâmicos. In: Anais do Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia Da Madeira de 2013, 2013. Anais eletrônicos. Galoá, 2013. Disponível em: <<https://proceedings.science/cbcm-2013/papers/caracterizacao-da-biomassa-utilizada-em-fornos-ceramicos?lang=pt-br>>. Último acesso em: 19/08/2025.
- Seyes, O.; Cortez, L. A. B.; Gómez, E. O.; Braunbeck, O. Queima direta de gramínea Projeto Integrado de Biomassa – PIB. In: 3º Encontro de Energia no Meio Rural, 2000, Campinas. Anais eletrônicos. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC0000000022000000200001&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022000000200001&lng=en&nrm=abn)>. Último acesso em: 19/08/2025.
- Silva, M. A. Nebra, S. A. Silva, M. J. M. Sanchez, C. G. The use of biomass residues in the Brazilian soluble coffee industry. *Biomass and Bioenergy*. V. 14. 457-467 p. 1998. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/223032910\\_The\\_use\\_of\\_biomass\\_residues\\_in\\_the\\_Brazilian\\_soluble\\_coffee\\_industry](https://www.researchgate.net/publication/223032910_The_use_of_biomass_residues_in_the_Brazilian_soluble_coffee_industry). Último acesso em: 28/05/2025.
- Soares, L. S. Moris, V. A. S., Yamaji, F.m. Paiva, J.m.f. Utilização de resíduos de borra de café e Serragem na moldagem de briquetes e avaliação de propriedades. *Revista Matéria*. V 20. n 02. 2015.
- Tangmankongworakoon, N. An approach to produce biochar from coffee residue for fuel and soil amendment purpose. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, V. 8, 37 – 44p. 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40093-019-0267-5>. Último acesso em: 28/05/2025.
- Trevisan, M. Nascimento, L.f. Madruga, L.s.r.g. Neutzling, D.m. Figueiró, P.s. Bossle, M.b. Ecologia industrial, simbiose industrial e ecoparque industrial: conhecer para aplicar. *Sistemas e Gestão*, v. 11, 2016. Disponível em: <https://www.revistasg.uff.br/sg/article/view/993>. Último acesso em: 15/03/2025.
- Vegro, C. L. R. Carvalho, F. C. Disponibilidade e utilização de resíduos gerados no processamento agroindustrial do café. XXXI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, Bahia. 1993.