

ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS EM CERÂMICA VERMELHA

K. M. ALMEIDA¹, M. C. B. GADIOLI², M. C. AGUIAR³, G. R. S. MAIOR⁴, F. W. H. VIDAL⁵
Centro de Tecnologia Mineral - Núcleo Regional do Espírito Santo – CETEM/MCTI^{1,2,3,5}
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – IFES^{1,4}
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6140-8358>¹
kayronemarvila@gmail.com¹

Submetido 09/05/2023 - Aceito 01/12/2023

DOI: 10.15628/holos.2023.15469

RESUMO

O Brasil é reconhecido mundialmente como um dos principais produtores de rochas ornamentais, o que gera uma quantidade significativa de resíduos. Desde 1990, pesquisas vêm sendo realizadas sobre a utilização desses resíduos em artefatos cerâmicos e outros materiais, com resultados promissores, que apontam para uma produção mais sustentável, com redução na deposição de resíduos na natureza e produtos de melhor qualidade. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi analisar a viabilidade econômica do transporte e direcionamento dos resíduos das empresas de beneficiamento de rochas ornamentais até as indústrias de cerâmica vermelha, com

foco em algumas empresas da região sul do estado do Espírito Santo. Foram coletados dados sobre as localizações das empresas de rochas, indústrias cerâmicas e aterros de resíduos, além de informações sobre as distâncias entre elas e os custos envolvidos no transporte e deposição dos resíduos em aterros. Os resultados indicaram que, para 87% das empresas de beneficiamento de rochas da região, o direcionamento dos resíduos para as indústrias de cerâmica vermelha é mais economicamente viável do que a deposição em aterros.

PALAVRAS-CHAVE: Viabilidade, rochas ornamentais, resíduos, cerâmica vermelha.

ECONOMIC VIABILITY STUDY OS USE WASTE ORNAMENTAL STOBNES IN RED CERAMICS

ABSTRACT

Brazil is known worldwide as one of the main producers of ornamental stones, which generates a significant amount of waste. Since 1990, research has been carried out on the use of these wastes in ceramic artifacts and other materials, with promising results, which point to a more sustainable production, with a reduction in the deposition of wastes in nature and better quality products. In this context, the objective of this work was to analyze the economic viability of transporting and directing waste from ornamental stone processing companies to the red ceramic industries, focusing on

some companies in the southern region of the state of Espírito Santo. Data were collected on the locations of stone companies, ceramic industries and waste landfills, as well as information on the distances between them and the costs involved in transporting and depositing waste in landfills. The results indicated that, for 87% of the stone processing companies in the region, directing waste to the red ceramic industries is more economically viable than deposition in landfills.

KEYWORDS: Viability, ornamental stones, wastes, red ceramic.

1 INTRODUÇÃO

A principal matéria-prima utilizada nas indústrias de cerâmica vermelha são as argilas. Elas são encontradas em depósitos sedimentares, e uma das suas maiores aplicações são para a fabricação de tijolos, telhas e outros artefatos (SANT'ANA; GADIOLI, 2018). Segundo ANICER (2023), o Brasil possui, aproximadamente, 5.437 indústrias de cerâmica vermelha. Os produtos cerâmicos evoluíram ao longo da história. Sua utilização foi e é até hoje aplicada em diversas áreas. A construção civil é uma das áreas que mais utilizam cerâmica vermelha no mundo, e as construções de alvenaria são as que mais consomem cerâmica vermelha (ANICER, 2023).

A utilização de outras matérias primas como alternativa na massa cerâmica, juntamente com a argila, é estudada há anos. Uma alternativa muito pesquisada e estudada por grandes centros e pesquisadores é a possibilidade de aplicação do resíduo fino do beneficiamento de rochas ornamentais, gerados por tear multifio, na incorporação parcial da massa cerâmica, isso junto com as argilas, para fabricação de artefatos como tijolos e telhas. Segundo ABIROCHAS (2022), o Brasil exportou US\$ 1,34 bilhão, cerca de 2,40 milhões de toneladas de rochas ornamentais no ano de 2021, e o estado do Espírito Santo foi um dos maiores produtores e exportadores de rochas ornamentais no país. Durante o processo de beneficiamento de rochas ornamentais, é gerado uma grande quantidade de resíduo. De acordo com Silveira, Vidal e Souza (2014), cerca de 26% de um bloco de rochas ornamentais, quando processado, é transformado em resíduo. A utilização deste resíduo na formulação das massas para fabricação de cerâmica vermelha ajudaria a diminuir o problema ambiental e reduzir os custos com a extração da argila.

Atualmente, alguns estudos comprovaram a viabilidade de aproveitamento do resíduo gerado na serragem de blocos de rochas ornamentais (com teares de fio diamantado) na formulação das massas para confecção de artefatos cerâmicos. Segundo Aguiar (2012), os artefatos cerâmicos confeccionados com resíduo de rochas ornamentais, possuem uma redução da porosidade do material, proporcionando uma melhora em suas propriedades tecnológicas. De acordo com a pesquisa realizada por Sant'Ana e Gadioli (2018), a utilização de 50% de resíduos de rochas ornamentais na massa de artefatos cerâmicos pode aumentar em até 45% a sua resistência mecânica. Em 2022, foi realizado um trabalho de incorporação dos resíduos nas porcentagens de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% em cerâmica vermelha (AGUIAR *et al.*, 2022). No trabalho foram caracterizadas as matérias-primas e foram realizados testes de absorção de água, retração e resistência. As peças cerâmicas fabricadas com o resíduo apresentaram baixa absorção de água, menor retração e maior resistência mecânica quando comparadas às cerâmicas sem resíduo. No mesmo ano, Gadioli *et al.* (2022), realizou um teste ambiental no resíduo de rochas ornamentais utilizado para estudo de incorporação na massa cerâmica. O resultado apresentou que o resíduo estava dentro dos limites da norma ABNT NBR 10004, classificado, portanto, como Classe II B (não perigoso e inerte). Os estudos comprovam que a incorporação do resíduo nas massas cerâmicas pode ser uma alternativa para reduzir e/ou eliminar os problemas ambientais gerados com a sua deposição em aterros.

A utilização do resíduo de rochas ornamentais não depende somente das características tecnológicas e estruturais do produto final. Um fator preponderante é o custo do transporte do resíduo da indústria de beneficiamento com destino às empresas de cerâmica. É muito importante que seja mais viável direcionar o resíduo para a empresa de cerâmica utilizar em seu processamento, do que transportar e depositar em aterro. O valor gasto com transporte e deposição dos resíduos gerados afeta, diretamente, o custo final das rochas produzidas, além, do impacto ambiental.

Portanto, o principal objetivo é analisar a viabilidade econômica para transportar e direcionar o resíduo das empresas de beneficiamento de rochas ornamentais até as indústrias de cerâmica vermelha na região sul do estado do Espírito Santo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O setor de rochas ornamentais

O Brasil é um país reconhecido mundialmente pelo seu grande potencial na produção de rochas ornamentais, se encontra em quarto lugar no ranking internacional do setor, exportou aproximadamente 2,4 milhões de toneladas no ano de 2021 (ABIROCHAS, 2022).

O estado do Espírito Santo é o maior produtor e exportador de rochas ornamentais do país, sendo responsável por mais de 83% das exportações (ABIROCHAS, 2022). No mesmo ano, destacou-se o crescimento e maior participação nas exportações das chapas de quartzito e de mármore, bem como dos blocos de rochas quartzíticas. O mesmo levantamento demonstra que os produtos de maior valor agregado nas exportações são as chapas de quartzito, mármore e dos produtos de pedra-sabão (ABIROCHAS, 2022).

2.2 Geração de resíduos no beneficiamento de rochas

As etapas de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais geram perdas consideráveis de material, gerando resíduos, que ao longo da cadeia produtiva representam perdas da ordem de até 90%. Apenas 74% de um bloco torna-se chapa quando processado, o restante é transformado em resíduos finos (SILVEIRA; VIDAL; SOUZA, 2014). Portanto, existe uma grande quantidade de resíduos que podem ser aproveitados. Esses resíduos são oriundos de duas categorias principais: resíduos grosseiros provenientes da etapa de extração ou lavra nas pedreiras; e resíduos finos das indústrias de beneficiamento. A maioria deles são os resíduos grossos da lavra, normalmente, dos blocos fora do padrão estético de mercado, além de outros irregulares, que dependendo do método da lavra bem como do tipo geológico e da própria rocha, podem atingir perdas de milhões de toneladas.

No beneficiamento, ocorrem também perdas de material grosseiro no aparelhamento dos blocos. Esse material é conhecido no setor por casqueiro. No desdobramento do bloco em chapas, na serraria, são produzidos os resíduos finos do beneficiamento. Estimam-se que no Brasil hoje são gerados, anualmente, cerca de 2,5 milhões de toneladas de resíduos finos do beneficiamento, dos quais, somente no estado do Espírito Santo, são depositados em aterros associativos e particulares

2,0 milhões de toneladas (CAMPOS *et al.*, 2014). Com isso, pode-se estimar que no Espírito Santo foram gerados nos últimos 9 anos aproximadamente 18 milhões de toneladas de resíduos finos. Além da quantidade considerável, o problema agrava-se visto que a maioria das indústrias não gerencia corretamente o manejo de seus resíduos.

2.3 Política nacional de resíduos sólidos

A quantidade de resíduos de mineração de rochas ornamentais apresenta um valor expressivo e preocupante, todavia, existem também outros resíduos de outros setores brasileiros. Por isso, pensando em reduzir o impacto dos resíduos sólidos no meio ambiente, em 2 de agosto de 2010 foi implementada a lei nº 12.305 da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Essa lei federal determina as diretrizes e normativas para o gerenciamento dos resíduos sólidos produzidos no país. Ela divide a responsabilidade do gerenciamento entre: o poder público e o privado. Portanto, o governo e os setores produtivos firmam um acordo para a implementação do ciclo de vida do produto.

A cadeia produtiva de rochas ornamentais no Espírito Santo tem alguns aspectos que merecem uma melhor abordagem, isso devido a grande quantidade de resíduos que são produzidos. Devem ser avaliados sempre os preceitos da sustentabilidade e da economia circular. A questão dos resíduos gerados na lavra e no beneficiamento chamam uma atenção especial, não apenas pela existência das mais diversas possibilidades de aplicação industrial, tendo em vista o grande volume produzido, mas também por potenciais usos que tais materiais teriam em outros segmentos industriais que ainda não foram efetivamente normatizados.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece uma ordem de prioridade em relação à geração de resíduos. São elas, em sequência: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e destinação final. Seguindo essa tratativa, o uso dos resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais na massa cerâmica para fabricação de artefatos, entraria no seguimento da reutilização. Assim, colabora para diminuir a destinação final do mesmo em aterros.

A sustentabilidade é mais do que um conceito ambiental; é um compromisso profundo de equilíbrio entre o ser humano, o planeta e o universo, refletindo o sentido essencial da existência. Implica uma conexão efetiva com nossas ações diárias, onde cada decisão impacta não apenas o nosso entorno imediato, mas também reflete em escalas maiores (PONTES; FIGUEIREDO, 2023). O comprometimento da sociedade com os resíduos sólidos é uma peça-chave desse compromisso. Requer uma abordagem consciente que vai além do simples descarte, exigindo ações que promovam a redução, reutilização e reciclagem de materiais, minimizando assim o impacto negativo no meio ambiente e nas futuras gerações (ALMEIDA *et al.*, 2022).

2.4 Indústria de cerâmica vermelha

O Brasil possui aproximadamente 5.437 empresas de cerâmica vermelha, gerando cerca de 18 milhões de faturamento anual, além de gerar cerca de 293 mil empregos diretos e 900 mil empregos indiretos (ANICER, 2023). Chegam a ser produzidas 4,6 bilhões de blocos cerâmicos 1,8 bilhões de telhas por ano (ANICER, 2023). A cerâmica vermelha é produzida a partir da matéria-

prima argila. Os artefatos criados podem ser revestimentos (ladrilhos, peças de porcelanato, pastilhas, mosaicos, azulejos), materiais para construção (blocos de vedação, blocos estruturais, telhas, lajotas, manilhas, tubos, tijolos) e itens de uso doméstico (filtros e painéis de barro). Na confecção dos produtos de cerâmica vermelha podem ser utilizados os mais variados tipos de argila e técnicas de processamento, com essa variedade, podem existir então várias propriedades diferentes dentre eles. As argilas podem variar de acordo com a região do país, devido a isso, podem possuir características e propriedades diferentes, isso também pode ser relacionado à sua formação geológica (MACEDO, 2008). A formação das argilas é devido à decomposição de rochas por ações hidrotermais e intempéricas.

2.5 Histórico da utilização do resíduo

Desde os anos 90, já se estuda a utilização dos resíduos de rochas ornamentais como alternativa para confecção de produtos. Os autores CALMON et al. (1997) foram um dos primeiros a pensar em rotas alternativas para uso desses resíduos. Em 1997, Calmon já afirmava que o grande volume de resíduo gerado era preocupante para o meio ambiente. Também observou que a crescente produção de rochas ornamentais iria influenciar, diretamente, no volume e descarte inadequado dos resíduos, gerando assim problemas ambientais. Em seus estudos preliminares, ele comprovou que os resíduos tinham propriedades químico-físicas para serem utilizados na fabricação de diversos materiais.

Com o passar dos anos, vários pesquisadores abordaram sobre o uso do resíduo em diversos produtos. Uma das principais alternativas e com maior viabilidade foi a confecção de artefatos de cerâmica vermelha. Segundo Aguiar (2012), os resíduos de rochas, quando aplicados na confecção de artefatos de cerâmica vermelha, ajudam na redução da porosidade do material. Dessa forma, o produto tende a possuir melhores propriedades tecnológicas, principalmente, a resistência.

Carneiro *et al.* (2019) avaliou a utilização de resíduos de gnaiss na produção de telhas cerâmicas. Os resultados mostraram que a adição de até 40% de resíduos de gnaiss melhorou a resistência mecânica e reduziu a absorção de água das telhas. Além disso, a utilização dos resíduos proporcionou uma redução significativa no consumo de energia e emissões de gases de efeito estufa durante a produção das telhas. Trabalhos mais atuais também mostram a possibilidade de utilização do resíduo de rochas ornamentais em artefatos de cerâmica vermelha. Aguiar e Gadioli (2020) realizaram testes laboratoriais incorporando resíduos de rochas ornamentais em massas cerâmicas nas proporções de 20% e 40%, queimados nas temperaturas de 850°C e 950°C. O resultado mostrou um aumento da resistência quando incorporado 20% de resíduo. Também apresentou uma diminuição da absorção de água conforme a incorporação do resíduo. Os corpos de provas queimados a 950°C enquadram-se nos índices da norma usada para fabricação de telha de cerâmica vermelha. Os mesmos autores realizaram um trabalho em 2021 que estudou a incorporação dos resíduos de rochas ornamentais na fabricação de telhas no estado do Espírito Santo (AGUIAR; GADIOLI, 2021). Foram incorporados 10% e 20% de resíduos na fabricação. As telhas se enquadraram nos limites de resistência mecânica.

2.6 Viabilidade e custos logísticos com transporte

A logística de transporte é uma parte crítica da cadeia de suprimentos e representa uma grande proporção dos custos totais da empresa (Govindan *et al.*, 2020). De acordo com a Associação Brasileira de Logística (ASLOG), os custos de transporte logísticos no Brasil representam cerca de 60% dos custos no produto final (ASLOG, 2019). Portanto, é essencial que se realize uma análise técnica e sistemática para minimizar os custos operacionais de transporte nas indústrias. Nesse sentido, um bom planejamento, que envolva uma visão sistêmica, é fundamental para organizar um sistema de transporte eficiente.

No caso específico dos resíduos de rochas ornamentais, o transporte pode representar um custo adicional significativo para a indústria. Isso porque, além do custo do transporte em si, há também os custos envolvidos na deposição adequada dos resíduos. De acordo com Almeida e Souza (2016), a destinação final desses resíduos é uma questão crítica e onerosa, pois exige a adoção de medidas de controle ambiental e o uso de tecnologias específicas. Esses custos adicionais podem se refletir no preço final do produto, tornando-o menos competitivo no mercado.

Portanto, é importante realizar uma análise de viabilidade econômica do transporte dos resíduos de rochas ornamentais, a fim de identificar formas de reduzir os custos envolvidos no processo e tornar o produto final mais competitivo. Além disso, é fundamental buscar alternativas de utilização dos resíduos na indústria de cerâmica vermelha, de modo a reduzir a quantidade de resíduos gerados e minimizar os custos de sua deposição.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Coleta de dados geográficos e confecção de mapa

A princípio, foi realizada uma coleta de dados para obter informações de localização geográfica das indústrias de cerâmica vermelha presentes no sul do estado do Espírito Santo. O trabalho iniciou-se em contato direto com o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA e algumas prefeituras do estado. Foram também coletadas informações de algumas empresas de beneficiamento de rochas ornamentais e aterros de resíduos. Essas informações foram obtidas por meio da busca na internet e no site do Sindicato das Indústrias de Rochas Ornamentais – Sindirochas. Com os dados, foi possível quantificar e elaborar um mapa mostrando a proximidade entre as indústrias de cerâmica vermelha, empresas de beneficiamento de rochas ornamentais e aterros de resíduos presentes no sul do Espírito Santo.

Vale ressaltar que não foram coletados os dados de localização de todas as empresas de beneficiamento de rochas ornamentais no sul do estado, apenas de algumas.

3.2 Coleta de dados sobre custos

Foram coletados dados de custos da deposição dos resíduos nos aterros. Os valores foram informados por 3 aterros presentes na região sul do Espírito Santo. Também foram coletadas informações dos custos de transporte dos resíduos. Com os dados foi calculado a média de custo.

3.3 Histograma de variação da quilometragem

Foi criado, um histograma exibindo as distâncias em quilômetros das empresas de beneficiamento de rochas até os aterros de resíduos mais próximos e até as indústrias de cerâmica vermelha. Com isso, foi realizado um comparativo percentual para identificar a quantidade de empresas de beneficiamento de rochas que estão mais próximas das indústrias de cerâmica vermelha.

3.4 Análise de viabilidade econômica do transporte

Foi realizado um cálculo comparativo para avaliar a viabilidade econômica do transporte para indústria cerâmica ou aterros de resíduos de rochas ornamentais. As equações levam em consideração as seguintes variáveis: custo do frete, valor de deposição dos resíduos, distância em quilômetro (km) da empresa de beneficiamento de rochas até o aterro e, também, até a cerâmica vermelha e a quantidade em toneladas que o caminhão pode carregar.

Com isso, foram realizadas as seguintes operações de cálculos: primeiro é feita a multiplicação do valor do custo da quilometragem do frete (reais por km), pela quantidade de km percorridos. O cálculo é realizado para o percurso da empresa de beneficiamento de rochas até o aterro e dela também até a indústria de cerâmica vermelha. Em seguida, é multiplicado o valor de custo de deposição da tonelada em reais, pela quantidade total de resíduo transportado no caminhão, isso também em toneladas. Por último é somado o custo do transporte até o aterro com o custo da deposição. Portanto, obtemos duas variáveis de custos. A primeira é o custo para levar o resíduo até a indústria de cerâmica vermelha e a segunda é a soma do custo do transporte mais a deposição dos resíduos em aterro.

Com o resultado das equações, foi possível ter a informação da viabilidade econômica do transporte para direcionar o resíduo ao aterro ou para seu uso na indústria de cerâmica vermelha. Caso o valor do custo de transporte até a cerâmica seja inferior ao custo do transporte mais a deposição em aterro, torna-se mais viável direcionar o resíduo para indústria cerâmica. Caso contrário, o custo para transporte mais a deposição em aterro for menor que o custo do transporte até a cerâmica, é inviável direcionar para cerâmica e mais viável depositar em aterro. Com essa lógica de cálculo, analisamos as empresas de beneficiamento de rochas da região sul do Espírito Santo e a viabilidade de uso do resíduo nas indústrias cerâmicas. Vale ressaltar que essa análise de cálculo é econômica, por isso não se levou em conta as questões ambientais para cálculo de viabilidade.

Para facilitar os cálculos, utilizou-se uma tabela do Excel para inserir, de forma automática, as informações de distâncias, custos de transporte e deposição e a quantidade de resíduo

transportado. Ela informa de forma direta se a empresa possui viabilidade ou não para direcionar o resíduo para cerâmica vermelha.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados foram coletados de 45 empresas de beneficiamento de rochas ornamentais presentes no sul do estado do Espírito Santo, 16 indústrias de cerâmica vermelha e 24 aterros de resíduos de rochas. O município de Cachoeiro de Itapemirim apresentou a maior quantidade de indústrias de rochas, são 34, também a maior quantidade de aterros, 12 no total. A maior concentração de indústrias de cerâmica vermelha fica no município de Itapemirim, totalizando 9. Este município faz divisa com o município de Cachoeiro de Itapemirim, o qual possui 6 indústrias de cerâmica vermelha. A Figura 1 apresenta o mapa com as informações das localizações das empresas beneficiadoras de rochas, aterro e indústrias de cerâmica vermelha.

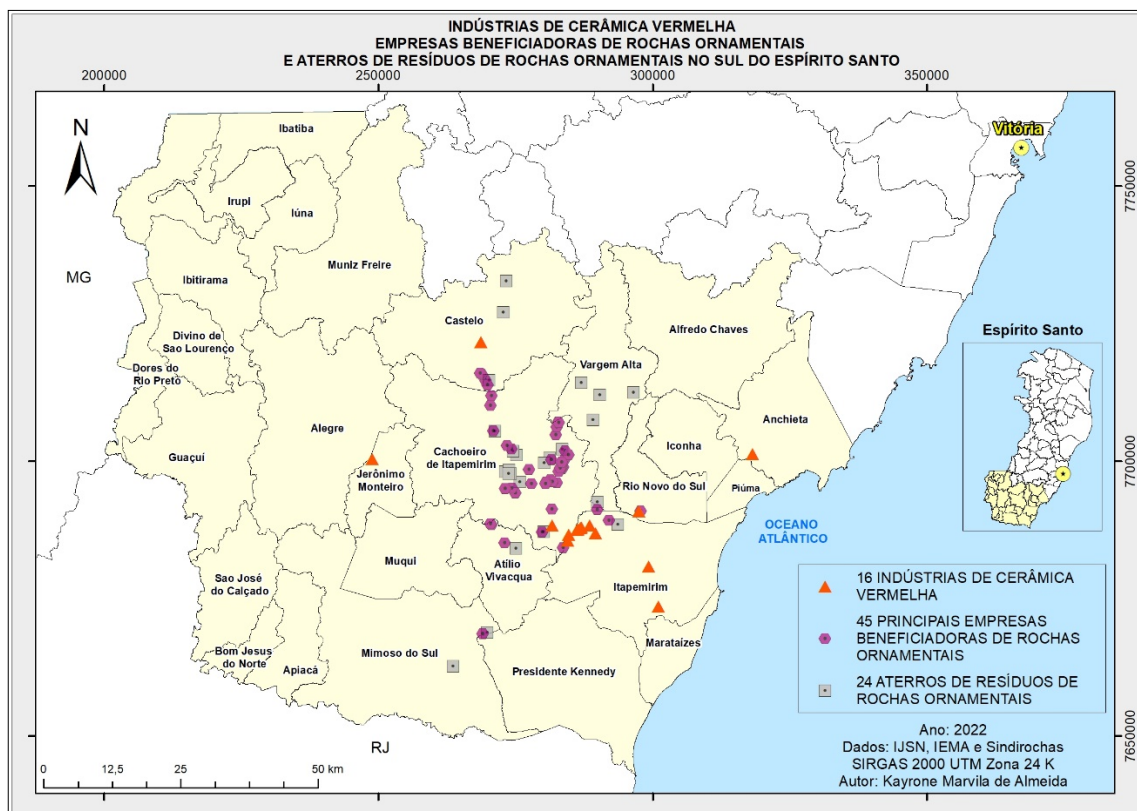


Figura 1: Mapa com as informações de localização das empresas de beneficiamento de rochas ornamentais, aterros de resíduos e indústrias de cerâmica vermelha

Foram nomeados como A1, A2 e A3, os aterros que cederam as informações dos custos de deposição da tonelada dos resíduos de rochas ornamentais. A média dos valores foi de R\$ 9,33 por tonelada depositada. Portanto, foi utilizado este valor como base de cálculo no estudo. Os valores, juntamente com a média, estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Valores de custo cobrados pelos aterros para a deposição de cada tonelada de resíduo

Empresa	Custo da tonelada depositada
A1	R\$ 7,76
A2	R\$ 9,93
A3	R\$ 10,30
Média	R\$ 9,33

Foram nomeados como T1, T2 e T3, as empresas que informaram o custo do transporte do resíduo, referente a cada quilômetro percorrido. Os seus respectivos valores, junto com a média, estão contidos na Tabela 2.

Tabela 2: Valores de custo de transporte do resíduo

Empresa	Valor de custo do km percorrido por caminhão
T1	R\$ 11,66
T2	R\$ 13,33
T3	R\$ 18,33
Média	R\$ 14,44

O valor médio de custo do transporte do resíduo foi de R\$ 14,44 por km percorrido.

Foi estipulado um dado fixo de 20 toneladas de resíduo por viagem para os cálculos de custos. Este valor é referente a capacidade de transporte de um caminhão basculante com porte médio.

4.1 Análise econômica de viabilidade

Com os dados, foi possível obter dois valores de custos: o do transporte do resíduo e o da deposição do resíduo. Com isso podemos analisar a viabilidade, em questão de custo, para direcionar o resíduo ao aterro ou à empresa de cerâmica vermelha.

Obteve-se a média de R\$ 9,33 por tonelada depositada, R\$ 14,44 por km percorrido e capacidade de 20 toneladas para cada viagem. Supondo que uma empresa de beneficiamento de rochas deposite seu resíduo em um aterro a 10 km de distância, e uma empresa de cerâmica vermelha, também a 10 km de distância, queira receber este resíduo para uso nos artefatos, é possível ter então os seguintes cálculos de custo.

- Custo para descartar o resíduo no aterro:

$$\begin{aligned} \text{Custo aterro} &= (\text{R\$ } 14,44 \times 10 \text{ km}) + (\text{R\$ } 9,33 \times 20 \text{ t}) \\ &= \text{R\$ } 331,00 \end{aligned}$$

- Custo para enviar o resíduo para a cerâmica:

$$\begin{aligned}\text{Custo cerâmica} &= (\text{R\$ } 14,44 \times 10 \text{ km}) \\ &= \text{R\$ } 144,40\end{aligned}$$

Neste exemplo pode-se observar que a deposição no aterro possui o maior custo com o resíduo. Isso devido o valor a mais pago pela deposição. A utilização do resíduo pela indústria cerâmica, neste caso, seria mais viável.

Observando os cálculos, o custo para o aterro e para a cerâmica possui uma diferença de R\$ 186,60. Esse valor pode ser convertido para quilômetros a serem percorridos. Com isso, seria viável levar este resíduo para uma cerâmica ainda com uma maior distância. Com a diferença dos custos entre aterro e a cerâmica, dividido pelo custo do quilômetro do transporte, (R\$ 186,60/R\$ 14,44), é possível obter o valor de quilômetros a mais que poderiam ser percorridos, neste caso 12,9 km. Com isso, pode-se afirmar que com estas condições propostas e os dados coletados, é viável levar o resíduo para a indústria cerâmica, mesmo ela estando 12,9 km a mais de distância da indústria de rochas ornamentais do que da indústria ao aterro. No exemplo que foi sugerido, a indústria cerâmica poderia estar até a 22,9 km de distância da empresa de beneficiamento de rochas, pois mesmo assim seria mais viável depositar nela.

Com a análise dos dados, podemos observar que para ser viável, a diferença em quilometragem do trajeto até a cerâmica e até o aterro deve ser menor ou igual a 12,9 km, (km cerâmica - km aterro \leq 12,9 km).

Empresas que tem esse valor ainda menor, conseguem uma redução maior nos seus custos com deposição de resíduos. Com isso, foi possível então analisar as empresas da região sul do Espírito Santo que seriam mais viáveis direcionar seus resíduos às indústrias cerâmicas do que os aterros. A Figura 2 mostra o histograma com a quilometragem da empresa de rochas até a cerâmica, o aterro e a diferença entre as duas. Como citado anteriormente, a diferença menor ou igual 12,9 km, indica a viabilidade do transporte para cerâmica vermelha.

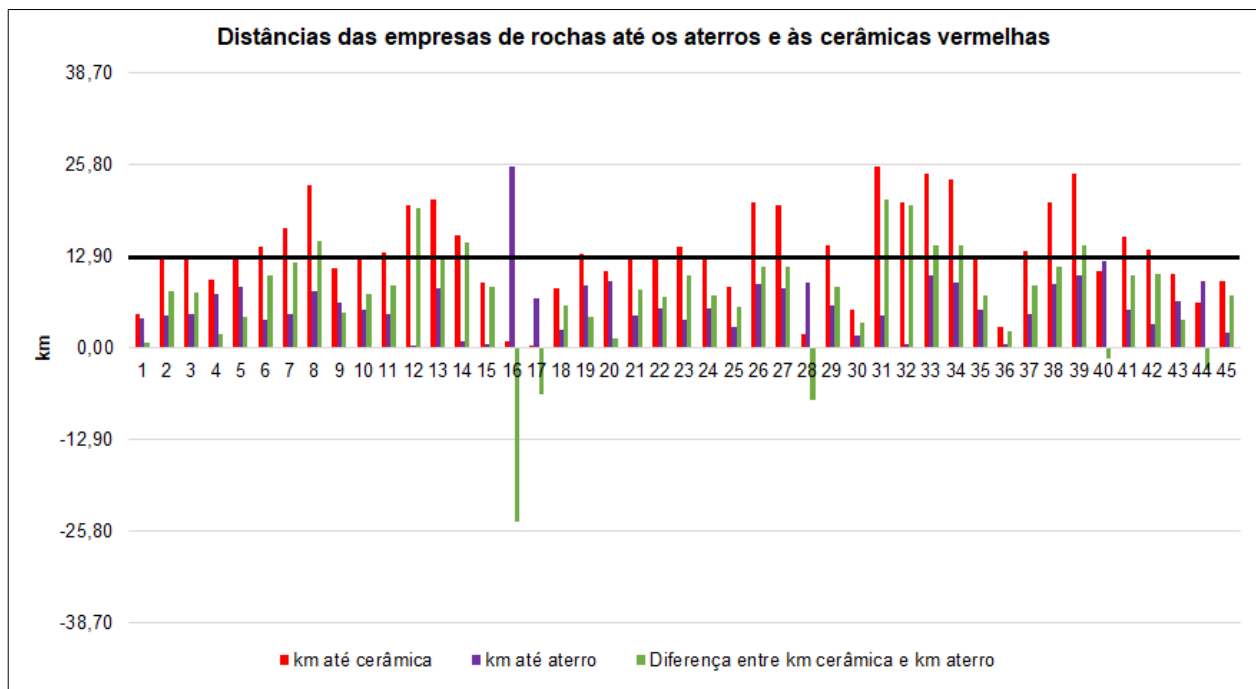


Figura 2: Histograma com as distâncias das empresas

Observando o histograma, é possível ver que das 45 empresas de beneficiamento de rochas que foram pontuadas, 37 possuem maior viabilidade econômica, caso direcionem seus resíduos para as indústrias de cerâmica vermelha. Isso pelo fato de serem mais perto ou por não precisarem pagar o valor de deposição cobrado nos aterros. Portanto, para aproximadamente 87% das empresas de beneficiamento de rochas ornamentais do sul do Espírito Santo, é mais viável, economicamente, direcionar seu resíduo para as cerâmicas.

A destinação dos resíduos dessas empresas para a indústria de cerâmica vermelha, contribuiria de forma significativa na redução do impacto ambiental causado com a deposição dos resíduos em aterros.

5 CONCLUSÕES

O custo médio para depositar o resíduo em aterros é de R\$ 9,33 por tonelada e o seu custo de transporte por km percorrido é de R\$ 14,44. Os resultados mostram que das 45 empresas de beneficiamento de rochas do sul do Espírito Santo avaliadas, 37 delas, cerca de 87%, possuem maior viabilidade econômica, caso direcionem seus resíduos para as indústrias de cerâmica vermelha. Isso devido à proximidade das empresas de rochas com as cerâmicas, diminuindo então o valor do frete, e também por não precisarem pagar a taxa de deposição que é cobrada nos aterros de resíduos. Além disso, a comprovação da viabilidade econômica do transporte, ajuda a diminuir o impacto ambiental causado pela deposição dos resíduos nos aterros.

A utilização do resíduo na indústria de cerâmica vermelha, torna-se então uma possibilidade além das questões ambientais e tecnológicas, sendo também uma alternativa para diminuir os custos com a deposição dos resíduos.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPES pelo apoio financeiro (processo 84323264), ao CETEM, o IFES e a todos os parceiros que colaboraram com este estudo.

7 REFERÊNCIAS

Aguiar, M. C. (2012). Utilização de Resíduo de Serragem de Rocha Ornamental com Tecnologia de Fio Diamantado em Cerâmica Vermelha. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

Aguiar, M. C., & Gadioli, M. C. B. (2020). Utilização de resíduo de rocha ornamental para fabricação de cerâmica vermelha no Estado do Espírito Santo. In Anais da 9ª Jornada do Programa de Capacitação Interna do CETEM. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI.

Aguiar, M. C., & Gadioli, M. C. B. (2021). Cerâmica vermelha fabricada com resíduo de rochas ornamentais: Teste industrial. In Anais da 9ª Jornada do Programa de Capacitação Interna do CETEM. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI.

Aguiar, M. C., Viana, M. A., Silva, M. A. A., & Pinto, R. B. (2022). Red Ceramics Produced with Primary Processing Fine Waste of Ornamental Stones According to the Circular Economy Model. *Sustainability*, 14(19), 12887.

Almeida, S. V. G., Fernando, E. M. P., de Sousa, I. G. M., Izidro, W. P., & de Araújo, M. D. F. (2022). Percepção socioambiental de resíduos sólidos domésticos em comunidades do Sertão Paraibano. *HOLOS*, v 7 (38).

Aslog - Associação Brasileira de Logística. (2021). O que é logística? Recuperado em 27 de abril de 2023, de <http://www.aslog.org.br/o-que-e-logistica/>

Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais - ABIROCHAS. (2022). Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2021. Informe 01/2022. Brasília/DF.

Associação Nacional da Indústria Cerâmica-ANICER. (2023). Dados do Setor - 2020. Recuperado em 19 de março de 2023, de <http://www.anicer.com.br>

Brasil. (2010). Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Planalto, Casa Civil, DOU 3 ago. 2010.

Carneiro, I., Santos, F., Rocha, F., Neves, J., & Labrincha, J. A. (2019). Use of gneiss waste as a partial substitute for clay in ceramic roof tile manufacture. *Construction and Building Materials*, 196, 156-162.

Calmon, J. L., Tristão, F. A., Lordêllo, F. S. S., Silva, S. A. C., & Mattos, F. V. (1997). Reciclagem do resíduo de corte de granito para produção de argamassas. I Encontro Nacional Sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. Canela: ANTAC.

Campos, A. R., Mansur, M. B., & Vidal, F. W. H. (2014). Resíduos: Tratamento e Aplicações Industriais. In F.W.H. Vidal et al. (Eds.), Tecnologia de Rochas Ornamentais: Pesquisa, Lavra e Beneficiamento (pp. 435-462). Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral.

(2022). Incorporation of ornamental stone waste in the manufacturing of red ceramics. *Materials*, 15(16), 5635.

Govindan, K., Mina, H., Esmaeili, A., Gholami-Zanjani, S. M., & Kumar, A. (2020). A review of Industry 4.0-based industrial applications: Towards supply chain sustainability. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 86, 102418.

Macedo, R. S., Caldeira, I. R. F., Oliveira, A. F. C., & Morelli, M. R. (2008). Estudo de Argilas em Cerâmica Vermelha/Cerâmica, 54, 411- 417.

Pontes, O. M., & Figueiredo, F. F. (2023). Conferências Internacionais Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável: Outro Mundo é Possível? *HOLOS*, v 1 (39).

Sant'ana, M. A. K., & Gadioli, M. C. B. (2018). Estudo da viabilidade técnica da utilização de resíduos de rochas em massas cerâmicas. *Série Tecnologia Ambiental*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Centro de Tecnologia Mineral.

Silveira, L. L. L., Vidal, F. W. H., & Souza, J. C. (2014). Beneficiamento de rochas ornamentais. In F. W. H. Vidal et al. (Eds.), Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento (pp. 329-398). Rio de Janeiro: CETEM/MCTI.

COMO CITAR ESTE ARTIGO

Marvila de Almeida, K., Castoldi Borlini Gadioli, M. ., Costalonga de Aguiar, M., Roberto de Sousa Maior, G., & Wilson Hollanda Vidal, F. ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS EM CERÂMICA VERMELHA. *HOLOS*, 7(39). Recuperado de <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/15469>

ABOUT THE AUTHORS

K. M. ALMEIDA

Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Graduação em Engenharia de Minas pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes). Pesquisador no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM).

E-mail: kayronemarvila@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6140-8358>

M. C. B. GADIOLI

Doutora em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UNF), mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade de São Paulo (USP) e Graduação em Engenharia Química pela Faculdade de Engenharia Química de Lorena (FAENQUIL). Pesquisadora Titular do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM).



E-mail: monicaborlini28@hotmail.com
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9401-1226>

M. C. AGUIAR

Doutora em Engenharia e Ciência dos Materiais e Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) e Graduação em Química pelo Centro Universitário São Camilo. Pesquisadora PCI do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM).

E-mail: maricostalunga2@gmail.com
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-1309-6481>

G. R. S. MAIOR

Doutorando em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Mestre em Engenharia Mineral e Graduação em Engenharia de Minas pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPB). Professor do curso de Engenharia de Minas no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes).

E-mail: gleicon.maior@ifes.edu.br
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2562-7171>

F. W. H. VIDAL

Doutor e Mestre em Engenharia Mineral pela Universidade de São Paulo (USP), Graduação em Engenharia de Minas pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Pesquisador aposentado do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM).

E-mail: fwhollanda@gmail.com
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-8368-3982>

Editora Responsável: Francinaide de Lima Silva Nascimento



Submetido 09/05/2023

Aceito 01/12/2023

Publicado 27/12/2023