

ESTUDO DA VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA NA INDÚSTRIA DE CUTELARIA

FEASIBILITY STUDY OF THE APPLICATION OF CLEANER PRODUCTION IN THE CUTLERY INDUSTRY

Débora Machado de Souza^a, Fernanda Cardoso Pereira^a, Feliciane Andrade Brehm^a, William Todendi Dutra^a, Carlos Alberto Mendes Moraes^a

^aUniversidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)

debosouza@edu.unisinos.br, fnandacpereir@gmail.com, felicianeb@unisinos.br, dutra.william1@gmail.com, cmoraes@unisinos.br

Submissão: 13 de janeiro de 2025 Aceitação: 16 de junho de 2025

Resumo

A cutelaria, técnica milenar com objetivo de transformar metais em diferentes tipos de ferramentas de corte, vem se aperfeiçoando ao longo dos anos. O que começou com a utilização de rochas e objetos maleáveis artesanais, hoje pode ser produzida em larga escala. No Brasil, os primeiros registros de centro de couteiros, de forma organizada, foi datado em 1718 no estado do Ceará. Atualmente o Brasil possui indústrias de cutelarias nas cinco regiões do país. No processo de fabricação das facas, uma das etapas é o desbaste das lâminas, normalmente usando máquinas industriais de desbaste. As máquinas de desbaste operam com rebolos cerâmicos abrasivos, os quais são inutilizados após uso, gerando passivos ambientais e econômicos para as empresas. Neste contexto, o presente trabalho busca avaliar as características dos rebolos cerâmicos descartados, gerados na cutelaria, do ponto de vista da Produção mais Limpa, visando sua reciclagem, ou melhor, o retorno de um material, rico em alumínio, para a cadeia de produção pelo fechamento de seu ciclo (nível 3 de Produção mais Limpa). As amostras estudadas foram doadas por uma cutelaria da cidade de Canoas, no estado do Rio Grande do Sul. A metodologia de trabalho foi dividida em quatro etapas. Nas etapas 1 e 2 foram realizados levantamentos no banco de dados do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), quanto ao número de fábricas de cutelaria e produtos refratários existentes no Brasil e no Rio Grande do Sul. Nas etapas 3 e 4 foram realizadas a avaliação dos resultados, sob o ponto de vista de Produção mais Limpa, e uma proposta de reciclagem externa. Os resultados sugerem que o rebole cerâmico pós-uso, rico em óxido de alumínio e carbureto de silício, pode ser reintegrado como matéria prima na cadeia produtiva dos cerâmicos refratários.

Palavras-chave: cutelaria; rebole cerâmico; Produção mais Limpa; modelo cíclico.

Abstract

Cutlery, an ancient technique that aims to transform metals into different types of cutting tools, has been improving over the years. What began with the use of rocks and malleable handcrafted objects, can now be produced on a large scale. In Brazil, the first records of an organized cutlery center were dated 1718 in the state of Ceará. Brazil currently has cutlery industries in the five regions of the country. In the knife manufacturing process, one of the steps is the grinding of the blades, normally using industrial grinding machines. Grinding machines operate with abrasive ceramic grinding wheels, which are rendered useless after use, generating environmental and economic liabilities for companies. In this context, this study seeks to evaluate the characteristics of discarded ceramic grinding wheels generated in cutlery, from the point of view of Cleaner Production, aiming at their recycling, or rather, the return of a material, rich in aluminum, to the production chain by closing its cycle (level 3 of Cleaner Production). The samples studied were donated by a cutlery company in the city of Canoas, in the state of Rio Grande do Sul. The work methodology was divided

into four stages. In stages 1 and 2, surveys were carried out in the database of the IBGE Automatic Recovery System (SIDRA), regarding the number of cutlery and refractory products factories in Brazil and Rio Grande do Sul. In stages 3 and 4, the results were evaluated from the point of view of Cleaner Production, and a proposal for external recycling was made. The results suggest that the post-use ceramic grinding wheel, rich in aluminum oxide and silicon carbide, can be reintegrated as raw material in the production chain of refractory ceramics.

Keywords: Cutlery; Ceramic grinding wheel; Cleaner Production; Cyclic model.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país com extensas reservas minerais e posicionamento estratégico no comércio mundial do segmento mineral. Um dos setores do segmento mineral é a indústria de transformação, na qual se enquadra a fabricação de artigos de cutelaria (Santos, 2021). Nas cutelarias são fabricados facas, canivetes entre outros. O processo de fabricação das facas dentro das cutelarias engloba várias etapas, as quais, assim como em qualquer atividade, geram impactos negativos, como os resíduos sólidos. Entre os resíduos sólidos gerados na indústria de cutelaria estão os rebolos cerâmicos abrasivos, que após sua vida útil devem ser descartados. O descarte na maioria das vezes é o aterro industrial, o que gera passivos para as empresas do setor. Os custos para envio dos resíduos sólidos para aterros variam de acordo com uma série de critérios que envolvem serviço de coleta, transporte, mão de obra, localização e distância da zona industrial e do aterro, e pré-tratamentos como trituração e redução das partículas, entre outros.

O cenário mostra uma crescente busca de tecnologias da indústria para atender as demandas da população e melhorar a qualidade de seus produtos, porém o que muitos empreendedores não compreendem é a amplitude da implementação de uma ferramenta de Gestão Ambiental, como a Produção mais Limpa, que pode melhorar processos sem grandes investimentos e reduzir custos (Stalter; Moraes, 2017).

O conceito de Produção Mais Limpa foi introduzido pela primeira vez pelo Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas - PNUMA, em 1989 (United Nations Environment Programme, 2001), com o objetivo de aplicação contínua de estratégia ambiental preventiva integrada a processos, produtos e serviços, a fim de aumentar a ecoeficiência e reduzir os riscos à saúde e ao meio ambiente (Brasil, s.d.).

De acordo com o Centro Nacional de

Tecnologias Limpas (SENAI-CNTL), as principais metas ambientais da Produção mais Limpa (P+L) estão incluídas na: eliminação ou redução dos resíduos; produção sem poluição; eficiência energética; saúde e segurança no trabalho; produtos ambientalmente adequados; e embalagens ambientalmente adequadas. Para a implementação de um programa de P+L são necessárias várias etapas, sendo uma delas o diagnóstico ambiental, no qual são identificadas as causas de geração de resíduos. Posteriormente, com base nas causas de geração de resíduos, é possível identificar as possíveis modificações e aplicação de P+L (conforme Figura 1).

A reciclagem e a reutilização evitam que os resíduos sejam descartados. Na reciclagem interna, o processo de reaproveitamento é realizado no próprio local, após ter sido submetido à transformação. Já na reciclagem externa, etapa apresentada no Nível 3 da Produção mais Limpa, o material é submetido à transformação e é, portanto, reciclado externamente ao processo inicial no qual o resíduo foi gerado (São Paulo, s.d.).

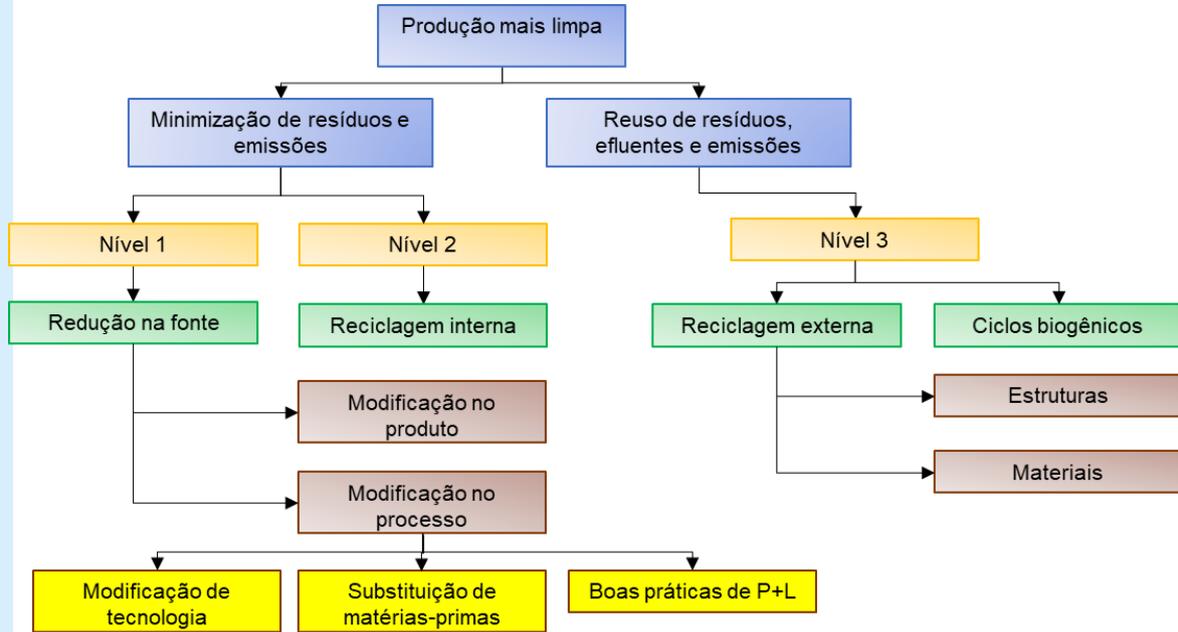
Nesse contexto, o presente trabalho busca avaliar as características dos rebolos cerâmicos descartados, gerados na cutelaria, do ponto de vista da Produção mais Limpa, visando sua reciclagem, ou melhor, o retorno, de um material rico em alumínio, para a cadeia de produção garantindo o fechamento de seu ciclo.

1.1 Processo de fabricação das facas

O processo de fabricação de facas envolve uma série de etapas, desde a compra das chapas de aço até a expedição e destino final (Figura 2). Durante a etapa de desbaste de lâmina, a máquina de desbaste, que possui um gabarito, copia o gabarito na lâmina no meio dos dois rebolos cerâmicos. Durante essa etapa, uma mangueira expõe água e líquido refrigerante em cima dos rebolos. Após o uso dos rebolos cerâmicos, os materiais são descartados sem aplicação comercial, o que acaba gerando um

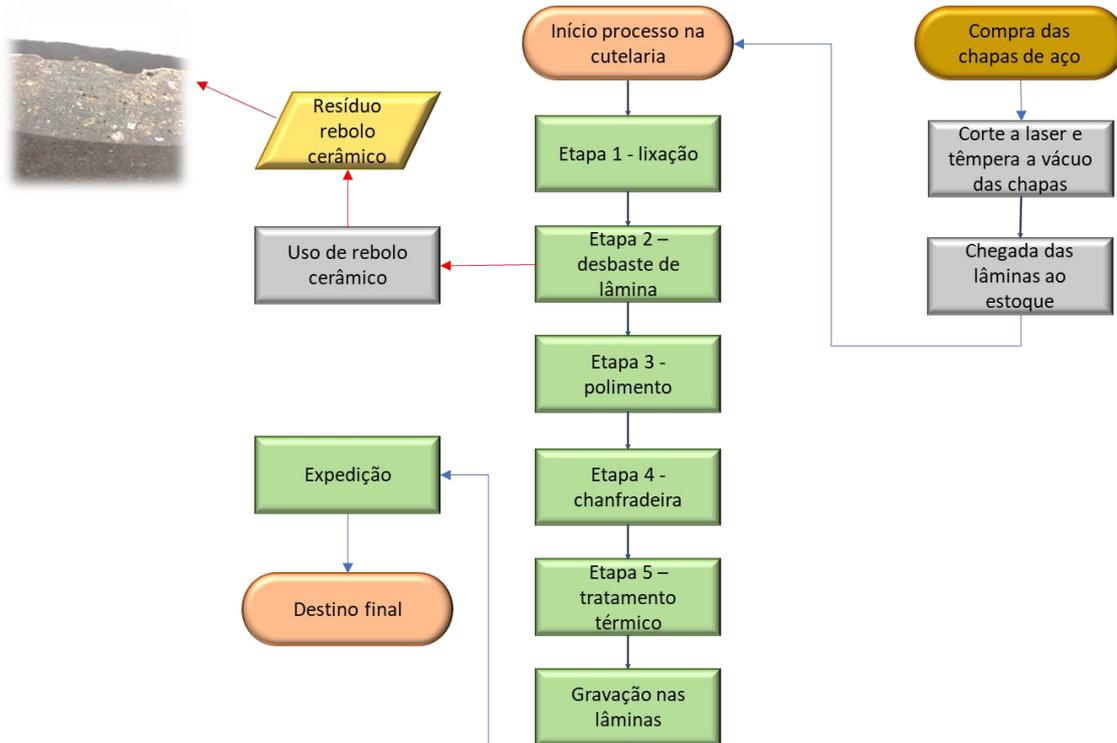
passivo para as indústrias que o utilizam e precisam dar uma destinação final correta.

Figura 1 – Fluxograma dos níveis de Produção mais Limpa



Fonte: adaptado de SENAI-CNTL (2003)

Figura 2 – Processo de fabricação de facas – geração do resíduo de descarte do rebolo cerâmico refratário pós uso



Fonte: autores (2022).

Assim como o rebolo cerâmico pós-uso, outros resíduos sólidos são gerados no processo de fabricação das facas, como o resíduo do desbaste das lâminas que provém da mesma máquina na qual são usados os rebolos cerâmicos.

1.2 Rebolo cerâmico – fabricação e características

De acordo com a empresa Forcety (2022), a produção do rebolo cerâmico começa com a mistura dos grãos abrasivos na misturadora, onde é umedecido com a resina. Após a adesão da resina aos grãos abrasivos, a mistura passa para a parte de enchimento, que fica embaixo da misturadora, onde são incluídos outros aglomerantes. Depois da massa mexida e em estado de “dureza em verde”, ou seja, a massa deve estar solta o suficiente para o operador poder nivelar e a dureza suficiente para a prensa fazer a compactação, ela é peneirada e levada para a pesagem e moldagem do molde. Com o produto moldado há o acondicionamento em *Hack*, que vai para a estufa para o processo de cura e polimerização da resina. A prensa trabalha com a pressão de 150 toneladas.

De acordo com Malkin (2008), rodas de desbaste ou rebolo, enquadram-se na categoria de ferramentas abrasivas aglomeradas, que consistem em grãos abrasivos duros mantidos em uma matriz ligante mais fraca. Podem ser produzidas por uma ampla variedade de grãos e composições de ligantes. Os rebolos mais convencionais são os que contêm abrasivo de óxido de alumínio ou carboneto de silício e que possuem ligantes vitrificados ou resinoides. Há ainda os abrasivos de nitreto de boro cúbico e os de diamante (Malkin, 2008). As principais características dos rebolos são: tipo de abrasivo (grãos); granulação; dureza da liga; estrutura (porosidade/densidade); e liga (São Paulo, 2016).

A dureza está relacionada com a força com que a liga retém os grãos abrasivos. Uma dureza correta para a operação faz com que o rebolo solte os grãos à medida que perde sua característica de corte e desbaste. A resistência ao arrancamento das partículas abrasivas depende do ligante (São Paulo, 2016).

As propriedades dos rebolos variam de acordo com o tipo de material empregado. Aqueles produzidos por óxido de alumínio possuem estrutura cristalina hexagonal, dureza de 20,6 GPa e ponto de fusão de 2040 °C. Os rebolos produzidos por carboneto de silício também

possuem estrutura cristalina hexagonal, dureza de 23,5 GPa e ponto de fusão de aproximadamente 2830 °C. Os rebolos produzidos por nitreto de boro cúbico apresentam estrutura cristalina cúbica e dureza de 46,1 GPa. Os rebolos produzidos por diamante também possuem estrutura cristalina cúbica e dureza de 78,5 GPa (Malkin, 2008).

O rebolo cerâmico, utilizado como objeto de estudo no presente artigo, produzido a partir de óxido de alumínio, após uso, possui teor de umidade de 1,15%; massa específica de 2,42 gcm⁻³; e área superficial de 2,21 m² g⁻¹. A distribuição dos poros consiste em 1% de microporos (0 nm a 2 nm), 36% de mesoporos (2 nm a 50 nm) e 63% de macroporos (>50 nm) tendo como diâmetro médio das partículas 7,90 μm (Pereira; Souza; Moraes, 2022).

A fabricação de ferramentas abrasivas, como rebolos cerâmicos, deve atender a ABNT NBR 15230 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008), que descreve uso, manuseio, segurança, classificação e padronização de ferramentas abrasivas.

Algumas aplicações dos elementos químicos inorgânicos presentes nos rebolos cerâmicos pós uso foram levantadas pelos autores Pereira, Souza e Moraes (2022). Entre elas podem ser elencados: o uso de escória de alumínio no concreto expandido como agente expansor, que visa diminuir o custo total da obra; e como forma de adubo, pois a aplicação do silício auxilia na fortificação da planta, na perda de água por transpiração e aumenta a resistência das plantas a pragas e outros tipos de doença. O silício também pode ser aplicado na indústria eletrônica, indústria metalúrgica, na fabricação de materiais refratários, tijolos e concretos, esmaltes, vernizes especiais, e como *filler* e carga nas misturas para dois tipos de resinas, uma epoxídica e a outra poliuretana à base de óleo de mamona.

2 METODOLOGIA

2.1 Materiais

As amostras de rebolos cerâmicos tipo copo estudadas, foram doadas por uma cutelaria da cidade de Canoas, no estado do Rio Grande do Sul (Fotografia 1).

2.2 Métodos

Além das amostras de rebolo pós-uso, a cutelaria forneceu a informação de que são

necessárias 30 unidades de rebolos cerâmicos para a produção de 2.000 unidades de facas por mês. A informação foi usada nos memoriais de cálculo. A metodologia utilizada no presente trabalho foi dividida em 4 etapas:

Etapa 1: levantamento, via base de dados Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 25.41-1 – Fabricação de artigos de cutelaria);

Etapa 2: levantamento, via base de dados SIDRA, CNAE 23.41-9 – Fabricação de produtos cerâmicos refratários;

Etapa 3: avaliação, dos resultados obtidos nas análises de caracterização anteriormente pelos autores (Pereira; Souza; Moraes, 2022) na ótica da Produção mais Limpa, nível 3 – reciclagem externa. Foram utilizados resultados das análises de: Fluorescência de Raios X (FRX) semiquantitativa, para identificação da

composição química inorgânica; Microscopia de Varredura (MEV) com mapeamento por Raios X; e análise física (moagem) de redução de partículas.

Etapa 4: proposta de reciclagem externa - substituição do modelo linear para o modelo cíclico do material cerâmico abrasivo. A etapa 4 foi subdividida em 3 etapas:

Etapa 4A: levantamento dos aspectos e impactos ambientais gerados no modelo linear do material cerâmico, desde a extração até o descarte em aterro industrial (critérios adotados na matriz de Aspectos e Impactos no Quadro 1);

Etapa 4B: abrangência Brasil – Nessa subetapa foram realizados cálculos de geração aproximada de resíduos (Modelo Quadro 1), por meio dos dados obtidos nas etapas 2 e 3. A produção de facas nessa etapa foi considerada o total das três classes de atividade: facas de mesas + facas de uso profissional + facas de lâminas móveis.

Fotografia 1 – Amostra de rebolo cerâmico tipo Copo pós em indústria cutelaria, utilizado para análises de caracterização



Fonte: registrada pelos autores (2022).

Quadro 1 - Critérios adotados na matriz de Aspectos e Impactos

Situação	
Normal (N)	Emergencial (E)
Situações esperadas e relacionadas com a rotina operacional.	Eventos inesperados que podem ocasionar danos graves ao meio ambiente e/ou à saúde do trabalhador

Quadro 2 - Critérios adotados na matriz de Aspectos e Impactos (Continuação)

Frequência ou Probabilidade	
Extremamente Remota (1)	Geração do aspecto ocorre < 20% em relação à atividade
Remota (2)	Geração do aspecto ocorre 20% ≤ ocorrência < 40% em relação à atividade
Possível (3)	Geração do aspecto ocorre 40% ≤ ocorrência < 60% em relação à atividade
Frequente (4)	Geração do aspecto ocorre 60% ≤ ocorrência < 80% em relação à atividade
Muito Frequente (5)	Geração do aspecto ocorre ≥ 80% em relação à atividade
Severidade	
Isenta (0)	Inexistência de impacto ambiental.
Leve (1)	Impacto restrito ou local de ocorrência.
Moderada (2)	Impacto restrito a empresa, reversíveis com ações mitigadoras
Séria (3)	Impacto ambiental restrito ou não a empresa, reversíveis com ações mitigadoras ou corretivas
Grave (4)	Impacto ambiental restrito ou não a empresa, reversíveis com ações corretivas.
Catastrófica (5)	Impacto ambiental restrito ou não a empresa, com consequências irreversíveis mesmo com ações corretivas
Grau de Risco	
Isento de grau de risco (IS)	0
Grau de Risco Menor (ME)	1 a 4
Grau de Risco Tolerável (TO)	5 a 9
Grau de Risco Moderado (MO)	10 a 12
Grau de Risco Sério (SE)	13 a 16
Grau de Risco Intolerável (IN)	20 a 25
Impactos significativos	
Aqueles que no final da matriz sejam identificados como moderado, sério e intolerável.	

Fonte: Souza *et al.* (2015).

Etapa 4C: abrangência Rio Grande do Sul - Nessa subetapa foram realizados cálculos de geração aproximada de resíduos, por meio de dados obtidos nas etapas 1 e 2 (Modelo Quadro 2). A produção de facas considerada nessa etapa, foi a fornecida pela cutelaria do Rio Grande do Sul, doadora das amostras de rebolo cerâmico, ou seja, 2.000 unidades de facas por mês. Não foram usados os mesmos dados de referência da etapa 4B pois a base de dados SIDRA não fornece a produção anual por estados, sendo somente por país.

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

Os principais resultados e discussões identificados nas quatro etapas de trabalho encontram-se nos itens 3.1, 3.2 e 3.3.

3.1 Etapa 1 – Fabricação de artigos de cutelaria – abrangência Brasil e Rio Grande do Sul

O registro de empresas de fabricação de artigos de cutelaria no Brasil, com CNAE 25.41-1 no ano de 2021, na base de dados da SIDRA, foram de 246, distribuídas nos estados apresentados na Figura 3. Segundo dados da SIDRA (2021), no ano de 2021 foram produzidos no Brasil:

- 254.621 unidades de facas de mesa (Classe da atividade industrial e produtos nº 2541.2070) no Brasil;
- 134.969 unidades de facas de uso profissional (Classe da atividade industrial e produtos nº 2543.2080);
- 715 facas de lâminas móveis, como canivetes e navalhas (Classe da atividade industrial e produtos nº 2541.2060).

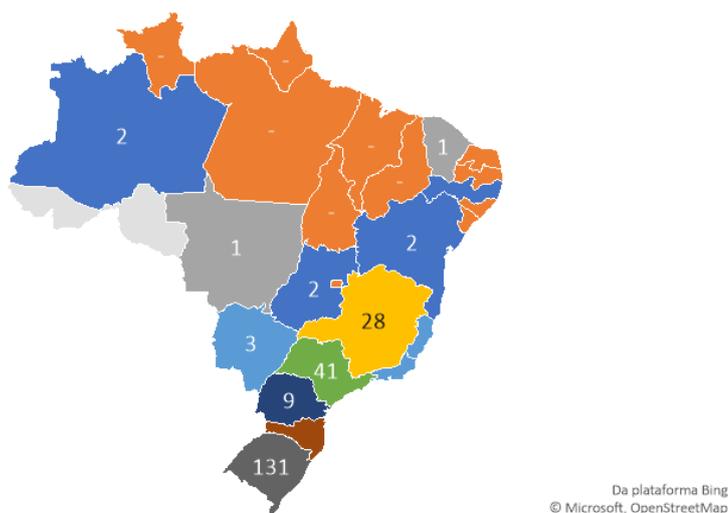
O total de facas produzidas em 2021 no Brasil, considerando as três classes de atividade industrial, foi de 390.305 unidades.

Quadro 2 – Modelo de quadro Memória de cálculo usado nas etapas 4 sub etapas 4B e 4C

Informativo para cálculo	Unidade
Custo do rebolo cerâmico tipo copo 185x127x126 mm*	Unidade
Descarte aproximado de rebolo cerâmico	Unidade / mês
Descarte aproximado de rebolo cerâmico	Unidade / ano
Cutelarias registradas no Brasil em 2021	Unidade
Descarte aproximado de rebolo cerâmico ano de 2021	Unidade / ano
Massa média rebolo cerâmico pós uso	kg
Massa média rebolo cerâmico descartado em 2021	kg
Teor aproximado de óxido de alumínio em cada rebolo	%
Massa aproximada de óxido de alumínio descartado em 2021	kg
Massa aproximada de extração do óxido de alumínio da bauxita para a produção de rebolo em 2021	kg
Rejeito aproximada de extração do óxido de alumínio da bauxita para a produção de rebolo em 2022	kg
Teor aproximado de silício em cada rebolo	%
Massa aproximada de silício descartado em 2022	kg

Fonte: autores (2022).

Figura 3 – Distribuição das cutelarias no Brasil no ano de 2021 - com dados extraídos do IBGE – SIDRA (2021)



Fonte: SIDRA (2021)

O estado do Rio Grande do Sul, concentra a maior quantidade de cutelarias registradas, 131. A distribuição das cutelarias por municípios encontra-se no Quadro 3. O município de Caxias do Sul, possui 13,74% das empresas de cutelaria do Rio Grande do Sul.

Conforme apresentado no Quadro 1, o Rio Grande do Sul possui 46 municípios com sede de pelo menos uma cutelaria, 9,3% do total de municípios do estado, que é 497 (Rio Grande do Sul, 2017).

3.1 Etapa 2 - Fabricação de produtos

cerâmicos refratários – abrangência Brasil e Rio Grande do Sul

O registro de empresas de fabricação de produtos refratários no Brasil, com CNAE 23.41-9 no ano de 2021, foi de 370, distribuídas nos estados apresentados na Figura 4. Segundo dados da SIDRA (2022) no ano de 2022 foram produzidos no Brasil:

- 41.204 toneladas de tijolos, ladrilhos e peças cerâmicas refratárias de farinhas siliciosas fósseis (kieselguhr, tripolita, diatomita) ou de terras siliciosas (Classe da atividade industrial e produto n°

2341.2025);

- 6.486.752 toneladas de tijolos, ladrilhos e peças cerâmicas refratárias, para a construção de fornos, fornalhas etc., para equipamentos industriais, exceto de farinhas siliciosas fósseis e de terras siliciosas (Classe da atividade

industrial e produto n° 2341.2040);

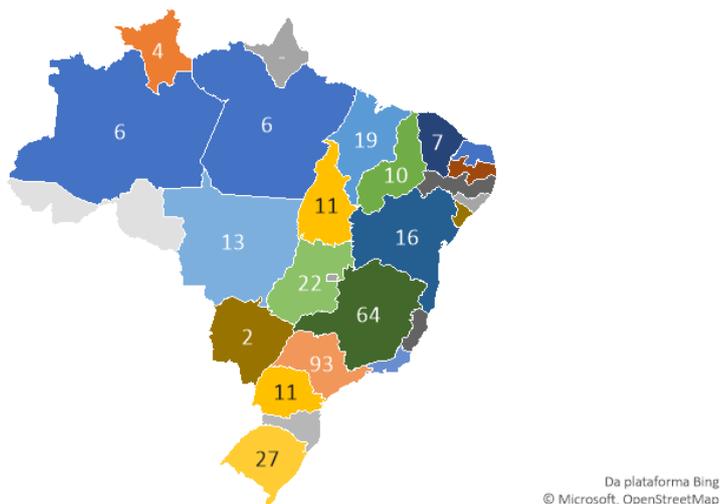
- 1.185.918 toneladas de mós, rebolos e artefatos semelhantes, para moer, desfibrar, triturar, amolar, retificar ou cortar (Classe da atividade industrial e produto n° 2399.2190).

Quadro 3 – Distribuição das cutelarias nos municípios do Rio Grande do Sul Brasil no ano de 2021

Município	N° de cutelarias	Município	N° de cutelarias
Caxias do Sul	18	Arroio do Meio	3
Fagundes Varela	9	Erechim	3
Garibaldi	8	Gravataí	3
Santa Maria	7	Sapiranga	3
Araricá	6	Barra do Ribeiro	2
Canoas	6	Gramado	2
São Leopoldo	6	Ijuí	2
Novo Hamburgo	5	Picada Café	2
Passo Fundo	5	Porto Alegre	2
Campo Bom	4	Rosário do Sul	2
Carlos Barbosa	4	Tapes	2
Igrejinha	4	Municípios com 1	23

Fonte: IBGE – SIDRA (2021).

Figura 4 – Distribuição das fábricas de produtos cerâmicos no Brasil no ano de 2021 - com dados extraídos do IBGE – SIDRA (2021)



Fonte: IBGE – SIDRA (2021).

O Estado do Rio Grande do Sul (RS) está em terceiro lugar no número de fábricas de produtos cerâmicos no Brasil com 7,3%, atrás do estado de

São Paulo que concentra 25,1% e Minas Gerais que concentra 17,3%. A distribuição das fábricas de produtos cerâmicos no RS por municípios

encontra-se no Quadro 4.

Conforme apresentado no Quadro 3, o Rio Grande do Sul possui 20 municípios com sede de

pelos menos uma fábrica de produtos cerâmicos, que corresponde a 4,02% do total de municípios do estado, que é 497 (Rio Grande do Sul, 2017).

Quadro 4 – Distribuição das fábricas de produtos cerâmicos nos municípios do RS no ano de 2021

Município	Nº de fábricas	Município	Nº de fábricas
Cristal	5	Lagoa Vermelha	1
Campo Bom	3	Maquiné	1
Porto Alegre	2	Novo Hamburgo	1
Alvorada	1	Osório	1
Canguçu	1	Pântano Grande	1
Caxias do Sul	1	Passo Fundo	1
Cerro Grande do Sul	1	Rosário do Sul	1
Constantina	1	Segredo	1
Feliz	1	Vacaria	1
Inhacorá	1	Vila Flores	1

Fonte: IBGE – SIDRA (2021).

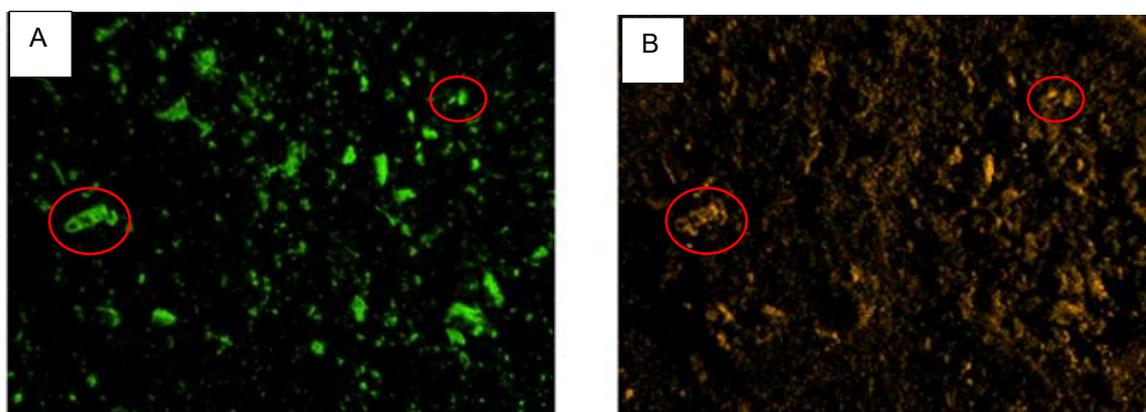
3.3 Etapa 3: Avaliação, dos resultados obtidos nas análises de caracterização anteriormente pelos autores, na ótica da Produção mais Limpa, nível 3 – reciclagem externa

O material descartado do rebolo possui em sua composição, majoritariamente, o alumínio (Al) 47%, seguido do silício (Si) 31,7%, ferro (Fe) 8,8%, potássio (K) 4,5%, titânio (Ti) 3,3%, magnésio (Mg) 1,5%, cálcio (Ca) 1,3%, entre outros elementos minoritários (Pereira; Souza; Moraes, 2022). O elemento alumínio, presente no rebolo cerâmico, provavelmente encontra-se na forma de Al_2O_3 , conforme mostra a Figura 5 da imagem de Microscopia de Varredura – MEV com mapeamento por raios X característicos (imagem

A – presença de Al, e imagem B – presença de oxigênio). Na imagem A percebe-se que o Al se sobrepõe às partículas contendo O na imagem B (áreas circuladas em vermelho), mostrando a tendência de este elemento estar associado ao O formando a alumina.

A presença dos elementos químicos inorgânicos majoritários Al, Si e Fe na amostra de rebolo cerâmico do tipo copo pós-uso, justifica-se pela mistura de rochas gibsita ($Al(OH)_3$), diásporo ($AlO(OH)$) e bohemita ($AlO(OH)$), que formam as bauxitas. A composição química da bauxita varia de 50% a 70% de Al_2O_3 , de 0% a 25% de Fe_2O_3 ; de 12% a 40% de H_2O , e de 2% a 30% de SiO_2 (Sampaio; Andrade; Dutra, 2005).

Figura 5 – Mapeamento dos elementos químicos presentes em uma fração da amostra de rebolo cerâmico através de análise de MEV



Fonte: autores (2022).

3.4 Etapa 4A: Levantamentos dos aspectos e impactos gerados no modelo linear do rebolo cerâmico – da extração à destinação em aterro industrial

Os aspectos e impactos gerados durante a extração dos minerais para produção do rebolo encontram-se no Quadro 5. Ao todo foram identificados 7 aspectos e 45 impactos. Todos os 45 impactos foram considerados significativos (impactos moderados, sérios e intoleráveis) não

sendo identificado nenhum impacto isento de risco ou de risco menor.

Os aspectos e impactos gerados durante a etapa de transformação da matéria-prima em rebolo cerâmico encontram-se no Quadro 6. Ao todo foram identificados 8 aspectos e 36 impactos. Todos os 36 impactos foram considerados significativos (impactos moderados, sérios e intoleráveis) não sendo identificado nenhum impacto isento de risco ou de risco menor.

Quadro 5 – Matriz de Aspectos e Impactos ambientais – modelo linear do rebolo cerâmico – etapa de extração dos minerais

Aspecto	Impacto Ambiental	Tipo	Freq.	Sev.	Grau de Risco
Emissões atmosféricas	Poluição do ar	N	5	3	15 SE
	Alteração da qualidade de vida dos moradores do entorno	N	3	3	9 TO
	Contribuição para o aumento do efeito estufa	N	3	4	12 MO
	Dispersão de gases e poeiras	N	4	3	12 MO
	Bioacumulação de poluentes	N	3	4	12 MO
	Alteração da qualidade do ar	N	4	4	16 SE
Geração de ruídos e vibrações	Alteração da qualidade de vida da comunidade ao entorno	N	3	3	9 TO
	Poluição sonora	N	5	3	15 SE
	Interferência nos instintos de caça e reprodução dos animais ao entorno, devido ao estresse	N	3	4	12 MO
	Prejuízos e danos a cultura vegetal	N	3	4	12 MO
	Desequilíbrio do ecossistema devido ao afastamento dos animais	N	3	4	12 MO
Degradação do solo	Limitação das opções de uso do solo	N	4	3	12 MO
	Desequilíbrio do ecossistema do entorno	N	3	4	12 MO
	Modificação do relevo e topografia do solo	N	4	4	16 SE
	Alteração do regime de escoamento das águas superficiais	N	3	4	12 MO
	Eliminação da camada fértil do solo	N	5	4	20 IN
	Supressão de áreas de cultura e pastagem	N	3	4	12 MO
	Desequilíbrio do ecossistema devido ao afastamento dos animais	N	3	5	15 SE
	Interferência nos instintos de caça e reprodução dos animais ao entorno	N	3	5	15 SE
	Diminuição da disponibilidade de nutrientes do solo	N	4	4	16 SE
	Interferência sobre processos bióticos nos corpos de água (ciclagem de nutrientes)	N	4	4	16 SE
	Impacto visual	N	5	3	15 SE
	Supressão de vegetação e habitats	N	4	4	16 SE
	Perda de fragmentos de vegetação nativa	N	5	4	20 IN
Movimentação de máquinas pesadas e caminhões de transporte	Compactação do solo	N	3	3	9 TO
	Poluição sonora	N	4	3	12 MO
	Emissões de gases e materiais particulados	N	4	3	12 MO
	Desequilíbrio do ecossistema devido ao afastamento dos animais	N	3	5	15 SE
	Interferência nos instintos de caça e reprodução dos animais ao entorno	N	3	5	15 SE

	Alteração da qualidade de vida da comunidade ao entorno	N	3	3	9	TO
	Poluição visual	N	3	3	9	TO
Geração de resíduo Classe II - inerte	Contribuição para a diminuição da vida útil dos aterros	N	5	4	20	IN
	Poluição visual	N	4	3	12	MO
	Alteração da qualidade da água/solo	N	3	4	12	MO
	Geração de passivo ambiental	N	5	3	15	SE
	Desequilíbrio do ecossistema devido ao afastamento dos animais	N	3	5	15	SE
Poluição visual	Redução da qualidade de vida da comunidade ao entorno, devido a desarmonia estética do ambiente	N	3	4	12	MO
	Impactos a saúde da comunidade ao entorno, como estresse e depressão	N	3	3	9	TO
	Impacto na economia local - dificuldade de visualização dos negócios, depreciação de terrenos ao entorno	N	3	2	6	TO
	Alteração da refletância solar nas residências e terrenos	N	3	2	6	TO

Fonte: autores (2022).

Quadro 5 – Matriz de Aspectos e Impactos ambientais – modelo linear do rebolo cerâmico – etapa de extração dos minerais (continuação)

Aspecto	Impacto Ambiental	Tipo	Freq.	Sev.	Grau de Risco	
Recuperação da área degradada	Uso de recursos naturais não renováveis - fertilizantes, adubos	N	5	5	25	IN
	Geração de passivo ambiental	N	5	2	10	MO
	Alteração do ecossistema natural	N	5	5	25	IN
	Perda de fragmentos de vegetação nativa	N	5	4	20	IN
	Alteração da rota de migração das aves	N	4	5	20	IN

Fonte: autores (2022).

Quadro 6 – Matriz de Aspectos e Impactos ambientais – modelo linear do rebolo cerâmico – etapa de transformação da matéria-prima em rebolo

Aspecto	Impacto Ambiental	Tipo	Freq.	Sev.	Grau de Risco	
Emissões atmosféricas - mistura dos grãos e materiais	Poluição do ar	N	3	3	9	TO
	Alteração da qualidade de vida dos moradores das proximidades	N	3	3	9	TO
	Contribuição para o aumento do efeito estufa	N	3	3	9	TO
	Dispersão de gases e poeiras	N	4	4	16	SE
	Bioacumulação de poluentes	N	3	3	9	TO
	Danos à saúde dos funcionários	N	3	4	12	MO
	Alteração da qualidade do ar	N	3	4	12	MO
Geração de ruídos das máquinas	Alteração da qualidade de vida dos funcionários	N	3	3	9	TO
	Danos à saúde dos funcionários	N	3	4	12	MO
Consumo de energia elétrica	Comprometimento dos recursos naturais	N	4	4	16	SE
	Contribuição para os impactos causados pelas hidrelétricas	N	4	4	16	SE
	Diminuição da demanda energética em áreas urbanas	N	4	4	16	SE
	Impactos sobre plantas, animais e ecossistemas	N	3	4	12	MO
	Emissões de gases do efeito estufa - queima de combustíveis fósseis para geração de energia	N	4	4	16	SE

	Poluição atmosférica durante a queima de combustíveis fósseis geração de energia	N	4	4	16	SE
Consumo de resinas e materiais ligantes	Emissão de compostos orgânicos	N	3	3	9	TO
	Uso dos Recursos Naturais Não Renováveis (URNNR)	N	4	4	16	SE
	Danos à saúde dos funcionários	N	3	4	12	MO
	Geração de resíduos classe I - perigosos	N	4	4	16	SE
Movimentação de máquinas pesadas e caminhões de transporte	Compactação do solo	N	3	3	9	TO
	Poluição sonora	N	3	3	9	TO
	Emissões de gases e materiais particulados	N	3	3	9	TO
	Desequilíbrio do ecossistema devido ao afastamento dos animais	N	3	5	15	SE
	Interferência nos instintos de caça e reprodução dos animais ao entorno	N	3	5	15	SE
	Alteração da qualidade de vida da comunidade ao entorno	N	3	3	9	TO
	Poluição visual	N	3	3	9	TO

Fonte: autores (2022).

Quadro 6 – Matriz de Aspectos e Impactos ambientais – modelo linear do reboło cerâmico – etapa de transformação da matéria-prima em reboło (Continuação)

Aspecto	Impacto Ambiental	Tipo	Freq.	Sev.	Grau de Risco	
Geração de resíduo Classe II - inerte (ABNT NBR 10.004:2004)	Contribuição para a diminuição da vida útil dos aterros	N	4	4	16	SE
	Poluição visual	N	4	3	12	MO
	Alteração da qualidade da água/solo	N	4	4	16	SE
	Geração de passivo ambiental	N	4	3	12	MO
	Desequilíbrio do ecossistema devido ao afastamento dos animais	N	4	5	20	IN
Geração de resíduo Classe I – perigoso (ABNT NBR 10.004:2004) : sobras de resinas e materiais ligantes	Contribuição para a diminuição da vida útil dos aterros	N	4	4	16	SE
	Poluição visual	N	4	3	12	MO
	Alteração da qualidade da água/solo	N	4	4	16	SE
	Geração de passivo ambiental	N	4	3	12	MO
	Desequilíbrio do ecossistema devido ao afastamento dos animais	N	4	5	20	IN

Fonte: autores (2022).

Os aspectos e impactos gerados durante a etapa de uso do reboło cerâmico na indústria de cutelaria, processo de desbaste de lâmina encontram-se no Quadro 7. Ao todo foram identificados 4 aspectos e 19 impactos. Todos os 19 impactos foram considerados significativos (impactos moderados, sérios e intoleráveis) não sendo identificado nenhum impacto isento de risco ou de risco menor.

Os aspectos e impactos gerados durante a destinação final do reboło cerâmico pós-uso nos aterros industriais encontram-se no Quadro 8. Ao todo foram identificados 6 aspectos e 42 impactos.

Todos os 42 impactos foram considerados significativos (impactos moderados, sérios e intoleráveis) não sendo identificado nenhum impacto isento de risco ou de risco menor.

A Figura 6 apresenta a síntese dos impactos obtidos nas etapas de extração dos minerais, transformação/beneficiamento, uso industrial nas cutelarias e destinação final em aterro industrial. Os resultados obtidos na *Matriz de Aspectos e Impactos ambientais – modelo linear do reboło cerâmico – destinação final em aterro industrial* servem como parâmetros para identificação das etapas do processo com maiores impactos

negativos significantes. Como pode ser visualizado na Figura 6, as etapas que apresentam maiores impactos negativos significantes são a de extração da matéria-prima, transformação ou beneficiamento e a destinação final dos resíduos. Os resultados reforçam a ideia de implementação de um modelo circular, o qual apresentaria redução de impactos negativos nas 3 etapas identificadas.

3.4 Etapa 4B: Proposta de reciclagem externa - substituição do modelo linear para o modelo cíclico do material cerâmico abrasivo – abrangência Brasil

Os resultados encontrados na análise química elementar inorgânica do material cerâmico e as imagens de MEV, sugerem que o material, após uso, pode voltar para a indústria cerâmica como revestimento. O revestimento cerâmico com alumina oferece proteção contra os desgastes dos materiais (Hongbo, 2021) aumentando as propriedades mecânicas (Campos, 2016), bem como características de isolante térmico (Souza *et al.* 2014), o que reforça a ideia de substituição do modelo de processo atual linear (Figura 7) para o modelo cíclico, proposto por meio da Produção mais Limpa.

Quadro 7 – Matriz de Aspectos e Impactos ambientais – modelo linear do rebolo cerâmico – etapa de uso industrial nas cutelarias

Aspecto	Impacto Ambiental	Tipo	Freq.	Sev.	Grau de Risco	
Consumo de água - máquina de desbaste de lâmina	Comprometimento dos recursos naturais	N	4	4	16	SE
	Geração de efluente líquido	N	4	3	12	MO
	Redução da disponibilidade hídrica	N	3	4	12	MO
Geração de ruídos	Alteração da qualidade de vida da comunidade ao entorno	N	4	3	12	MO
	Poluição sonora	N	3	3	9	TO
	Interferência nos instintos de caça e reprodução dos animais ao entorno, devido ao estresse	N	3	4	12	MO
	Prejuízos e danos a cultura vegetal	N	3	4	12	MO
	Desequilíbrio do ecossistema devido ao afastamento dos animais	N	3	4	12	MO
Consumo de energia elétrica	Comprometimento dos recursos naturais	N	4	4	16	SE
	Contribuição para os impactos causados pelas hidrelétricas	N	4	4	16	SE
	Diminuição da demanda energética em áreas urbanas	N	4	4	16	SE
	Impactos sobre plantas, animais e ecossistemas	N	4	4	16	SE
	Emissões de gases do efeito estufa - queima de combustíveis fósseis para geração de energia	N	4	4	16	SE
	Poluição atmosférica durante a queima de combustíveis fósseis para geração de energia	N	4	4	16	SE
Geração de resíduo Classe II - inerte (ABNT NBR 10.004:2004)	Contribuição para a diminuição da vida útil dos aterros	N	4	4	16	SE
	Poluição visual	N	3	3	9	TO
	Alteração da qualidade da água/solo	N	3	4	12	MO
	Geração de passivo ambiental	N	4	3	12	MO
	Desequilíbrio do ecossistema devido ao afastamento dos animais	N	3	5	15	SE

Fonte: autores (2022).

Quadro 8 – Matriz de Aspectos e Impactos ambientais – modelo linear do rebolo cerâmico – destinação final em aterro industrial

Aspecto	Impacto Ambiental	Tipo	Freq.	Sev.	Grau de Risco	
Desperdícios de elementos químicos inorgânicos - minerais	Redução das reservas naturais de minerais como bauxita	N	4	4	16	SE
	Uso demasiado de recursos naturais não renováveis	N	4	4	16	SE
	Contribuição para a degradação dos solos - durante a mineração	N	4	4	16	SE
	Contribuição para a poluição sonora - durante a mineração	N	4	3	12	MO
	Contribuição para a poluição visual - durante a mineração	N	4	3	12	MO
	Contribuição para a alteração da qualidade da água/solo - durante a mineração	N	4	4	16	SE
Emissões atmosféricas	Alteração da qualidade de vida dos moradores das proximidades - durante a mineração	N	3	3	9	TO
	Poluição do ar	N	4	3	12	MO
	Alteração da qualidade de vida dos moradores das proximidades	N	3	3	9	TO
	Contribuição para o aumento do efeito estufa	N	3	3	9	TO
	Dispersão de gases e poeiras	N	3	4	12	MO
	Bioacumulação de poluentes	N	3	3	9	TO
Geração de ruídos e vibrações	Alteração da qualidade do ar	N	4	4	16	SE
	Alteração da qualidade de vida da comunidade ao entorno	N	3	3	9	TO
	Poluição sonora	N	3	3	9	TO
	Interferência nos instintos de caça e reprodução dos animais ao entorno, devido ao estresse	N	3	4	12	MO
	Prejuízos e danos a cultura vegetal	N	3	4	12	MO
Degradação do solo	Desequilíbrio do ecossistema devido ao afastamento dos animais	N	3	4	12	MO
	Limitação das opções de uso do solo	N	4	3	12	MO
	Desequilíbrio do ecossistema do entorno	N	3	4	12	MO
	Modificação do relevo e topografia do solo	N	4	4	16	SE
	Alteração do regime de escoamento das águas superficiais	N	4	4	16	SE
	Eliminação da camada da fértil do solo	N	4	4	16	SE
	Supressão de áreas de cultura e pastagem	N	3	4	12	MO
	Desequilíbrio do ecossistema devido ao afastamento dos animais	N	3	5	15	SE
	Interferência nos instintos de caça e reprodução dos animais ao entorno	N	3	5	15	SE
	Diminuição da disponibilidade de nutrientes do solo	N	4	4	16	SE
	Interferência sobre processos bióticos nos corpos de água (ciclagem de nutrientes)	N	3	4	12	MO
	Impacto visual	N	4	3	12	MO
	Supressão de vegetação e habitats	N	3	4	12	MO
Movimentação de máquinas pesadas e caminhões de transporte	Perda de fragmentos de vegetação nativa	N	4	4	16	SE
	Compactação do solo	N	3	3	9	TO
	Poluição sonora	N	4	3	12	MO
	Emissões de gases e materiais particulados	N	4	3	12	MO
	Desequilíbrio do ecossistema devido ao afastamento dos animais	N	3	5	15	SE
	Interferência nos instintos de caça e reprodução dos animais ao entorno	N	3	5	15	SE
	Alteração da qualidade de vida da comunidade ao entorno	N	3	3	9	TO
Poluição visual	N	3	3	9	TO	

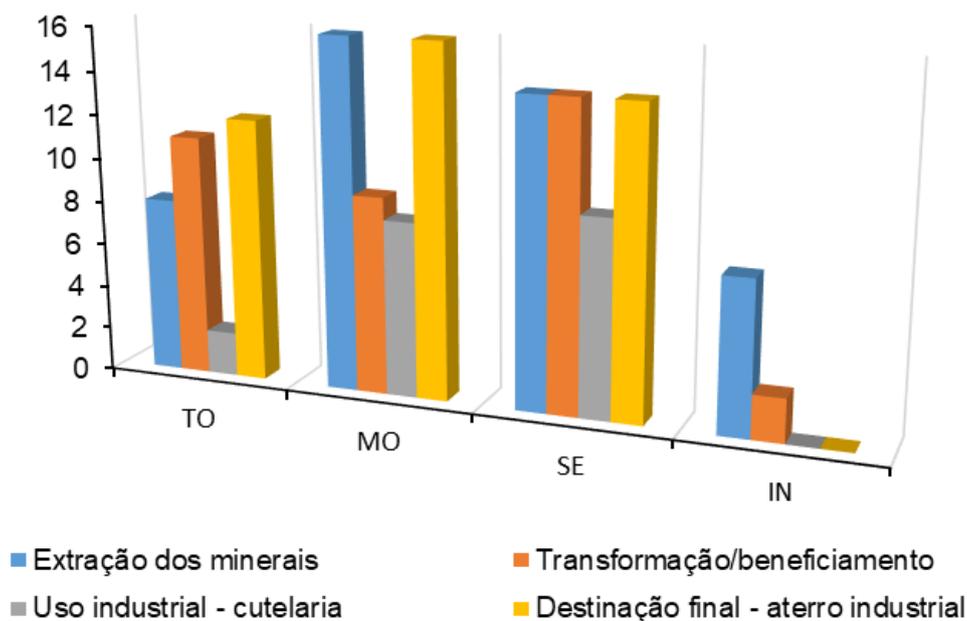
Fonte: autores (2022).

Quadro 8 – Matriz de Aspectos e Impactos ambientais – modelo linear do rebolo cerâmico – destinação final em aterro industrial (Continuação)

Aspecto	Impacto Ambiental	Tipo	Freq.	Sev.	Grau de Risco	
Poluição visual	Redução da qualidade de vida da comunidade ao entorno, devido a desarmonia estética do ambiente	N	3	4	12	MO
	Impactos a saúde da comunidade ao entorno, como estresse e depressão	N	3	3	9	TO
	Impacto na economia local - dificuldade de visualização dos negócios, depreciação de terrenos ao entorno	N	3	2	6	TO
	Alteração da refletância solar nas residências e terrenos próximos	N	3	2	6	TO

Fonte: autores (2022).

Figura 6 – Síntese dos impactos identificados como Grau de Risco Tolerável (TO), Grau de Risco Moderado (MO), Grau de Risco Sério (SE), e Grau de Risco Intolerável (IN), nas etapas de extração dos minerais, transformação/beneficiamento, uso industrial nas cutelarias e destinação final em aterro industrial para o processo linear



Fonte: autores (2022).

O modelo atual do rebolo cerâmico, utilizado nas cutelarias, é linear e baseia-se na extração dos minerais, na transformação do material e posterior descarte (Figura 8). Este modelo ignora o fato de que os recursos minerais naturais utilizados não são renováveis, e todas as causas e efeitos que podem gerar instabilidade nos ecossistemas do planeta (Centro Brasileiro de Relações Internacionais, 2020).

O retorno ao processo industrial, do rebolo cerâmico pós-uso, pode ser avaliado na própria indústria de rebolos, como matéria-prima, fonte de

óxido de alumínio ou dióxido de silício, ou na indústria cerâmica industrial.

Na área industrial a cerâmica tem ampla aplicação, desde blocos, lajes, telhas, pisos, até os refratários e isolantes (Motta; Zanardo; Cabral Junior, 2001). Guaitolini e Cosmo (2022) avaliaram a viabilidade da utilização de resíduo sólido de retífica, incluindo resíduos de rebolo cerâmico, na produção de argamassas. Os testes de substituição foram em escalas de até 20%. As argamassas produzidas e testadas apresentaram resultados positivos, mostrando-se ser uma

alternativa viável para consumo. Os autores sugerem que os resultados positivos estejam ligados principalmente ao tamanho reduzido das partículas, pois quanto menor a granulometria do pó na amostra, maior é a sua resistência.

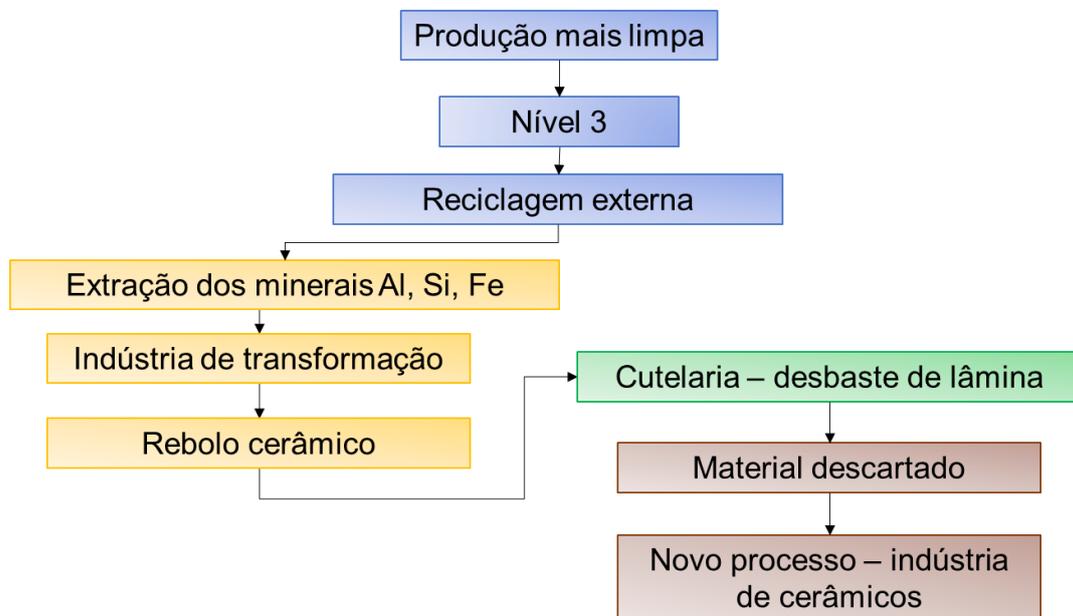
A NBR 15230, de 2008, item 13, das regras gerais de uso, descreve que ferramentas abrasivas usadas devem ser descartadas no ambiente de acordo com as legislações e regulamentos locais e nacionais (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008). A norma ainda descreve que “as ferramentas abrasivas, quando descartadas, devem ser quebradas para evitar que sejam reutilizadas em caso de serem recolhidas do descarte para este fim”. A norma determina, nesse caso, que o reboło pós-descarte não seja recolhido e reutilizado na mesma função, mas não restringe ao aproveitamento como matéria-prima na mesma linha industrial, como a de materiais cerâmicos refratários. Desta forma, um modelo cíclico proposto (Figura 9) representa uma alternativa viável para evitar que haja um descarte final do reboło cerâmico pós-uso, como material inerte destinado em aterros industriais. Neste modelo, os

materiais após o uso são retomados ao processo industrial por meio de reciclagem externa (Nível 3 de Produção mais Limpa) inseridos novamente na produção cerâmica, como materiais isolantes ou de reforço mecânico.

Os autores Hsieh, Cheng e Wu (2020) estudaram o uso do agregado miúdo, preparado por meio de britagem e posterior passagem por peneiras, do reboło de moagem residual para produção de tijolos geopoliméricos, sem a necessidade de cocção. O processo estudado pelos autores contribui para a eliminação da etapa de queima em fornos, evita as emissões de CO₂ e reduz o uso de argila virgem.

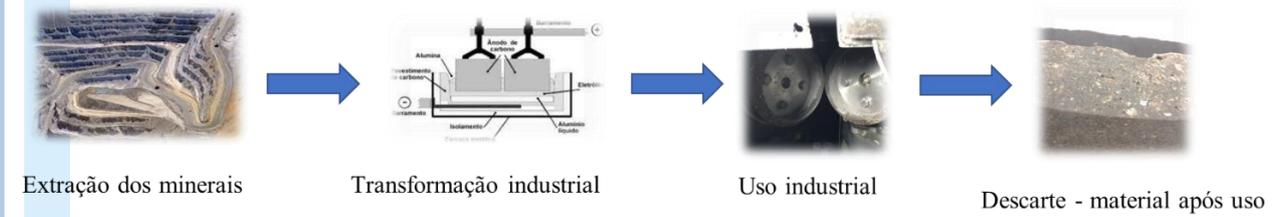
Como apresentado por Pereira, Souza e Moraes (2022), o reboło pós-consumo possui facilidade de quebra e redução das partículas em moinho de bolas, como pode ser visto na Figura 10. Os autores obtiveram partículas passantes na peneira de 53 micrômetros, após a quebra de forma manual (Figura 10 A), colocação em moinho de bolos e posterior agitador com auxílio de jogos de peneiras.

Figura 7 – Nível 3 – Produção mais Limpa proposta no trabalho



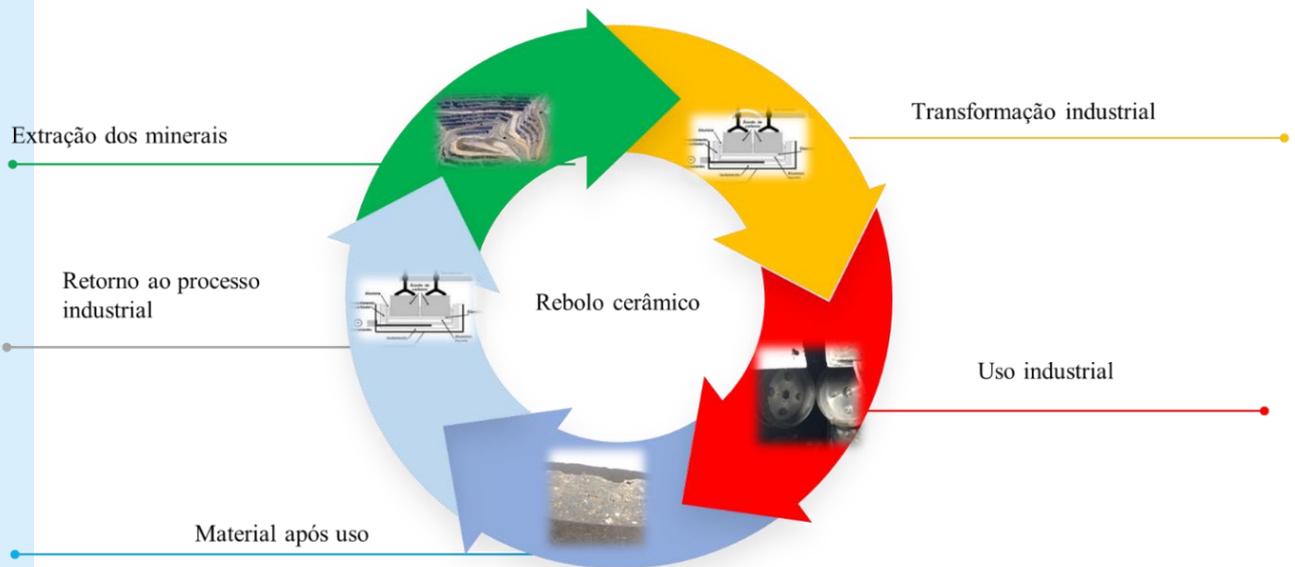
Fonte: autores (2022).

Figura 8 – Atual modelo utilizado na indústria de cutelaria



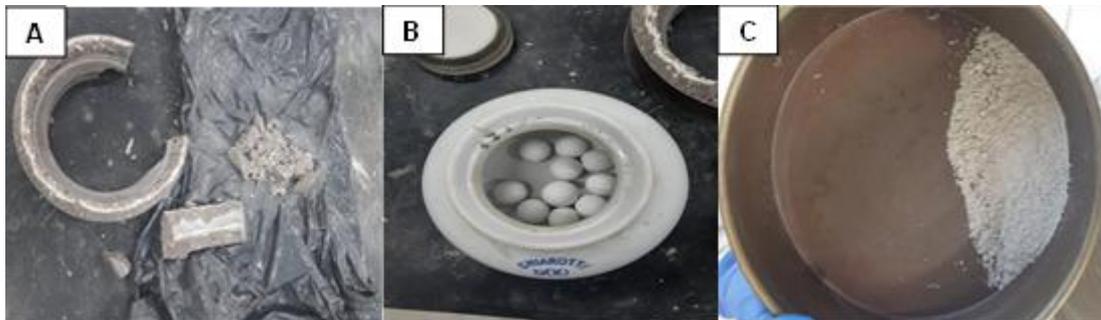
Fonte: autores (2022).

Figura 9 – Modelo proposto baseado na Produção mais Limpa



Fonte: autores (2022).

Figura 10 – Exemplo de redução das partículas do rebolo pós consumo



Fonte: Pereira, Souza e Moraes (2022).

O descarte atual de rebolos cerâmicos em uma cutelaria é de aproximadamente 15 pares ao mês, considerando-se uma produção média de 2.000 facas ao mês. A quantidade de material para retorno em processo industrial não é

expressiva, porém vale ressaltar que os rebolos cerâmicos também são utilizados em outros processos industriais (Quadro 9). O volume de descarte de rebolos cerâmicos em 2021 (Quadro 9) revela não só um alto custo financeiro, mas

também um relevante impacto ambiental, especialmente pelo volume de óxido de alumínio (aproximadamente 6.114,78 kg) e sílica descartados (aproximadamente 4.124,2 kg). Esse cenário abre espaço para ações estratégicas que combinem sustentabilidade e redução de custos, por meio de: redução do consumo, melhoria de processos, e reaproveitamento ou reciclagem dos resíduos.

Além do retorno do material do rebolo cerâmico, após o uso, para a indústria cerâmica, há alternativas de inserção do material ao processo industrial, seguindo a mesma proposta de contribuir com o ciclo de vida do material. A relevância aqui está na importância de perceber que o modelo de processo linear traz mais impactos negativos do que o cíclico e não

somente em termos de impactos ambientais, mas sociais e econômicos. No modelo linear, conforme apresentado nos Quadros 5, 6, 7 e 8, de *Avaliação de Aspectos e Impactos*, há a etapa de extração dos minerais (Quadro 5), na qual foram identificados 7 aspectos e 45 impactos, em que todos os 45 impactos foram considerados significativos (impactos moderados, sérios e intoleráveis). Ainda no modelo linear, a etapa de destinação final em aterro sanitário (Quadro 8) identificou 6 aspectos e 42 impactos, em que todos os 42 impactos foram considerados significativos. Em um modelo cíclico, há a redução dos aspectos e impactos gerados na etapa de destinação final ao aterro sanitário e também a redução da etapa de extração dos minerais.

Quadro 9 - Memória de cálculo custo da geração de resíduo de rebolo cerâmico no Brasil em 2021, considerando-se uma produção anual de 390.305 unidades

Custo unitário do rebolo cerâmico tipo copo (185 mm x 127 mm x126 mm)	R\$ 75,00*
Descarte aproximado de rebolo cerâmico para a cada 2.000 facas	30
Descarte aproximado de rebolo cerâmico unidade/ ano 2021	$390.305 / 30 = 13.010,17$
Massa média rebolo cerâmico pós uso - kg	1
Massa média rebolo cerâmico descartado em 2021 - kg	$13.010,17 \times 1 = 13.010,17$
Teor aproximado de óxido de alumínio em cada rebolo - %	47
Massa aproximada de óxido de alumínio descartado em 2021 - kg	$13.010,17 \times 47 / 100 = 6.114,78$
Massa aproximada de extração do óxido de alumínio da bauxita para a produção de rebolo em 2021 - kg	$6.114,78 \times 2 = 12.229,6$
Rejeito aproximada de extração do óxido de alumínio da bauxita para a produção de rebolo em 2021 - kg	$6.114,78 \times 1 = 6.114,78$
Teor aproximado de silício em cada rebolo - %	31,7
Massa aproximada de sílico descartado em 2021 - kg	$13.010,17 \times 31,7 / 100 = 4.124,2$

*Orçamento Abrasistem (2024).

Fonte: autores (2022).

Outro fator relevante a ser considerado é que o elemento químico inorgânico majoritário, presente no rebolo cerâmico, é o alumínio que provavelmente está na forma de óxido de alumínio ou alumina (conforme MEV apresentado no Quadro 5). A obtenção do óxido de alumínio é realizada através da bauxita moída, misturada ao hidróxido de sódio e aquecida sob pressão elevada (Bogoni Alumínios, 2024). Em 2009, o Brasil possuía aproximadamente 10% das reservas mundiais de bauxita, com 3,6 bilhões de toneladas (Brasil, 2009). No ano de 2021 foram produzidos 46,3 milhões de toneladas de alumínio

no Brasil, sendo 89,4% no estado do Pará, 5,1% em Minas Gerais, 3,6% em Goiás e 1,9% em São Paulo (Pará, 2023).

Apesar da reserva de bauxita ser abundante, é importante salientar todos os impactos que a extração e transformação geram: poluição visual; redução da biodiversidade; eliminação da camada fértil do solo; compactação do terreno; alteração da infiltração de água; assoreamento de mananciais; alteração da recarga do lençol freático; contaminação de águas adjacentes por sólidos; processos erosivos; consumo de recursos naturais finitos e alteração da topografia, entre

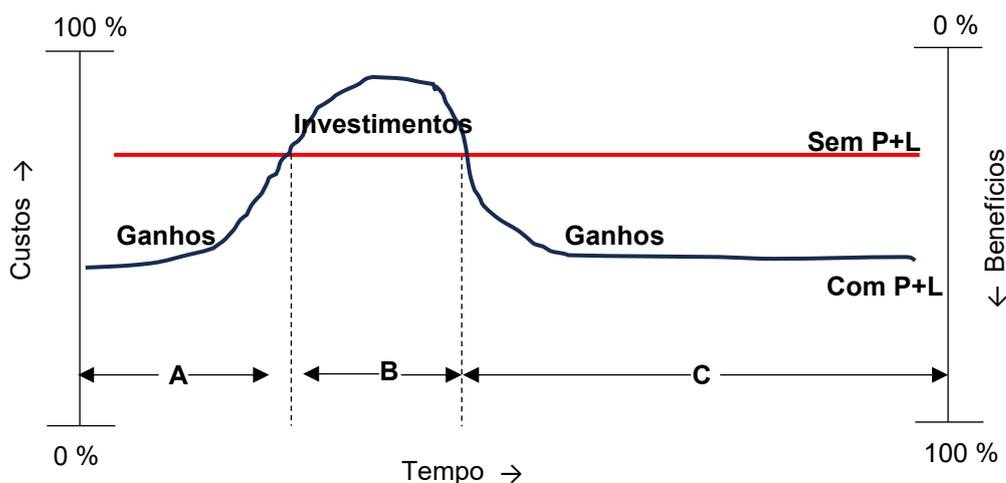
outros (Guimarães *et al.* 2012).

Para a produção de 2 toneladas de alumina, é necessária a extração de 4 toneladas de bauxita seca (United States of America, 2020), o restante é rejeito, pois tirando o óxido de alumínio, o restante da bauxita não tem valor econômico. Esse rejeito deve ser destinado a locais próprios, como barragens para armazenamento e futuro reflorestamento (Brasil Mining, 2022). Em outras palavras, para obtenção de 1 kg de óxido de alumina são necessários 2 kg de bauxita e é gerado 1 kg de rejeito. Em dados aproximados tem-se que para a produção de 13.010,17 rebolos, no ano de 2021, foi necessária a extração de 12.229,6 kg de bauxita (Quadro 9), gerando-se aproximadamente 6.114,78 kg de rejeitos. Vale a pena ressaltar que esses dados de descarte pós-consumo do rebolo cerâmico apresentados, são apenas aproximados e que o número efetivo pode ser muito maior. Outro ponto importante a ser

ressaltado é o fato de que aqui foram considerados apenas o uso e aplicação do rebolo cerâmico nas atividades de cutelaria, foco do estudo, e que a aplicação dele não se limita apenas a essa área, o que torna os números exponencialmente maiores.

Os impactos positivos da aplicação da P+L em uma indústria ou processo, vão além dos ambientais, conforme mostra o gráfico (Figura 11) de custos e benefícios com implementação de medidas de P+L, apresentado pela CTNL (2003). No gráfico, é apresentado que quando não há investimentos (sem P+L - Linha vermelha na Figura 11), não há variação dos custos totais, ao contrário de quando se implementa uma ação de P+L (linha azul na Figura 11), que ocorre uma redução dos custos totais, permitindo a recuperação do investimento inicial e posteriormente, com os ganhos com a maior eficiência, a redução permanente nos custos totais.

Figura 11 – Comparativo de Investimentos e ganhos com a P+L e sem a P+L



Fonte: adaptado de CTNL (2003).

Para realizar o aproveitamento do rebolo cerâmico pós-uso na indústria cerâmica refratária, por meio da ferramenta de gestão ambiental Produção mais Limpa, seria necessária a realização de investimentos iniciais, mas assim como apresentado na Figura 10, os benefícios seriam incorporados ao processo posteriormente. Sabe-se que além de todos os aspectos e impactos ambientais negativos, a mineração da bauxita, principal minério usado para obtenção do óxido de alumínio, requer recuperação das áreas

degradadas, que envolve alto custo financeiro. Sem mencionar as despesas de despesas de capital ou investimento de bens de capitais (CAPEX) da mineração de bauxita. De acordo com a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) o custo para o período de 2023 a 2028 foi de R\$ 15,3 bilhões, relativo à fase 1 dos projetos (InvesTalk, 2023).

3.4 Etapa 4B: Proposta de reciclagem externa - substituição do modelo linear para o modelo

cíclico do material cerâmico abrasivo – abrangência Rio Grande do Sul

Ao se analisar especificamente a proposta de reciclagem externa, substituição do modelo linear para o modelo cíclico do material cerâmico abrasivo, no Rio Grande do Sul tem-se os seguintes dados apresentados no Quadro 10. Os dados indicam um consumo e descarte significativos de rebolos cerâmicos no estado, especificamente em um setor especializado como o de cutelaria. É importante notar que esses números são estimativas médias, que podem variar em função da escala de produção de cada empresa. O alto teor de Al_2O_3 , no rebole cerâmico, sugere que seu descarte representa uma perda

significativa de um material valioso, tanto do ponto de vista econômico quanto energético, dado o custo de extração e refino do alumínio a partir da bauxita.

Em um ano, somente no estado do Rio Grande do Sul, são produzidos 47.160 kg de resíduos de rebolos cerâmicos, contendo aproximadamente 22.165 kg de óxidos de alumínio e 14.950 kg de carboneto de silício. Em dados aproximados, tem-se que para a produção de 47.160 rebolos no ano de 2021, no estado do Rio Grande do Sul, foi necessária a extração de 44.330 kg de bauxita (Quadro 3), gerando-se aproximadamente 22.165 kg de rejeitos.

Quadro 10 - Memória de cálculo custo da geração de resíduo de rebole cerâmico no Rio Grande do Sul em 2021, considerando-se uma produção mensal de 2000 facas

Descarte aproximado de rebole cerâmico – unidades/mês	30
Descarte aproximado de rebole cerâmico – unidades/ano	$30 \times 12 = 360$
Cutelarias registradas no Rio Grande do Sul em 2021	131
Descarte aproximado de rebole cerâmico ano de 2021 no estado do Rio Grande do Sul – unidades/ano	$360 \times 131 = 47.160$
Massa média rebole cerâmico pós-uso - kg	1
Massa média rebole cerâmico descartado em 2021 no estado do Rio Grande do Sul - kg	$47.160 \times 1 = 47.160$
Teor aproximado de óxido de alumínio em cada rebole - %	47
Massa aproximada de óxido de alumínio descartado em 2021 no estado do Rio Grande do Sul - kg	$47.160 \times 47 / 100 = 22.165$
Massa aproximada de extração do óxido de alumínio da bauxita para a produção de rebole em 2021 - Rio Grande do Sul - kg	$22.165 \times 2 = 44.330$
Rejeito aproximada de extração do óxido de alumínio da bauxita para a produção de rebole em 2021 – Rio Grande do Sul - kg	$22.165 \times 1 = 22.165$
Teor aproximado de silício em cada rebole - %	31,7
Massa aproximada de silício descartado em 2021 no estado do Rio Grande do Sul - kg	$47.160 \times 31,7 / 100 = 14.950$

Fonte: autores (2022).

Em contrapartida, há 27 empresas de fabricação de produtos cerâmicos diversos distribuídas no estado; provavelmente, dessas 27, há a presença de fabricantes de rebolos cerâmicos. Como dito anteriormente, as maiores reservas de bauxita encontram-se no estado do Pará e as principais mineradoras de bauxita encontram-se nos estados do Pará (aproximadamente 3.165,94 km de distância do Rio Grande do Sul, de acordo com calculador de distância) e Minas Gerais (aproximadamente 1.493,81 km, de acordo com calculador de

distância). Os resultados, mesmo que de forma sucinta e semiquantitativa, sugerem a importância do aproveitamento dos materiais existentes nos rebolos cerâmicos pós uso.

4 CONCLUSÃO

Após desenvolvidas as quatro etapas da pesquisa, os autores identificaram que a implementação da Produção mais Limpa - nível 3 - reciclagem externa, nas indústrias de cutelarias brasileiras sugere proporcionar impactos positivos

ao meio ambiente, à sociedade e à economia. Ainda são necessárias outras análises e maior aprofundamento na indústria de cerâmicos refratários em geral, para avaliação das etapas de pré-tratamento necessárias antes da utilização do material rebolo cerâmico pós-uso como matéria-prima principal ou secundária. Sabe-se que a redução das partículas não é um problema, pois resultados obtidos anteriormente mostram redução de até 53 micrômetros.

O custo de mineração, beneficiamento e produção aproximada de 41.623 kg de óxido de alumínio, assim como 28.073 kg de carbonato de silício (apresentados no Quadro 3), para abastecer as atividades de cutelarias apenas em um ano de atividade, é significativo e necessita de atenção não só do setor industrial, mas da comunidade acadêmica. Há uma forte relevância em investigar e aprimorar estudos de caracterização, avaliação e aplicação dos elementos químicos inorgânicos presentes no material rebolo cerâmico pós-uso.

Não é admissível que a indústria atual ainda continue extraindo recursos naturais não renováveis enquanto há disponibilidade desses recursos já extraídos em meio urbano. A mineração urbana de elementos químicos inorgânicos deve ser algo incorporado às grandes empresas com visão no futuro.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15230**: Ferramentas abrasivas — Uso, manuseio, segurança, classificação e padronização. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

BOGONI ALUMÍNIOS. **Como o alumínio é feito**. Disponível em: <https://oldsite.bogonialuminios.com.br/noticia/Como-o-o-aluminio-e-feito>. Acesso em: 25 nov. 2024.

BRASIL MINING. Blog. **Mineração de Bauxita no Brasil**: entenda a importância. 2022. Disponível em: <https://brazilmining.novaconf.com/pt/entenda-a-importancia-da-mineracao-de-bauxita-no-brasil/#:~:text=Brazil%20Mining%202023%20ter%C3%A1%20foco,no%20ambiente%20e%20na%20sociedade>. Acesso em: 21 dez. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. **Produto 11 Minério de alumínio [s.d]**. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/relatorios-de-apoio-ao-pnm-2030-projeto-estal-1/a-mineracao-brasileira/documentos/p11_rt22_perfil_da_mineracao_de_bauxita.pdf/view. Acesso em: 19 nov. 2024.

CALCULADOR DE DISTÂNCIA. Disponível em: <https://pt.distance.to/Rio-Grande-Do-Sul/Belo-Horizonte>. Acesso em: 20 dez. 2024.

CAMPOS, H. G. **Propriedades mecânicas de compósitos à base de alumina e zircônia com adição de céria**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/142465>.

CENTRO BRASILEIRO DE RELAÇÕES INTERNACIONAIS. **Economia Circular – Os desafios do Brasil**. Relatório Final. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: https://www.cebri.org/media/documentos/arquivos/CEBRI_Michelin6047916318e91.pdf.

FORCETY. JAJ Porcelanatos. **Como é feito o rebolo para desbaste**: CONHEÇA A FORCETY. 2022. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=BNWOM4Bf0WY>. Acesso em: 20 dez. 2024.

GUAITOLIN, G.; COSMO, R. de P. Avaliação da viabilidade da utilização de resíduo de retífica de revestimento cerâmico na produção de argamassas. **Multi-Science Research**, Vitória, Multivix, v. 5, n. 2, p. 72-83, jul./dez. 2022. Disponível em: <http://doi.org/10.47621/M-SR.2022.v.5.n.2.72.068>. Acesso em: 10 jun. 2025.

GUIMARÃES, J. C. C. ; CHAGAS, J. M.; CAMPOS, C. C. F.; ALECRIM, E. da F.; MACHADO, F. S. Avaliação dos aspectos e impactos ambientais decorrentes da mineração de bauxita no sul de Minas Gerais. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 321. 2012. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2012b/cienci>

as%20agrarias/avaliacao%20dos%20aspectos.pdf. Acesso em: 9 jun. 2025.

HSIEH, Y.; CHENG, T.; WU, C. Feasibility Study on Fabrication of Geopolymer Bricks by Wasted Grinding Wheel at Room Temperature. **Journal of Renewable Materials**, v. 8, n. 12, p. 657–1670. Disponível em: <https://doi.org/10.32604/jrm.2020.013353>. Acesso em: 9 jun. 2025.

HONGBO, Z. **Revestimentos cerâmicos de alumina e aplicações**. Advanced Ceramics Supplier. Disponível em: <https://aluminaceramics.wordpress.com/2021/03/15/revestimentos-ceramicos-de-alumina-e-aplicacoes/>. Acesso em: 12 jun. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. **Cadastro Central de Empresas**. 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/ipca15/brasil>. Acesso em: nov. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. **Tabela de produção e vendas de produtos e/ou serviços industriais, segundo classes de atividades e produtos**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 dez. 2024.

SÃO PAULO. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Palestra apresentada no Curso de Tratamento de Superfície, apresentada na Associação Brasileira de Tratamento de Superfície – ABTS/SINDISUPER**, 2016. Disponível em: <https://escriba.ipt.br/pdf/174284.pdf> Acesso em: 28 nov. 2024.

INVES TALK. **CSN estima CAPEX consolidado entre R\$ 6 bi e R\$ 7 bi entre 2025 e 2028**. Investir com o BB, 2023. Disponível em: <https://investalk.bb.com.br/noticias/mercado/csn-estima-capex-consolidado-entre-r-6-bi-e-r-7-bi-entre-2025-e-2028>. Acesso em: 26 nov. 2024.

MALKIN, S. **Grinding Technology**: theory and applications of machining with abrasives. 2 ed. New York: Industri-al Press, 2008.

MOTTA, J. F. M.; ZANARDO, A.; CABRAL JUNIOR, M. **As Matérias-Primas Cerâmicas**. Parte I: o Perfil das Principais Indústrias Cerâmicas e Seus Produtos. **Cerâmica Industrial**, v. 6, n. 2, p. 28-39, mar./abr. 2001. Disponível em: [/https://ceramicaindustrial.org.br/article/5876570b7f8c9d6e028b4643/pdf/ci-6-2-5876570b7f8c9d6e028b4643.pdf](https://ceramicaindustrial.org.br/article/5876570b7f8c9d6e028b4643/pdf/ci-6-2-5876570b7f8c9d6e028b4643.pdf). Acesso em: 26 nov. 2024.

PARÁ. Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas. **Boletim da Mineração 2023**. Disponível em: <https://www.fapespa.pa.gov.br/boletim-da-mineracao-2023-versao-06-03-2023-publicacao/>. Acesso em: 26 nov. 2024.

PEREIRA, F. C.; SOUZA, D. M.; MORAES, C. A. M. **Caracterização do composto cerâmico abrasivo utilizado no processo de desbaste de lâmina em cutelaria**. XXIX Mostra Unisinos de Iniciação Científica e Tecnológica. São Leopoldo, 2022.

PEREIRA, F. C.; SOUZA, D. M.; MORAES, C. A. M. **Viabilidade de valorização do alumínio presente nas amostras de compostos cerâmicos abrasivos utilizados no processo de desbaste de lâminas**. XXX Mostra Unisinos de Iniciação Científica e Tecnológica. São Leopoldo, 2023.

RIO GRANDE DO SUL. Site. **Geografia**. Disponível em: <https://www.estado.rs.gov.br/geografia#:~:text=Dividido%20em%20497%20munic%C3%ADpios%20C%20tem,Rio%20de%20Janeiro%20e%20Bahia>. Acesso em: 19 dez. 2024.

SAMPAIO, J. A.; ANDRADE, M. C. de; DUTRA, A. J. B. Bauxita. *In*: LUZ, A. B. da; LINS, F. A. F. **Rochas e Minerais Industriais**: usos e especificações. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005.

SANTOS, R. C. de V dos S. Contribuição do setor mineral no produto interno Bruto brasileiro. **Revista Radar**, n. 65, abr. 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/353035350_CONTRIBUICAO_DO_SETOR_MINERAL_NO_PRODUTO_INTERNO_BRUTO_BRASILEIRO.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Sistema Estadual de Gerenciamento Online de Resíduos Sólidos - SIGOR - Módulo Construção Civil (s.d) – **Informações sobre áreas de destinação.** Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/sigor/informacoes-sobre-as-areas-de-destinacao/> Acesso em: 21 dez. 2024.

SÃO PAULO. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Palestra apresentada no Curso de Tratamento de Superfície, apresentada na Associação Brasileira de Tratamento de Superfície – ABTS/SINDISUPER, 2016.** Disponível em: <https://escriba.ipt.br/pdf/174284.pdf> Acesso em: 28 nov. 2024.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. Centro Nacional de Tecnologias Limpas. **Implementação de Programas de Produção mais Limpa.** Porto Alegre: SENAI-CNTL, 2003.

STALTER, C. F.; MORAES, C. A. M. **Avaliação ambiental e econômica da substituição da graxa lubrificante por tecido de fibra de vidro com teflon® como desmoldante no processo de colagem.** 70º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 15º ENEMET – Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, parte integrante da ABM Week, realizada de 17 a 21 de agosto de 2015. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2015.

SOUZA, L. L.; FERNANDES, L.; SOUZA, A. D. V. de; ARANTES, V. L.; SALOMÃO, R. **Cerâmicas porosas à base de alumina-mulita para utilização como isolante térmico.** 58º

Congresso Brasileiro de Cerâmica 18 a 21 de maio de 2014, Bento Gonçalves, RS, Brasil. 2014. Disponível em: https://repositorio.usp.br/directbitstream/72814259-ab86-45fa-b089-5d2d9ee05afb/prod_23172_sysno_3011830.pdf.

SOUZA, D. M.; KIELING, A. G.; MORAES, C. A. M.; FERNANDES, I. J.; BREHM, F. A. **Avaliação de aspectos e impactos ambientais: estudo de caso em uma indústria de beneficiamento de arroz no RS.** 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/312176192_AVALIACAO_DE_ASPECTOS_E_IMPACTOS_AMBIENTAIS_ESTUDO_DE_CASO_EM_UMA_INDUSTRIA_DE_BENEFICIAMENTO_DE_ARROZ_NO_RS.

SOUZA, D. M. **Desenvolvimento de reagente remediador a base de biocarvão e ferro zero valente.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2023.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **International Declaration on Cleaner Production.** United Nations Publication, France, 2001. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/report/international-declaration-cleaner-production-implementation-guidelines>. Acesso em: 9 jun. 2025.

UNITED STATES OF AMERICA. United States Geological Survey. **Mineral Commodity Summaries,** January 2020. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020-bauxite-alumina.pdf> Acesso em: 21 dez. 2024.