



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ALDO HENRIQUE FRANCISCO DA SILVA REIS

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO MINERAL NA INDÚSTRIA DE EMBALAGENS DE
VIDROS: COM O OLHAR PARA A SUSTENTABILIDADE E EFICIÊNCIA DO
VIDRO**

Recife

2023

ALDO HENRIQUE FRANCISCO DA SILVA REIS

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO MINERAL DE UMA INDÚSTRIA DE EMBALAGENS
DE VIDROS: COM O OLHAR PARA A SUSTENTABILIDADE E EFICIÊNCIA DO
VIDRO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Química
Industrial da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do título de Químico Industrial.

Orientador (a): Profa. Dra. Ana Paula Lima Pacheco

Recife
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através
do programa de geração automática do SIB/UFPE

Reis, Aldo Henrique Francisco da Silva.

Utilização de resíduo mineral na indústria de embalagens de vidros: com o
olhar para a sustentabilidade e eficiência do vidro / Aldo Henrique Francisco
da Silva Reis. - Recife, 2024.

48 p. : il., tab.

Orientador(a): Ana Paula Lima Pacheco

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Química Industrial -
Bacharelado, 2024.

Inclui referências, apêndices.

1. Economia. 2. FRX. 3. Gestão ambiental. 4. Qualidade. 5. Melhoria. I.
Pacheco, Ana Paula Lima . (Orientação). II. Título.

540 CDD (22.ed.)

ALDO HENRIQUE FRANCISCO DA SILVA REIS

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO MINERAL DE UMA INDÚSTRIA DE EMBALAGENS
DE VIDROS: COM O OLHAR PARA A SUSTENTABILIDADE E EFICIÊNCIA DO
VIDRO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de química
industrial da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do título de químico industrial.

Aprovado em: 05/03/2024

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Ana Paula Lima Pacheco (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Luciano Costa Almeida (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Me. Emerson Felipe Mendonça da Silva (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, cuja orientação e graça estiveram comigo em cada passo deste caminho. Sem Sua orientação eu não teria chegado até aqui.

À minha orientadora Prof. Ana Paula Lima Pacheco, expresse minha sincera gratidão. Sua orientação e dicas valiosas me ajudaram a moldar este trabalho, mas também meu entendimento mais amplo sobre o mundo acadêmico.

À minha família, que tem sido meu pilar de força, amor e apoio durante todos os anos de graduação me ajudando a perseverar mesmo diante das adversidades.

Aos meus amigos de graduação Maria Eduarda Oliveria, Julia Silvestre, Paulo Roberto Souza, Sérgio Roberto Chaves, Marlon Salles e a todos que, cujas palavras de incentivo e presença constante tornaram essa jornada mais leve. Cada conversa e troca de ideias foram como alívio em momentos difíceis.

Aos meus colegas de trabalho, Amanda França, Luciano Costa, Evandro Ferreira, Maemerson Silva que me ajudaram com as coletas de amostras e dicas para compor este trabalho, assim como a Rogerio Roque e Vanessa Beltrão pela permissão na realização deste projeto além de compartilhar suas experiências que enriqueceu este estudo.

Por fim, agradeço à UFPE por fornecer um ambiente propício para aprendizado e crescimento. Cada professor e membro da equipe desempenhou um papel crucial na minha jornada acadêmica.

RESUMO

O vidro é considerado um resíduo infinitamente reciclável, pois é capaz de ser reprocessado diversas vezes sem apresentar perdas na qualidade. Mesmo realizando a reciclagem, a indústria vidreira encontra desafios relacionados ao gerenciamento dos resíduos obtidos dos processos de beneficiamento do vidro sujo, emissão de gases poluentes, tratamento do efluente industrial e do resíduo mineral proveniente das matérias-primas utilizadas. Este trabalho teve como objetivo verificar a viabilidade da utilização de resíduo sólido de origem mineral, como matéria-prima, na produção de embalagens de vidro. As amostras foram coletadas do sistema do despoeiramento, que está integrado ao processo de mistura de matérias-primas. O sistema funciona aspirando partículas (pó) que ficam em suspensão no ar, durante a descarga dos caminhões que abastecem a fábrica, gerando um resíduo mineral. As amostras foram coletadas durante o descarregamento de duas matérias-primas (Calcário e Feldspato), avaliadas em triplicata, com intervalos de 30 minutos entre as coletas, totalizando 6 amostras por dia durante 6 dias. A caracterização química, dos óxidos que compõem as amostras, foi realizada por Fluorescência de Raio-x (FRX), com leitura em curva analítica semiquantitativa. É possível perceber que com o passar do tempo a contaminação por outras matérias-primas passou a ser menor. O SiO_2 representava 8,51 % da amostra e reduziu para 4,50% após a primeira coleta, assim como o Na_2O que estava em 13,17% e ao final passou a ser 1,24%. Pela análise química do resíduo para os dois materiais analisados observou-se uma redução da contaminação significativa de 50% na sílica contida nas amostras do resíduo de calcário, já para o feldspato a redução do óxido de cálcio foi mais de 80%, com isso não há alterações significativas na composição final do vidro obtido. Os resultados mostraram que a adição dos resíduos do despoeirador nas matérias-primas virgens, não é suficiente para causar defeitos relacionados a composição do vidro. Além de proporcionar uma estimativa de economia total, na compra de calcário e feldspato virgem, de R\$ 164.631,58 por ano, obteve-se ganho ambiental pela reciclagem dos resíduos e a redução na extração de matéria-prima virgem.

Palavras-chave: Economia, FRX, Gestão ambiental, Qualidade, Melhoria.

ABSTRACT

Glass is considered an infinitely recyclable waste, as it is capable of being reprocessed several times without presenting any loss in quality. Even carrying out recycling, the glass industry faces challenges related to the management of waste obtained from dirty glass processing processes, emission of polluting gases, treatment of industrial effluent and mineral residue from the raw materials used. This work aimed to verify the feasibility of using solid waste of mineral origin, as raw material, in the production of glass packaging. The samples were collected from the dust removal system, which is integrated into the raw material mixing process. The system works by vacuuming particles (dust) that remain suspended in the air, during the unloading of trucks that supply the factory, generating mineral residue. The samples were collected during the unloading of two raw materials (Limestone and Feldspar), evaluated in triplicate, with 30-minute intervals between collections, totaling 6 samples per day for 6 days. The chemical characterization of the oxides that make up the samples was carried out using X-ray Fluorescence (XRF), with semiquantitative analytical curve reading. It is possible to see that over time contamination by other raw materials became less. SiO_2 represented 8.51% of the sample and reduced to 4.50% after the first collection, as did Na_2O , which was 13.17% and at the end became 1.24%. Through the chemical analysis of the residue for the two materials analyzed, a significant reduction in contamination of 50% in the silica contained in the limestone residue samples was observed, whereas for feldspar the reduction in calcium oxide was more than 80%, with this not there are significant changes in the final composition of the glass obtained. The results showed that the addition of deduster residues to virgin raw materials is not enough to cause defects related to the glass composition. In addition to providing an estimated total savings, in the purchase of virgin limestone and feldspar, of R\$ 164,631.58 per year, environmental gains were obtained through the recycling of waste and the reduction in the extraction of virgin raw materials.

Keywords: Economy, Environmental management, FRX, Improvement, Quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Vitrais da catedral de Notre Dame na França	17
Figura 2 -	Estados físico do vidro	19
Figura 3 -	Processo de produção de embalagens de vidro.	21
Figura 4 -	Forno para produção de vidro	22
Figura 5 -	Processo sopro-sopro (blow-blow)	23
Figura 6 -	Vidros no microscópio polarizador	24
Figura 7 -	Exemplos do defeito pedras em vidros	25
Figura 8 -	Seeds em amarelo e Blister em vermelho no vidro.	26
Figura 9 -	Ciclo PDCA	28
Figura 10 -	FRX Epsilon 4 da PANalytical (A), prensa da Herzog (B) e pastilha(C)	30
Figura 11 -	Microscópio polarizador da MICROTEC.	31
Figura 12 -	Curva de contaminação ao longo do tempo para calcário	33
Figura 13 -	Curva de contaminação ao longo do tempo para feldspato	34
Figura 14 -	Reação com indizador, (A) Padrão de calcário; (B) calcário em T= 0 min; (C) calcário em T= 30 min; (D) calcário em T= 60 min.	36
Figura 15 -	Reação com ácido (A) Padrão de calcário; (B) calcário em T= 0 min; (C) calcário em T= 30 min; (D) calcário em T= 60 min.	36
Figura 16 -	Reação com indicador . (A) Padrão de feldspato; (B) feldspato em T= 0 min; (C) feldspato em T= 30 min; (D) feldspato em T= 60 min	37
Figura 17 -	Reação com ácido . (A) Padrão de feldspato; (B) feldspato em T= 0 min; (C) feldspato em T= 30 min; (D) feldspato em T= 60 min	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Análise química do resíduo do calcário, agosto/2023.	32
Tabela 2 -	Análise química do resíduo do feldspato, Agosto/2023.	34
Tabela 3 -	Quantidade de calcário recebido em toneladas (2023)	39
Tabela 4 -	Quantidade de feldspato recebido em toneladas (2023)	39
Tabela 5 -	Quantidade resíduo estimado para 12 meses (2023) em toneladas	40
Tabela 6 -	Valor por tonelada e economia na compra de calcário e feldspato (2023)	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 HISTÓRIA DO VIDRO.....	17
2.2 PRICIPAIS TIPOS DE VIDROS	18
2.3 PROCESSO PRODUTIVIDO DE EMBALGENS DE VIDRO	20
2.4 PRINCIPAIS DEFEITOS NO VIDRO	23
2.4.1 Cordas	23
2.4.2 Pedras	24
2.4.3 <i>Seeds e Blister</i>	25
2.5 RESÍDUOS MINERAIS NA PRODUÇÃO DE VIDRO.....	26
2.6 MELHORIA CONTÍNUA	27
3 METODOLOGIA	29
3.1 AMOSTRAS E COLETA.....	29
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO RESIDUO.....	30
3.3 TESTE DE VERIFICAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO CRUZADA.....	30
3.4 ANÁLISE DE CORDAS	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS	32
4.2 TESTE DE VERIFICAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO CRUZADA.....	35
4.3 ANÁLISE DE CORDAS	37
4.4 ECONOMIA ALCANÇADA COM O PROJETO	38
5 CONCLUSÃO	43
6 REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

Após a revolução industrial, com o significativo aumento no consumo de recursos naturais na produção de bens para consumo, geração de energia e alimentação, observou-se como consequência o aumento da geração de resíduos (FURLA, 2017).

Os resíduos sólidos possuem constituintes importantes como fontes de emissão de gases de efeito estufa, tanto em relação à sua produção e consumo quanto à liberação de gases quando dispostos em lixões ou aterros sanitários. Essas emissões contribuem de forma significativa para o agravamento do aquecimento global e representam um desafio para a gestão ambiental e a busca por práticas mais de tratamento de resíduos (ONU, 2022).

A Resolução Conama nº 313/2002, define que resíduo sólido industrial é tudo o que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semissólido, gasoso quando contido, e líquido, que devido a particularidades seja inviável o descarte na rede pública de esgoto ou em corpos d'água (BRASIL, 2002).

No Brasil, foi criado em 2010 através da Lei nº 12.305/1, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que possui ferramentas para combater problemas ambientais relacionados a resíduos sólidos e prevê a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos.

Apesar da existência do PNRS, a situação ainda não é considerada satisfatória, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre a gestão dos resíduos sólidos (SINIR), em 2019 cerca de 70% dos resíduos sólidos industriais gerados, foram destinados a aterros sanitários sem acondicionamento adequado. Sendo assim, algumas das alternativas encontradas por indústrias foi encontrar oportunidades de logística reversa, que é uma estratégia que impulsiona o desenvolvimento econômico e social por meio de um conjunto de medidas, procedimentos e recursos que possibilitam a coleta e o retorno dos resíduos sólidos, com a finalidade do

reaproveitamento em seu ciclo produtivo original ou em outros ciclos, além de promover uma destinação final ambientalmente adequada (SINIR, 2019).

A logística reversa é plenamente aplicada em algumas indústrias como, por exemplo, em fábricas de vidros, que recicla em média 300 mil toneladas/ano de vidro no Brasil. Apesar do valor expressivo, esta quantidade representa apenas cerca de 25% do que é produzido anualmente por esta indústria (ABIVIDRO, 2022).

O vidro é considerado um resíduo infinitamente reciclável, pois é capaz de ser reprocessado diversas vezes sem apresentar perdas na qualidade (ABIVIDRO, 2022, além de poder representar cerca de 60% da composição do novo vidro produzido. O reuso do vidro também está atrelado a diminuição da emissão de gases poluentes durante a queima combustíveis fósseis no processo produtivo, o que gera um menor impacto ambiental (SAINT GOBAIN, 1996).

No ponto de vista socioeconômico, a introdução de vidro reciclado na composição de novos produtos, reduz a necessidade de inserir matérias-primas virgens, que causa um menor custo de produção das indústrias. Além disso, contribui para a geração de renda de catadores de recicláveis, por meio de parcerias com cooperativas (OLIVEIRA NETO et al., 2014).

Mesmo realizando a reciclagem do vidro, a indústria vidreira encontra desafios relacionados ao gerenciamento dos resíduos obtido nos processos de beneficiamento do vidro sujo, emissão de gases poluentes, tratamento do efluente industrial e do resíduo mineral proveniente das matérias-primas utilizadas. Com os riscos relacionados a perda de qualidade do produto com o surgimento de defeitos relacionados a composição química, as indústrias de vidro optam em não utilizar resíduos como matérias-primas ou aditivos na produção. No entanto, essa indústria enfrenta o desafio de conciliar seu crescimento com a preservação ambiental e a busca por práticas mais sustentáveis (CHUD, OSORIO, PEÑA, 2018).

O crescente interesse com a sustentabilidade e a conservação do meio ambiente exige estudos e soluções inovadoras para minimizar os impactos negativos das atividades industriais. Este trabalho contribuirá na identificação de práticas mais sustentáveis na produção de bens de consumo e aumentar a conscientização sobre a importância de proteger o meio ambiente, além de incentivar a incorporação de

resíduos na produção de vidro, contribuindo para a redução da extração de matérias-primas naturais, minimizando o descarte de resíduos sólidos e diminuindo as emissões de gases de efeito estufa.

Este trabalho tem como objetivo geral, verificar a viabilidade da utilização de resíduo sólido de origem mineral como matéria-prima na produção de embalagens de vidro. Entre os objetivos específicos estão:

- Caracterizar o resíduo ao longo do processo de descarregamento e abastecimento dos silos de calcário e feldspato.
- Avaliar a qualidade do vidro produzido com o resíduo.
- Estimar a economia alcançada com a utilização do resíduo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

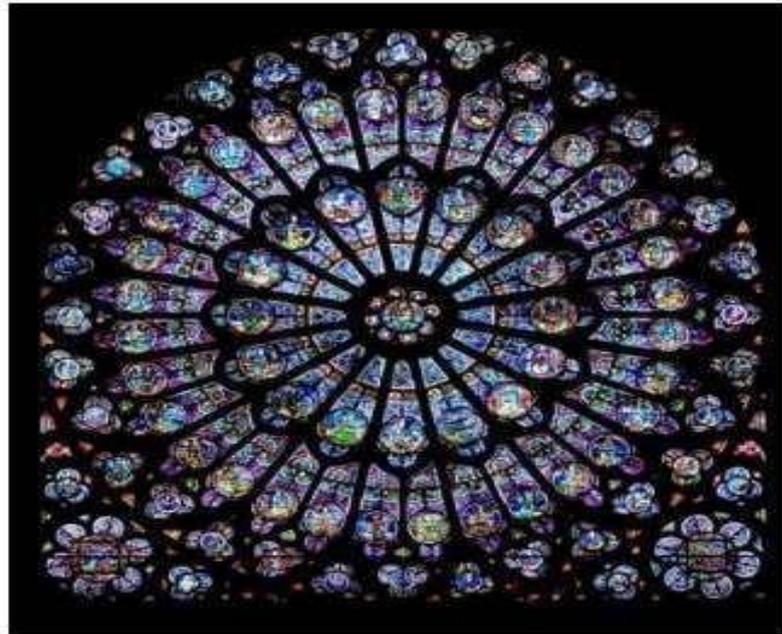
2.1 HISTÓRIA DO VIDRO

Existem várias versões sobre a descoberta do vidro. E entre elas, a mais comum é de cerca de 2500 a.C. A versão refere-se a alguns comerciantes fenícios, que o teriam descoberto por acaso enquanto faziam uma fogueira na praia para passar a noite, após terem percebido, pela primeira vez, um fluxo de líquido transparente. Isso aconteceu quando eles colocaram a panela em um bloco de nitrato de sódio, que quando misturado com fogo e areia gerou o que hoje chamamos de vidro. Essa versão não pode ser comprovada cientificamente, pois a fusão do vidro requer uma temperatura de aproximadamente de 1800 °C, e uma fogueira na praia não é capaz de atingir essa temperatura (ALVES; GIMENEZ; MAZALI, 2001).

De acordo com outra versão plausível, o vidro foi simplesmente encontrado quando os nômades vagavam por uma região muito arenosa, onde havia muitos raios e trovões. Então acharam uma grande quantidade de uma substância transparente que chamaram de vidro. Esse fato é cientificamente possível, pois essa região continha sílica (areia), principal componente do vidro, este processo natural é chamado de vitrificação (CONTE, 2011).

Por volta de 1500 a.C., os vidros eram usados no Egito por faraós como itens de decoração e adornos pessoais produzidos por artesões, mas foi apenas após a descoberta do processo de sopro que o vidro teve destaque na idade média, pois passou ser utilizado pela nobreza da época assim como pela igreja católica em diversos vitrais decorados como mostra a Figura1 (DA SILVA; FILGUEIRAS, 2023).

Figura 1: Vitrais da catedral de Notre Dame na França



Fonte: (BENUTTI; SILVA, 2014)

Os primeiros relatos da produção de vidro no Brasil são do período Holandês quando a mando do conde Maurício de Nassau, na cidade do Recife que na época se chamava cidade Maurícia, entre 1637 e 1644, foi criada a primeira fábrica de vidro, para a produção de copos, vidros planos para janelas e vasilhames para bebidas. A produção encerrou as atividades logo após a expulsão os holandeses (VIDRO IMPRESSO, 2023).

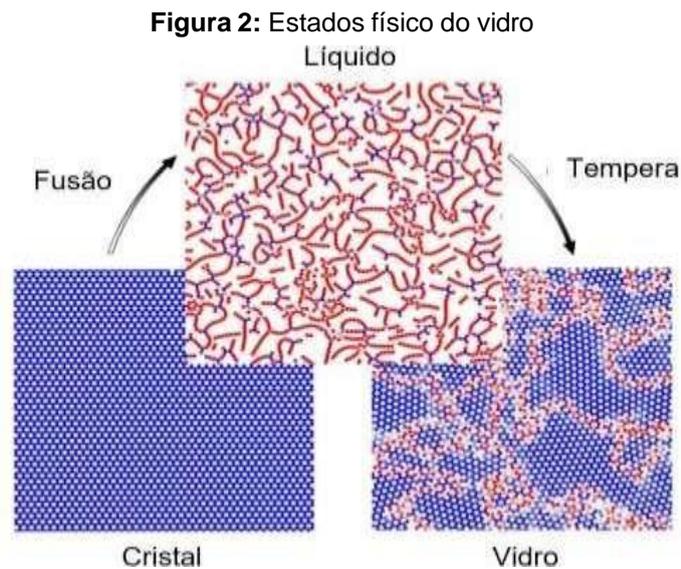
Após alguns anos, com a vinda da corte portuguesa para o Brasil e para atender aos pedidos da realeza, uma nova fábrica foi iniciada nas proximidades de Salvador, por volta de 1810, que funcionou durante 20 anos e se chamava Real fábrica de vidros Bahia. A partir disto o ramo se expandiu com a chegada de diversas empresas multinacionais como a Saint Gobain e Owens Illinois, e mais tarde algumas nacionais como a companhia industrial de vidros (CIV) e a Vivix vidros planos (DA SILVA; FILGUEIRAS, 2023).

2.2 PRICIPAIS TIPOS DE VIDROS

A definição de vidro é considerada complexa, pois não existe um consenso entre os autores e profissionais do ramo, mas segundo a associação brasileira de cerâmica (ABCERAM,2019) o vidro é um material que não apresenta organização das moléculas e devido a isso é chamado de amorfo. Outra definição é dada por Callester

(2002, p 292), onde vidro são materiais pertencentes a um subgrupo dos materiais cerâmicos, e que entre as suas principais características estão a transparência ótica.

A organização dos átomos do vidro, mesmo apresentando um arranjo desordenado se assemelhando com líquidos, apresentam-se fixos como sólidos, como mostra a Figura 2.



Fonte: Adaptado (RAVINDER et al., 2019)

Alguns tipos de vidro podem ser produzidos mudando a sua composição e sua forma de produção, (CONTE, 2011), entre eles estão.

- **Vidros de Sílica Fundida ou Quartzo:** são caracterizados por altas temperaturas de fusão e processamento, baixos coeficientes de expansão térmica e alta resistência química. Devido ao seu alto ponto de fusão, é caro e difícil de produzir como vidro fundido primário. Esta série de vidros é utilizada em laboratórios de alta tecnologia.
- **Vidros de Boros Silicato:** são altamente resistentes ao ataque químico e têm um baixo coeficiente de expansão térmica, este grupo de vidros é utilizada em uma ampla gama de aplicações domésticas e utensílios de laboratório.
- **Vidros de Chumbo:** São produzidos com mais de 70% de óxido de chumbo em sua composição e em baixos pontos de fusão. Este tipo de vidro é destinado a ambientes e equipamentos expostos a radiação.
- **Vidros de Soda-Cal:** São os vidros mais comuns para a serem produzidos, possuem cerca de 70% de sílica em sua composição, além presença de

calcário e carbonato de sódio (Barrilha). Tem diversas aplicações: vidros planos, janelas, pratos, copos, embalagens de perfumes, alimentos e bebidas etc.

2.3 PROCESSO PRODUTIVO DE EMBALAGENS DE VIDRO

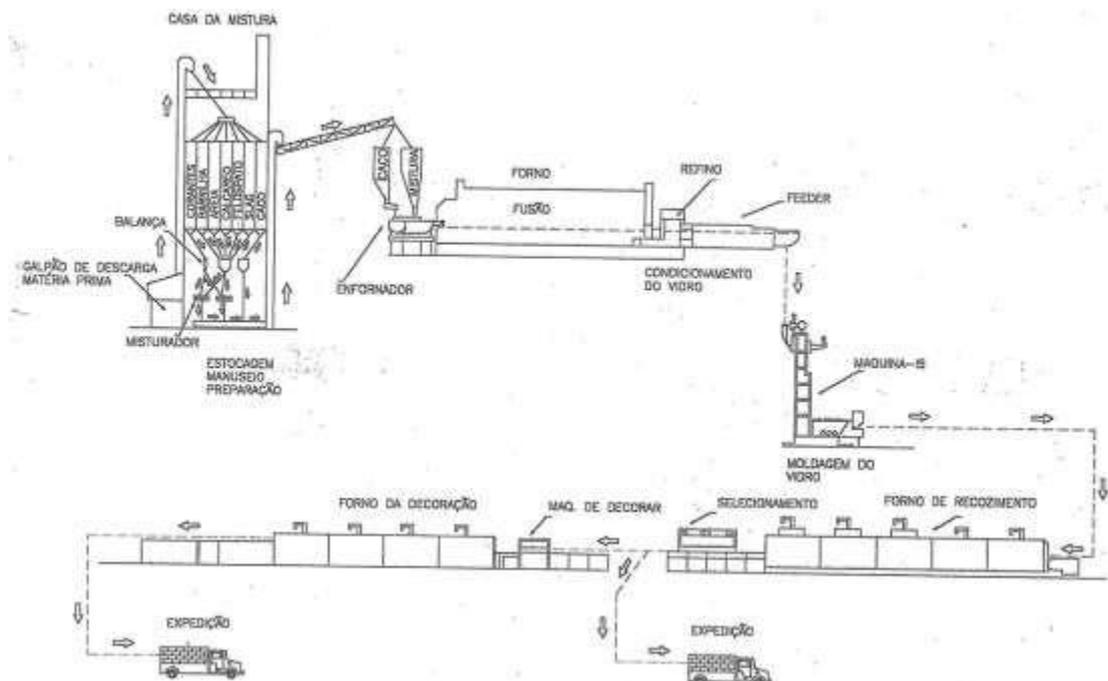
Embalagens de vidro são produzidas com vidro do tipo soda-cal, que em sua composição possui cerca de 70% de sílica (SiO_2), 10% de Calcário (CaCO_3), 2% de Feldspato (Al_2SiO_5) e 13% de barrilha (Na_2CO_3) (SILVA, 1998; SILVA, 2022). Cada uma destas matérias-primas tem uma função específica que contribuem para a produção do vidro:

- **Calcário:** Fonte de cálcio no vidro, a sua presença contribui para a estabilidade química e mecânica do vidro é o terceiro maior componente do vidro, a sua presença também pode aumentar a temperatura da mistura fundida dificultando a vitrificação. O cálcio também é importante nas reações durante a fusão das matérias-primas.
- **Areia:** É a fonte de sílica, o maior componente do vidro, atua como agente de vitrificação. O aumento ou diminuição da quantidade de sílica, na composição, pode alterar a resistência química, reduzir ou aumentar o coeficiente de dilatação térmica, e interfere na densidade, por isso areia precisa atender critérios químicos e granulométricos.
- **Barrilha:** Fonte de sódio, necessária na diminuição do ponto de fusão da sílica atuando como fundente. A presença de sódio auxilia na trabalhabilidade do vidro durante a fabricação das embalagens. Por ser higroscópica é o segundo maior componente em volume. A barrilha precisa ser estocada em locais adequados (com controle de umidade), pois pode causar problemas durante a pesagem.
- **Feldspato:** Fonte de Alumina, que assim como o cálcio atua como estabilizante na mistura, mas atua fortemente no aumento da estabilidade mecânica. A adição de feldspato na composição de embalagens é muito importante para que se tenha maior resistência a choques mecânicos durante o transporte e uso.
- **Óxidos secundários:** Alguns óxidos de origem mineral são adicionados na formulação de vidros com o objetivo de torná-los coloridos, como exemplo

temos: a cromita ($\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$) usado na produção de vidros verdes; hematita (Fe_2O_3) usada produção do vidro âmbar; óxido de cobalto (CoO) adequado para colorir vidro azul; dióxido de selênio (SeO_2) para produção de vidros rosa.

Para obter um vidro com qualidade e características desejadas nas embalagens são necessárias etapas de mistura, fusão, refino, moldagem e por fim o recozimento. Todas estas etapas são importantes no processo pois cada uma dela agrega valor comercial no produto (SILVA, 1998). Na figura 3 é possível ver o fluxograma do processo de produção de embalagens de vidro.

Figura 3: Processo de produção de embalagens de vidro.



Fonte: SILVA (1998)

Na casa de mistura as matérias-primas são armazenadas em silos. Com a pesagem e misturas adequadas, ou seja, com a composição do vidro pronta todo o material segue por esteiras até receberem o vidro recuperado do próprio processo de produção e vidro da coleta seletiva, estes representam cerca de 20% da composição do vidro novo e contribuem para a diminuição do ponto de fusão da mistura economizando energia e lançado menos gases na atmosfera. (SILVA,1998)

No processo de fusão, a composição se transforma em uma massa líquida brilhante com alta viscosidade a uma temperatura acima de 1200 °C, esta etapa acontece no forno, também ocorre a corrente de convecção que mistura do vidro fundido com a matéria-prima nova, isso se faz necessário para evitar defeitos relacionados a má homogeneização do vidro (GRAYHURSI, 2012).

Os fornos são construídos com tijolos refratários (Figura 4) em que o ponto de fusão é acima de 1600 °C, necessário para suportar as altas temperaturas de fundição e a abrasão do vidro durante toda esta etapa. O vidro escorre, devido à gravidade, por canais até o refino.

Figura 4: Forno para produção de vidro

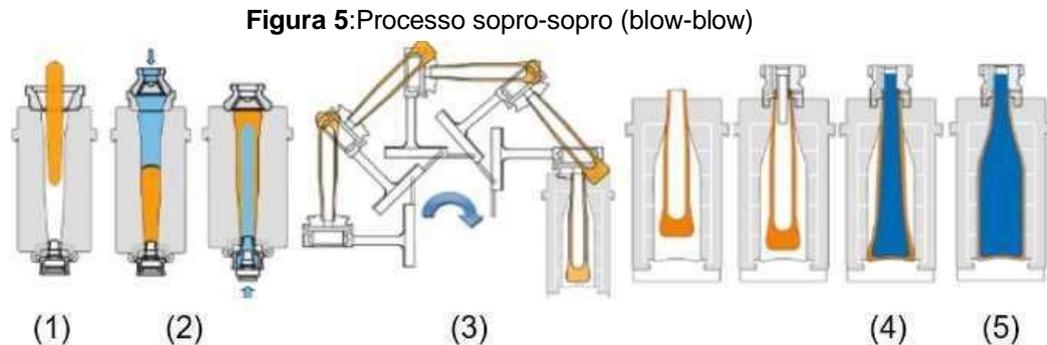


Fonte: (SINGH., RAMAKRISHNA., GUPTA, 2017)

O refinamento tem o objetivo de iniciar a estabilização do vidro com a diminuição da temperatura de fundição que precisa estar abaixo de 900 °C. O refino é importante para que bolhas sejam retiradas. Estas bolhas são formadas na fusão das matérias-primas como o calcário que libera CO₂, se não forem retidas durante o refino, tais bolhas podem favorecer a rejeição das embalagens durante a inspeção (ARANHA, 1987).

A moldagem depende do tipo de embalagem de interesse de produção, para isso existe o método sopro-sopro (blow-blow) em que consiste na gota entrar no molde (1), em seguida é soprada com ar comprimido para ser formada a parte superior da embalagem (2), também chamado de “anel”. Com o anel formado, o vidro pré-moldado

vai para outro molde (3) que recebe outro jato de ar comprimido (4) para formar o corpo da embalagem (5), como mostra a Figura 5.



Fonte: Adaptado (PLEASURE 2018)

Outro método de moldagem é o prensa-sopro (press-blow) assim como no anterior a gota entra no molde nas mesmas condições, a diferença consiste em que o vidro é prensado por um tarugo de ferro fundido revestido de grafite, que forma o anel que é posteriormente soprado e forma o corpo da embalagem, com isso, o vidro segue para a tempera ou recozimento.

O recozimento ou tempera, é considerada uma etapa importante, pois as embalagens passam por um outro forno em temperatura mais baixa agregando estabilidade e resistência devido à diminuição da tensão, sem isso, após o resfriamento completo tornam-se frágeis e quebradiças. Com as embalagens prontas, todas recebem um banho de estanho para que sejam protegidas da ação do intemperismo (chuva, sol), então seguem para inspeção visual com o objetivo de segregar embalagens defeituosas, e por fim, paletização. (SILVA, 1998)

2.4 PRINCIPAIS DEFEITOS NO VIDRO

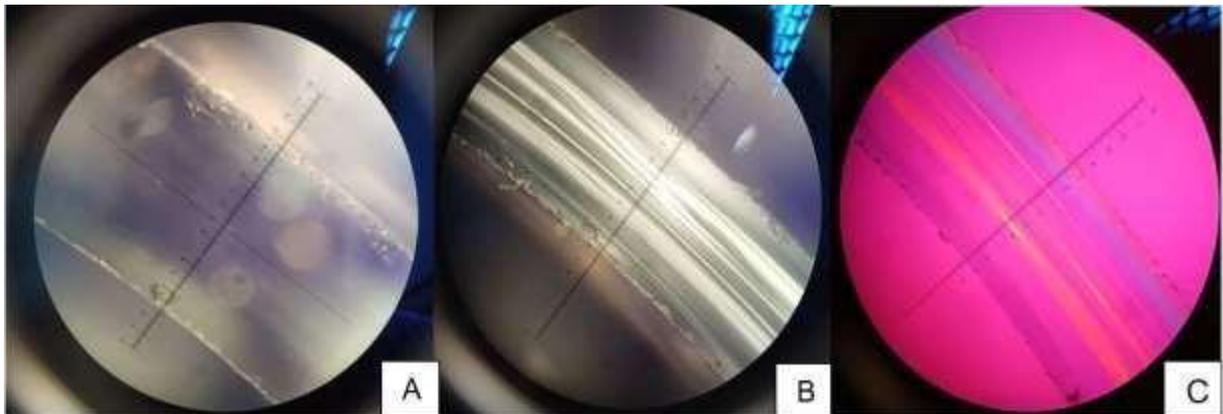
2.4.1 Cordas

Uma corda é um vidro com composição química diferente da que está sendo produzido, ou seja, tem propriedades físicas diferentes (coeficiente de dilatação térmica diferentes que geram esforços no interior do vidro). Nestes esforços internos de tensão nos quais surgem as cordas, se a tensão gerada for suficientemente forte o vidro será rompido. A origem destas cordas pode ser da matérias-primas, do preparo de composição, operações do forno e equipamentos (SILVA, 1998).

Para realizar a medição das cordas é utilizado um microscópio polarizador que possui dois polarizadores um abaixo do prato chamado de nicol inferior e outro no canhão chamado de nicol superior, este último existe a possibilidade de ser removido e trocado caso necessário. A unidade de medida utilizada na determinação das cordas é em pressão (PSI).

A Figura 6 ilustra amostras de vidro sem (A) e com cordas (B). As Figuras 6B e 6C demonstram o filtro polarizador contido no microscópio, com a diferença de cores é possível calcular a retardação da luz que atravessa o vidro mudando o ângulo no compensador.

Figura 6: Vidros no microscópio polarizador, (A) Amostra sem corda; (B) e (C) Amostra com cordas.



Fonte: O Autor (2024)

2.4.2 Pedras

Pedras são incrustações de minerais no vidro, que não foram fundidos na etapa de fundição no forno. Estas pedras podem ser de diversos tamanhos e formas. A depender de sua localização, podem causar o rompimento do vidro, mesmo com tamanho pequeno que não seja identificada na inspeção. Para eliminar este defeito é preciso identificar o tipo e assim conhecer a sua origem (matérias-primas, caco e fornos). Durante a identificação, o microscópio polarizador pode ser utilizado, pois algumas pedras podem gerar tensão no corpo do vidro e serem observados, outras são identificadas por suas cores, formatos, se são cristalinas ou metálicas e tipos de grãos. (SILVA, 1998) Alguns exemplos do defeito pedra em vidro pode ser observados na Figura 7.

Figura 7 - Exemplos do defeito pedras em vidros.



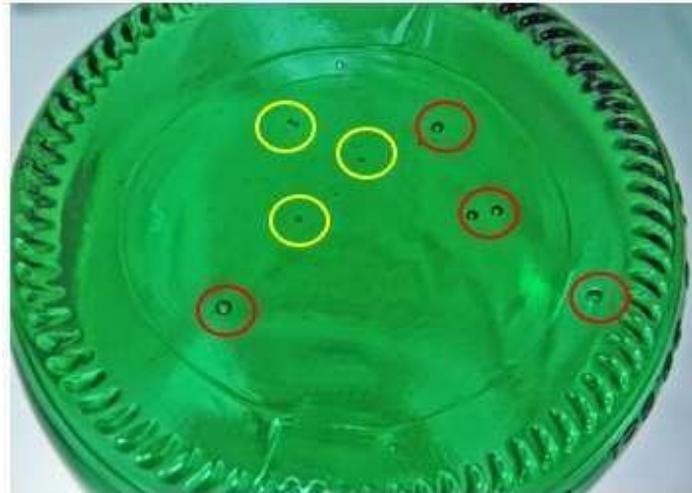
Fonte: O autor (2024)

2.4.3 Seeds e Blister

São inclusões gasosas no corpo do vidro, que podem ocorrer durante a fundição ou refino do vidro. As *seeds* são bolhas com até 0,8 mm que são provenientes da decomposição das matérias-primas durante a fusão ou gases que estão presos entre os grãos, já as *blisters* são bolhas com maiores dimensões surgem devido a agitação mecânica ou reações secundares no vidro. As *seeds* geralmente causam apenas um defeito de aparência, mas a depender da sua localização na embalagem pode causar o seu rompimento também pode indicar problemas de armazenamento de matérias-primas (AGRADMIN, 2020).

O aparecimento de *blister*, mesmo estando relacionadas aparência das embalagens, podem ser um defeito crítico se encontradas em embalagens menores como potes. Assim como as *seeds*, as *blisters* podem contribuir para o rompimento do vidro se localizadas em áreas mais sensíveis. A Figura 8 mostra *seeds* em amarelo e *blister* em vermelho (AGRADMIN, 2020).

Figura 8: Seeds em amarelo e Blister em vermelho no vidro.



Fonte: AGRADMIN (2020)

2.5 RESÍDUOS MINERAIS NA PRODUÇÃO DE VIDRO

Segundo Silva (1998), um subproduto da siderurgia, a escória de alto forno, pode ser usada como matéria-prima para a produção de vidro. Tal resíduo possui vantagens em relação a composição química de matérias-primas virgens, pois são fontes de sílica, alumina e óxidos de cálcio e magnésio e possuem propriedades fundentes. Apesar das excelentes vantagens, o custo para realizar o beneficiamento e remover impurezas indesejáveis, tornam o uso da escória inviável, além disso, a variação de composição, altos teores de ferro e impurezas de características refratárias, contribuíram para a não utilização do resíduo

Alguns trabalhos mais recentes mostram que existem outras fontes alternativas de matérias-primas de origem mineral, Alfonso e colaboradores (2020) usaram rejeitos de minas de fluorita na Espanha para produção de vidro, obtiveram vidro com propriedades físicas e térmicas adequadas para vidros comerciais, apesar de presença de metais pesados como o cádmio em sua composição. Outros trabalhos como o de Babisk (2009) utilizou rochas ornamentais para produção de vidros do tipo sodo-cálcicos e obtiveram resultados equivalentes a vidros com matérias-primas puras. Aleixo e colaboradores (2016) também produziram vidro do tipo soda-cal com valor comercial a partir de resíduos de lã de vidro.

Existes outros tipos de materiais cerâmicos que também podem ser produzidos com resíduos minerais como as vitrocerâmicas feitas por Spínola e colaboradores (2019) a partir de resíduos da perfuração de poços de petróleo, assim como adição caulim. Segundo Yamashita (2006) cinzas também podem ser utilizadas como matérias-primas na produção de vitrocerâmicas assim como rejeitos de siderurgias.

O uso de resíduos minerais para algumas indústrias pode ser uma realidade difícil, pois a decisão de usá-los coloca em risco a qualidade dos produtos relacionados a aparência assim como suas propriedades físicas.

Com a criação de leis mais severas em relação a proteção do meio ambiente, buscar alternativas para produzir com menos impacto ambiental, atrelado a melhoria contínua é um desafio a ser enfrentado por empresas que desejam ter produtos competitivos no mercado.

2.6 MELHORIA CONTÍNUA

Melhoria contínua pode ser descrita como um processo de inovação progressivo, focado e contínuo, que busca envolver todos que estão na organização. Possui pequenos passos, com alta frequência de mudança em um pequeno período e que individualmente o impacto é pequeno, mas em conjunto pode ser uma contribuição significativa para empresas (BESSANT, CAFFYN e GALLAGHER, 2000).

Bhuiyan, Baghel e Wilson (2006) definem melhoria contínua como uma política ou cultura de melhoria sustentável com foco no desenvolvimento da organização e dos participantes buscando eliminar desperdícios em todas as etapas do processo.

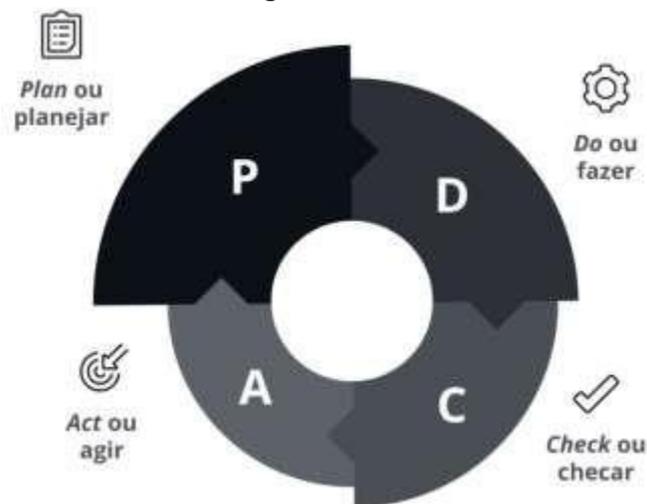
Surgiu no Japão, após a segunda guerra mundial, a filosofia do Kaizen, que busca aplicar e manter a melhoria contínua em todas as áreas da empresa e que precisa ser aderida por todos os colaboradores. Para que a filosofia seja aplicada de forma eficiente, se faz necessário a criação de planos de ação e metas para que os padrões de qualidade sejam atendidos e mantidos por todos. (IMAI, 1994)

Uma forma pratica para aplicação do Kaizen, é a realização de evento no chão de fábrica, conhecido também como Gemba, o objetivo é envolver pessoas de

diferentes áreas e conhecimentos, para elencar possibilidades de melhorias em qualidade e custo em todas as áreas da organização. (HORNBERG, 2009)

Com a realização do Gemba é possível encontrar problemas, e solucioná-los atribuindo responsáveis para que sejam aplicados plano de melhorias com o auxílio de ferramentas da qualidade. O ciclo PDCA, é um método de gestão da que auxilia na solução de problemas e melhoria contínua. (FMS2, 2017).

Figura 9: Ciclo PDCA



Fonte :SLYDLE (2023)

No método do PDCA existem etapas que precisam ser cumpridas para que os resultados esperados sejam satisfatórios e significativos (SLYDLE, 2023), e estas etapas são:

P: Planejar (PLAN) - Passo inicial para o projeto, que se faz necessário identificar os problemas, criar objetivos e estabelecer as metas e o plano de ação.

D: Fazer (Do) - Etapa de colocar em prática o que foi definido no planejamento, observando as possíveis falhas e acompanhando se os objetivos estão sendo alcançados.

C: Checar (Check) - Etapa em que os resultados são analisados a fim de verificar as mudanças no processo, sejam eles positivos ou negativos. Também é importante observar as falhas para serem corrigidas.

A: Agir (Act) - Aqui é preciso corrigir as falhas encontradas anteriormente, apontar soluções para os problemas, se for necessário refazer os objetivos dos projetos com base nos resultados encontrados.

3 METODOLOGIA

O projeto foi realizado em uma fábrica de embalagens de vidro no nordeste do Brasil.

A metodologia apresentada a seguir, é referente a etapa de checar (C) do ciclo PDCA aplicado na definição do projeto para reutilização do resíduo do despoeirador.

3.1 AMOSTRAS E COLETA

As amostras foram coletadas do sistema do despoeiramento, que está integrado ao processo de mistura de matérias-primas, o sistema funciona aspirando partículas que ficam em suspensão no ar (pó) durante a descarga dos caminhões que abastecem a fábrica, gerando um resíduo mineral que é descartado sem nenhum aproveitamento no processo. Um dos benefícios do sistema é fornecer qualidade de trabalho aos operadores que lidam com as matérias-primas diariamente, evitando doenças pulmonares como a silicose. O não funcionamento do sistema favorece que a poeira seja levada pelo vento podendo afetar funcionários que estão de passagem pelo local, e moradores próximos à fábrica.

O pó foi misturado totalmente (100%) de forma manual, durante cada descarregamento, por um período de 6 dias. Em seguida foi adicionado a composição do vidro durante a pesagem das matérias-primas na casa de mistura, as amostras de vidro produzidas neste período foram avaliadas a qualidade. Sendo assim, possível avaliar o surgimento de problemas nos lotes de vidro relacionados a esta composição das matérias-primas onde foram inseridos os resíduos do despoeirador.

As amostras foram coletadas durante o descarregamento de duas matérias-primas (Calcário e Feldspato), em triplicata, com intervalos de 30 minutos entre as coletas, totalizando 6 amostras por dia durante 6 dias. Todas as amostras coletas, acondicionadas e vedadas, em sacos plásticos, para as condições de umidade adequadas para análise.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO RESIDUO

A caracterização química dos óxidos que compõem as amostras foi realizada por Fluorescência de Raio-x (FRX), em um Epsilon 4 da PANalytical (Figura 10 A), com leitura em curva analítica semiquantitativa, o equipamento está no laboratório na mesma fábrica em que as amostras foram coletadas.

As amostras para FRX foram homogeneizadas individualmente, de forma manual, para a produção de pastilhas com 10 gramas cada e foram prensadas, em uma presa da Herzog (Figura 10 B), carga de 150 KN por 30 segundos. As pastilhas possuem formatos cilíndricos (Figura 10 C).

Figura 10: FRX Epsilon 4 da PANalytical (A), prensa da Herzog (B) e pastilha(C)



Fonte : (A) Adaptado de (GOOGLE, 2023). (B) e (C) o autor (2024)

Para determinar em que momento a contaminação reduz, ao longo de toda etapa de armazenamento das matérias-primas, uma curva foi construída com amostras coletadas do mesmo sistema com intervalos de 10 minutos durante 60 minutos, totalizando 7 amostras que foi realizada em apenas um dia.

3.3 TESTE DE VERIFICAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO CRUZADA.

Para avaliar a contaminação cruzada de outras matérias-primas, cada amostra coletada foi submetida a reação com ácido clorídrico (1:1) para verificar a contaminação de Calcário, e com indicador de fenolftaleína para avaliar a presença de Barrilha. Para

isto, foram pesados 100 gramas das amostras e submetidas aos testes individualmente.

A presença de Calcário é positiva quando há liberação de gases, sendo observado a formação de bolhas na superfície. A contaminação de Barrilha é visível com a mudança de cor na amostra, pois a fenolftaleína passa de incolor para rosa-choque.

3.4 ANÁLISE DE CORDAS

As cordas foram avaliadas em um microscópio polarizador da MICROTEC, Figura 11. Durante o período do estudo, duas vezes por dia, as amostras foram coletadas diretamente nas linhas de produção, após o recozimento e inspeção. Desta forma, uma amostra por linha, totalizando 8 amostras por dia.

Por especificação da empresa, a rejeição das embalagens com corda deve ocorrer quando atingir os valores acima de 300 PSI (pressão). Para fins de controle, a unidade em que o estudo foi realizado não ocorre este tipo de defeito no processo, sendo assim, qualquer surgimento de cordas pode ser atribuído ao uso do resíduo no processo.

Figura11: Microscópio polarizador da MICROTEC.



Fonte: o autor (2024)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

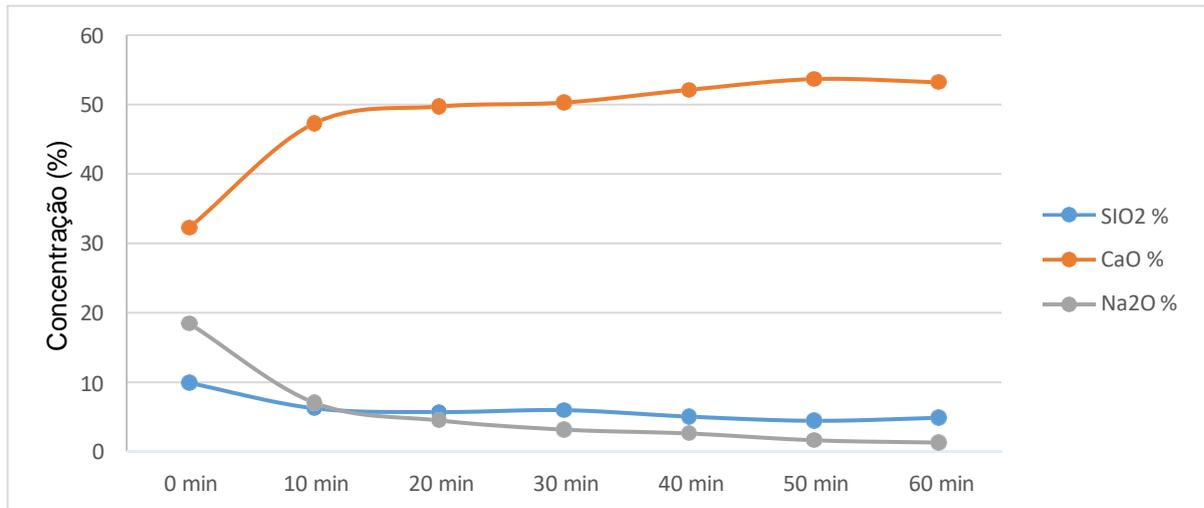
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

Os resultados obtidos na análise química para o resíduo coletado durante o descarregamento do calcário estão dispostos na Tabela 1, em teor (%) para uma amostra contendo 10 gramas do resíduo. Os dados a seguir são uma média dos teores encontrados nas amostras, os valores individuais para cada amostra estão dispostos no Apêndice A.

Tabela 1: Análise química do resíduo do calcário, Agosto/2023.

Componente (%)	T= 0 (min)	T= 30 (min)	T= (60 min)	Padrão
SiO ₂	8,50	5,25	4,50	2,10
CaO	37,95	51,85	53,64	55,32
MgO	4,43	5,57	5,94	0,82
Na ₂ O	13,17	2,21	1,24	0,17
Al ₂ O ₃	1,81	0,93	0,71	0,15
Fe ₂ O ₃	0,21	0,24	0,24	0,81
SrO	0,13	0,15	0,16	0,11
K ₂ O	0,39	0,18	0,15	0,00
TiO ₂	0,02	0,02	0,03	0,01

É possível perceber que com o passar do tempo a contaminação por outras matérias-primas passa a ser menor, o SiO₂ representa 8,51 % da amostra e reduz para 4,50% após a primeira coleta, assim como Na₂O que estava 13,17% e ao final os passa a ser 1,24%. Também é possível notar o aumento da concentração do CaO de 37,95% para 53,64%, mostrando a maior predominância do calcário ao longo do tempo. A curva de contaminação obtida para o calcário durante o recebimento está apresentada na Figura 12.

Figura12: Curva de contaminação ao longo do tempo para calcário.

Fonte: o autor (2024)

A redução da contaminação diferentemente do que foi esperado, começa logo nos primeiros 10 minutos em que se inicia o despoeiramento do calcário com um aumento rápido da concentração do CaO seguido da estabilização em concentrações acima de 50%. Para o Na₂O a redução foi de aproximadamente 20% para teores abaixo de 2%, mostrando que a contaminação por barrilha no sistema é baixa, já a SiO₂ a redução foi menos acentuada ao longo de tempo, com a concentração variando pouco. Segundo Sampaio e Almeida (2005, p 348) a composição química de calcários calcíticos é acima de 55% de CaO, esta mesma concentração também é considerada ideal para a produção de vidros do tipo soda-cal. (FREAS, 1994).

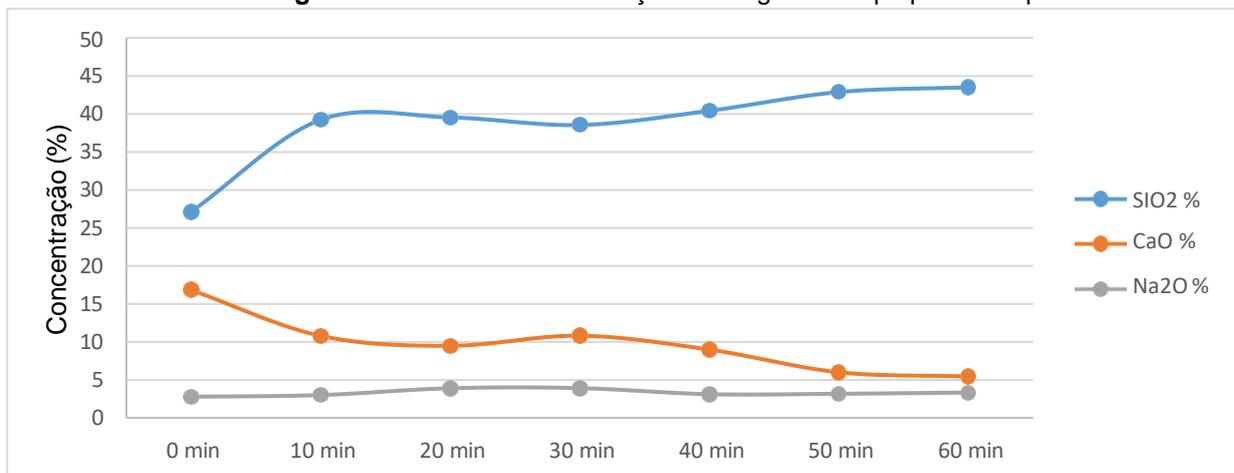
Babisk (2009) obteve vidros do tipo soda-cal, na utilização de resíduos de rochas solicitadas e carbonatadas, segundo o autor, os resultados foram equivalentes à de vidros encontrados no comércio, apesar da concentração baixa concentração de CaO (53,8%) na matéria-prima utilizada, isso revela que apesar de ser um resíduo industrial, o material obtido do despoeirador possui composição próxima de matérias-primas virgens, com isso, tem pouco impacto na diminuição da qualidade final do vidro.

Em relação ao resíduo obtido durante o descarregamento do feldspato, os resultados estão contidos na Tabela 2. Assim como na Tabela 1, o resultado está em teor (%). Os resultados individuais para cada amostra estão dispostos no Apêndice B.

Tabela 2: Análise química do resíduo do feldspato, Agosto/2023.

Componente (%)	T= 0 (min)	T= 30 (min)	T= (60 min)	Padrão
SiO ₂	27,62	43,93	44,86	64,40
CaO	23,14	4,90	3,80	1,32
MgO	1,63	0,46	0,37	0,28
Na ₂ O	3,69	3,52	3,69	3,68
Al ₂ O ₃	6,69	10,22	10,52	14,22
Fe ₂ O ₃	0,32	0,33	0,29	0,21
SrO	0,04	0,01	0,01	0,01
K ₂ O	2,29	3,16	2,91	1,15
TiO ₂	0,00	0,00	0,02	0,01

Ao contrário o que ocorreu com o resíduo do calcário, em relação a CaO houve uma redução significativa de 23,14% para 3,80%. Esta diminuição mostra que o sistema do despoeiramento é autolimpante acumulando baixas concentrações dos descarregamentos anteriores, isso também pode ser afirmado observando o aumento da SiO₂ e Al₂O₃ principais componentes do feldspato indo de 27,62% para 44,86% e de 6,69% para 10,52% respectivamente. A curva de contaminação obtida para o feldspato durante o recebimento está apresentada na Figura 13.

Figura13: Curva de contaminação ao longo do tempo para feldspato

Fonte: o autor (2024)

A redução da contaminação, assim como no calcário, também começa logo nos primeiros 10 minutos em que se inicia o despoeiramento do feldspato, com um rápido aumento da concentração do SiO₂ seguido da estabilização em concentrações acima de 40%. Para o Na₂O não houve variação significativa na concentração, variando com teores abaixo de 5% mostrando que a contaminação por barrilha no sistema não é considerável durante o transporte do material para os silos, já o CaO a redução foi mais relevante, saindo da concentração de 17% para aproximadamente 5%. A

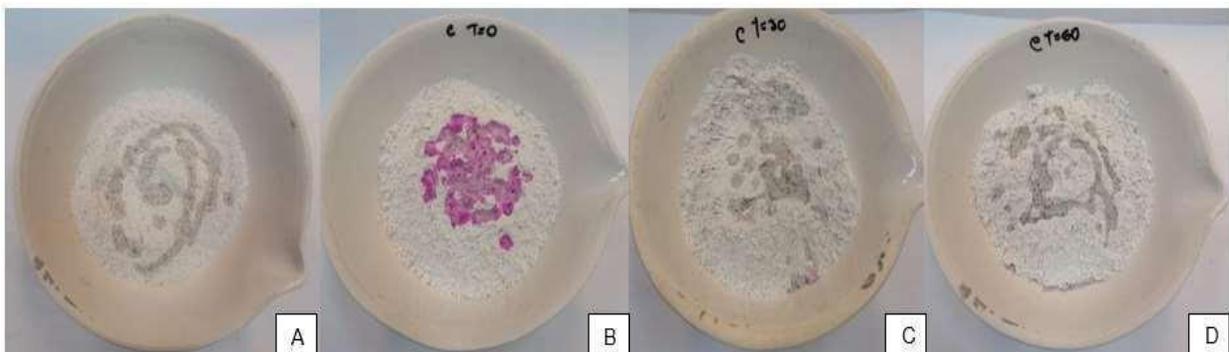
presença do CaO em maior concentração se comparado com o Na₂O, é devido a ordem de descarregamento das matérias-primas sendo o calcário o antecessor do feldspato e a barrilha por último.

Segundo Luz e Coelho (2005, p 423) as especificações de feldspatos sódicos para a produção de vidros sodo-cal são de 9,54% para Na₂O, 67% de SiO₂ e 19 % Al₂O₃. Os valores obtidos estão abaixo do considerado ideal, os efeitos na qualidade possivelmente serão imperceptíveis pois a quantidade de resíduos reutilizado representa menos de 1% da matéria-prima virgem. Alfonso e colaboradores (2020) também encontram resultados semelhantes para teores de Al₂O (11%) e Na₂O (2,46%) e obtiveram vidros com qualidade comercial a partir de resíduos de mineração de fluorita.

4.2 TESTE DE VERIFICAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO CRUZADA.

Com as mesmas amostras coletadas para o teste de análise química, foi pesado aproximadamente 100 gramas, em capsulas de porcelanas, e submetido ao teste para verificação visual da contaminação cruzada com outras matérias-primas durante o descarregamento. Na Figura 14, estão os resultados referentes aos resíduos coletados durante o descarregamento do calcário. A fenolftaleína foi utilizada como reagente para verificar a presença de barrilha.

Figura 14: Reação com indicador, (A) Padrão de calcário; (B) calcário em T= 0 min; (C) calcário em T= 30 min; (D) calcário em T= 60 min.

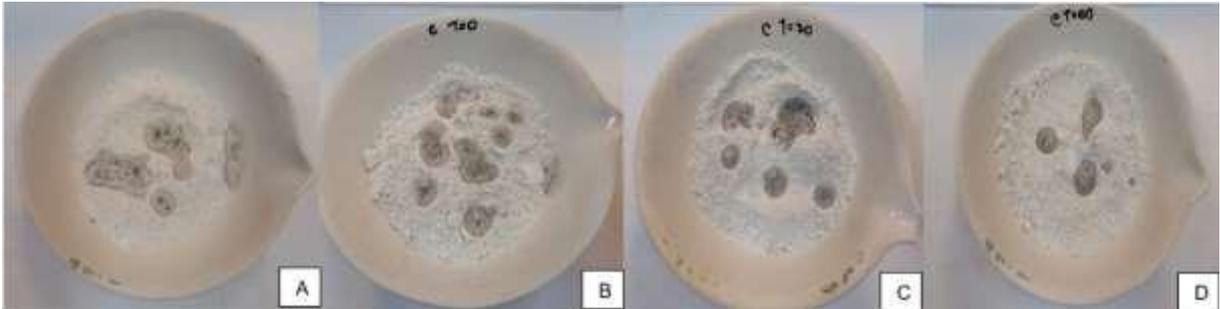


Fonte: O autor (2024)

A presença de barrilha foi identificada apenas na Figura 14 B, o resultado confirma que o foi obtido na análise química em que houve a redução ao longo do tempo do Na₂O.

Para a reação com o ácido clorídrico (1:1) que confirma a presença de calcário na amostra, os resultados estão apresentados na figura 15.

Figura 15: Reação com ácido. (A) Padrão de calcário; (B) calcário em T= 0 min; (C) calcário em T= 30 min; (D) Resíduo calcário em T= 60 min.

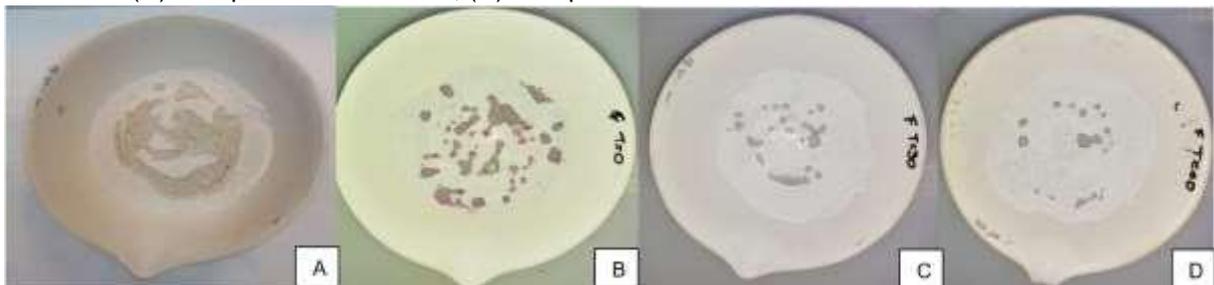


Fonte: O autor (2024)

A reação do ácido com o CaO libera o gás CO_2 como um dos produtos, formando bolhas ou “furos” na superfície das amostras, a reação ocorreu em todas as amostras testadas. Este teste também confirma o que foi encontrado na análise química em relação ao aumento do CaO ao longo do tempo.

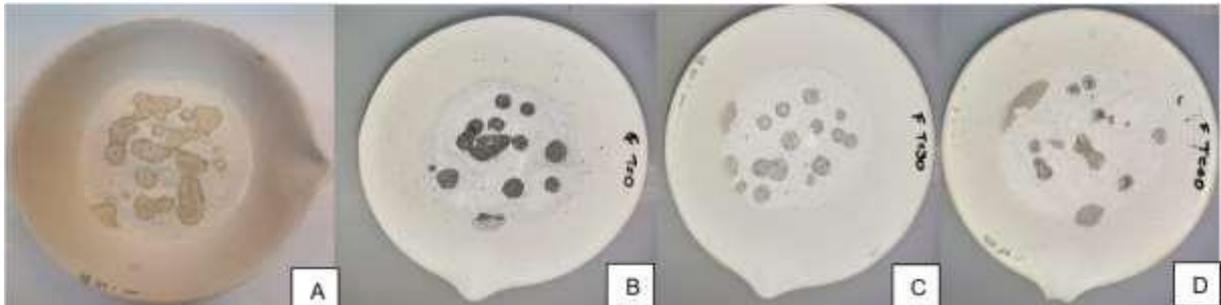
Para os testes com resíduo do feldspato, foram utilizados os mesmos reagentes de análise da contaminação cruzada e os resultados estão nas figuras 16 e 17.

Figura 16: Reação com indicador. (A) Padrão de feldspato; (B) feldspato em T= 0 min; (C) feldspato em T= 30 min; (D) feldspato em T= 60 min.



Fonte: O autor (2024)

Figura 17: Reação com ácido. (A) Padrão de feldspato; (B) feldspato em T= 0 min; (C) feldspato em T= 30 min; (D) feldspato em T= 60 min.



Fonte: O autor (2024)

Assim como no calcário, os testes com reagentes confirmam a presença de barrilha na primeira amostra, mas com menor intensidade, isto pode estar associado a algum desprendimento encrustado nas superfícies do sistema do despoeirador que ao ser ligado se desprende e mistura-se ao que está sendo aspirado. Pode-se considerar a presença do calcário em todas as amostras, apesar disto, foi visível durante a realização do teste uma menor quantidade de bolhas formadas nas últimas amostras, indicando menor concentração de CaO assim como mostrou a análise química.

4.3 ANÁLISE DE CORDAS

Durante o período em que o estudo foi realizado, foram executados ensaios por 8 dias consecutivos, nas 4 Linhas de produção, e os resultados obtidos para a análise de cordas (PSI) foi ausente para o defeito.

Os resultados mostram que a adição dos resíduos do despoeirador nas matérias-primas virgens, não é suficiente para causar defeitos relacionados a composição do vidro, não alterando a qualidade das embalagens com o surgimento de cordas, mantendo o histórico da fábrica de “cordas zero” e reputação para seus clientes, além do exemplo para as demais unidades fabris da empresa na produção de embalagens com qualidade.

4.4 ECONOMIA ALCANÇADA COM O PROJETO

Para estimar a redução do custo na compra de calcário e feldspato alcançado pelo projeto, inicialmente foi necessário encontrar a vazão de saída do despoeirador, pois não foi encontrado a vazão teórica no manual do equipamento, de forma experimental foram encontradas vazões médias para o calcário e feldspato de 9 Kg/min e 9,46 Kg/min, respectivamente. As vazões foram encontradas fixando o tempo de 1 minuto e pesando o conteúdo despoeirado em um balde de 15 litros, o teste foi realizado em triplicata para cada material analisado.

Com a vazão em mãos, tomando como base de cálculo que é necessário cerca de 55 minutos para transportar 60 toneladas de calcário e feldspato do local do descarregamento até os respectivos silos, tal informação foi fornecida pelos operadores da fábrica que operam o sistema diariamente. Calculou-se a quantidade de resíduo despoeirado para 60 toneladas de matéria-prima virgem, sendo de 495 Kg para o calcário e 525 Kg para o feldspato, estes valores foram obtidos em (1) e (2). Os valores encontrados em (3) e (4) representam 0,83 % de resíduo é gerado para cada tonelada de calcário transportado, e 0,87 % de resíduo é gerado para cada tonelada de feldspato transportado.

$$9,0 \text{ (kg/ min)} * 55 \text{ (min)} = 495\text{kg de resíduo de calcário.} \quad (1)$$

$$9,46 \text{ (kg/ min)} * 55 \text{ (min)} = 525\text{kg de resíduo de feldspato.} \quad (2)$$

$$\left(\frac{0,495 \text{ t}}{60 \text{ t}}\right) * 100\% = 0,83\% \text{ resíduo/ t de cal.} \quad (3)$$

$$\left(\frac{0,525 \text{ t}}{60 \text{ t}}\right) * 100\% = 0,87\% \text{ de resíduo/ t de feld} \quad (4)$$

Foi tomando como base a quantidade em toneladas de calcário e feldspato descarregados, nos meses de março, abril e maio de 2023. Os volumes recebidos, em toneladas, de calcário estão na Tabela 4 e para feldspato estão na Tabela 5. planta possui três fornecedores de calcário e dois de feldspato, ambos materiais são classificados em relação a qualidade, por análise química em fluorescência de raio-x, em tipo 1 e tipo 2.

Tabela 3: Quantidade de calcário recebido em toneladas (2023)

Mês	Fornecedor	Tipo 1	Tipo 2	Total 1	Total 2
Março	A	1.410	0	1.698	948
	B	288	288		
	C	0	660		
Abril	A	1.200	0	1.596	1.110
	B	396	540		
	C	0	570		
Maio	A	1.200	0	1.542	1.162
	B	342	738		
	C	0	690		

Tabela 4: Quantidade de feldspato recebido em toneladas (2023)

Mês	Fornecedor	Quantidade recebida	Total
Março	A	1.020	1.680
	B	660	
Abril	A	510	1.410
	B	600	
Maio	A	720	1.560
	B	840	

A média de recebimento para os três meses de calcário tipo 1 e 2 foi de 1.612 t e 1.162 t, respectivamente. Para o feldspato foi de 1.550 t.

Em seguida, utilizando a média de recebimento para três meses foi possível estimar o volume de resíduo para 12 meses, os resultados estão na Tabela 6. Os valores foram cálculos a partir de (5) e (6).

$$\text{Média recebida de calcário (t)} * 0,83\% * 12 = \text{Quantidade de resíduo} \quad (5)$$

$$\text{Média recebida de feldspato (t)} * 0,87\% * 12 = \text{Quantidade de resíduo} \quad (6)$$

Tabela 5: Quantidade resíduo estimado para 12 meses (2023) em toneladas.

Mês	Matéria-prima	Tipo 1	Tipo 2
12 meses	Calcário	160.55	116.00
	Feldspato	162.00	-

Ambos os materiais classificados em tipo 1 e tipo 2 possui valores diferentes para compra pois tem qualidades diferentes, sendo o tipo 1 de melhor qualidade e o tipo 2 de menor qualidade, os preços aplicados na compra e a economia estimada na compra de duas matérias-primas virgens de calcário e feldspato em reais estão na

Tabela 7. O custo do valor por tonelada é aplicado pela própria empresa, os valores foram cálculos por (7) e (8).

$$\text{Resíduo calcário anual (t)} * \text{valor por tonelada} = \text{economia na compra} \quad (7)$$

$$\text{Resíduo feldspato anual (t)} * \text{valor por tonelada} = \text{economia na compra} \quad (8)$$

Tabela 6: Valor por tonelada e economia na compra de calcário e feldspato (2023)

Matéria-prima	Valor de compra		Economia alcançada	
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 1	Tipo 2
Calcário	R\$340/ton	R\$180/ton	R\$54.588,76	R\$20.880,00
Feldspato	R\$551/ton	-	R\$ 89.162,82	-

A economia total estimada por ano na compra de calcário e feldspato virgem é de R\$ 164.631,58, o valor representa uma economia de menos de 1% dos aproximadamente R\$ 19.335.480,00 gastos anualmente com calcário e feldspato virgem, apesar do valor ser pouco expressivo de forma percentual, o valor absoluto pode ser usado como investimento em outros projetos, além disso, a utilização do resíduo contribui com a redução de custos em toda a cadeia produtiva, mas a principal contribuição é a redução do impacto ambiental desde da diminuição da extração de matérias-primas até a obtenção de vidros ecologicamente corretos.

A discussão em relação ao impacto ambiental causado pelas indústrias é um dos assuntos mais abordados nas últimas décadas nas assembleias do clima promovidas pela Organização das Nações Unidas (ONU), como um apelo global, os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) são ações para acabar com problemas crônicos na sociedade em esfera global e é um compromisso que precisa atendido por instituições públicas e privadas, entre eles está a proteção do meio ambiente e do clima. (ONU, 2023)

Entre as 17 ODS, 3 foram alcançadas pelo projeto que são:

- Indústria, inovação e infraestrutura; mudanças precisaram ser feitas para atender as novas condições de produção do vidro, com a instalação de desvios para que o resíduo captado seja misturado as matérias-primas durante o abastecimento dos silos.

- Consumo e produção responsáveis; com a utilização do resíduo o impacto causado pela produção do vidro passa ser menor, as matérias-primas são mais bem aproveitadas durante o processo de abastecimento dos silos.
- Ação contra a mudança global do clima; a diminuição da pegada de carbono, com a menor necessidade de extração de matérias-primas virgens, menos gases que contribuem com as mudanças no clima são lançados na atmosfera durante a extração e transporte do material.

Outra contribuição ambiental alcançada, está na diminuição da necessidade de extração de matérias-primas, Silva, Oliveria e Santos (2023) concluíram que a atividade de mineração de calcário no semiárido do Rio Grande do Norte, causou a degradação e exaustão do solo nas áreas de extração, além da mudança na paisagem local devido a ação antrópica na construção de estradas, impacto negativo na saúde da comunidade que habita nas proximidades das instalações da pedreira, devido a poeiras geradas com a detonação de explosivos e a operação.

Com a incorporação do resíduo na produção do vidro, há uma redução na geração de resíduos na fonte, não sendo necessário tratamentos conhecidos como técnicas de fim-de-tubo, onde são tratados os resíduos apenas no fim do processo de produção, mas sim, aplicando uma produção mais limpa (P+L) focando em não gerar o resíduo em detrimento de tratar o que foi gerado.

Segundo Oliveira (2013) P+L são práticas de prevenção na produção de resíduos como : a mudança de tecnologias, substituição de matérias-primas, modificação do produto, processo ou ciclo de vida, possibilitando a redução de custo nas empresas com matéria-prima e com produção.

Produtos feitos integralmente ou parcialmente com resíduos podem ter o marketing verde como uma ferramenta para atrair clientes e investidores que buscam produtos mais sustentáveis e ambientalmente corretos, além de criar um produto com diferencial em relação a concorrência e ganhando credibilidade no mercado agregando valor na marca. (GUEDES,2021).

Após aplicação do projeto, a empresa em que o estudo foi realizado, conseguiu a certificação da ISO 14001, pois reduzir os impactos ambientais nos processos é um

dos critérios exigidos para a certificação, alguns benéficos podem ser alcançados na implementação do sistema de gestão ambiental (SGA) como: maior satisfação dos clientes com a aquisição de produtos ambientalmente corretos, conquistar novos mercados e possibilitando exportações, reduzindo risco com penalidades legais em relação a leis ambientais. (GEREMIAS, 2023)

5 CONCLUSÃO

Com o estudo foi possível verificar que a incorporação dos resíduos minerais, não alteraram a qualidade dos vidros produzidos constatado através das análises de cordas em que foi verificado a ausência do defeito, garantindo a qualidade do vidro obtido.

A análise química do resíduo para os dois materiais analisados obteve redução da contaminação significativa de 50% na sílica contida nas amostras do resíduo de calcário, já para o feldspato a redução do óxido de cálcio foi mais de 80%, com isso não há alterações significativas na composição final do vidro obtido.

Com a estimativa de mais de 300 toneladas de resíduo reutilizado em um ano, a economia na compra de matéria-prima virgens que pode ser alcançada é de R\$ 164.631,58, apesar de representar menos de 1% de redução do custo anual, outros benefícios também puderam ser alcançados com o estudo:

- Melhora na ergonomia para os operadores, com a captura do pó o ambiente de trabalho passa ser mais agradável, também diminuindo os riscos de doenças respiratórias como a silicose.
- Redução do custo com o descarte adequado que se fazia necessário antes do início do estudo.
- Ganho financeiro com a produção de vidro feito parcialmente de resíduo.
- Menor impacto ambiental com a extração de matéria-prima.

6 REFERÊNCIAS

ABIVIDRO. **VIDRO: O RESÍDUO INFINITAMENTE RECICLÁVEL**. Associação Brasileira de vidro. São Paulo. fevereiro. 2017. Disponível em: <<https://abividro.org.br/2019/02/07/vidro-o-residuo-infinitamente-reciclavel/#:~:text=O%20vidro%20%C3%A9%20infinitamente%20recicl%C3%A1vel>> . Acesso em: 3 jul. 2023.

ABCERAM. **O que é vidro?** [Vídeo online]. You Tube, 2019 .Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=hd34F8niq-I&list=PLeNFqL6WLZSeP4q3xtuT2NnyCxtQGNxZk&index=2>> . Acesso em: 5 jul. 2023.

AGRADMIN. **Defeito do Mês**. Estados Unidos. Março. 2020 Disponível em: <https://americanglassresearch.com/library/defect?page=9>. Acesso em: 10 jul. 2023.

ALEIXO, F.C; BALLMANN. T. J. S; FOLGUERAS. M. V; JUNKES. J. A; DELLA. V. P. **DESENVOLVIMENTO DE VIDROS SODO-CÁLCICOS A PARTIR DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS**, v. 62, n. 364, pág. 358–364, dez. 2016.

ALFONSO, P; TOMASA. O; DOMENECH. M.L; VALLES; M.G; MARTINEZ. S; ROCA. N. **O Uso de Rejeitos para Fabricação de Vidro como Alternativa de Remediação Ambiental Sustentável: O Caso de Osor, Catalunha, Espanha**. Mineraiis, v. 10, n. 9, pág. 819, 16 conjuntos. 2020.

ALVES, O.L; GIMENEZ, I.F; MAZALI, I.O. **VIDROS**. Química Nova – Edição especial, maio. 2001.

ARANHA, N. **Fusão, refinamento e extrusão de vidros compostos para aplicações em fibras óticas**. 9 de agosto. 2021.

Autor desconhecido. **Conheça a origem do vidro e quais são os fabricantes de vidro plano no Brasil**. Revista vidro impresso. Janeiro.2023 Disponível em: <<https://vidroimpresso.com.br/noticia-setor-vidreiro/conheca-a-origem-do-vidro-e-quais-as-fabricantes-de-vidro-plano-no-brasil>>. Acesso em: 4 jul. 2023.

BABISK, M.P. **DESENVOLVIMENTO DE VIDROS SODO-CÁLCICOS A PARTIR DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS**. Dissertação (mestrado) – Instituto Militar de Engenharia – Rio de Janeiro, 2009.

BENUTTI, M.A.; SILVA, A.B. **Os vitrais em forma de rosáceas da Catedral de Notre Dame de Paris**. Anais do Congresso Mundial de Comunicação e Artes, v. 7, n. 1, pág. 140- 143, 2014.

BESSANT, J.; CAFFYN, S.; GALLAGHER, M. **An evolutionary model of continuous improvement behavior**. *Technovation*, v. 21, p. 67-77, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0166-4972\(00\)00023-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0166-4972(00)00023-7).

BHUIYAN, N.; BAGHEL, A. WILSON, J. **A sustainable continuous improvement methodology at an aerospace company**. *International Journal of Productivity and Performance Management*. v. 55, n. 8, p. 671-687, 2006.

CONTE, F.G.R. **Análise da Implantação de uma Fábrica de Vidros Planos no Nordeste do Brasil com a Aplicação de Teoria das Opções Reais**. Dissertação (mestrado economia) – Programa de pós-graduação em economia- PIMES, UFPE, Recife, 2011.

CHUD, V. L.; OSORIO, J. C.; PEÑA, C. C. **Modelo multicriterio como soporte la gestión de residuos de vidrio en una cadena de suministro de ciclo cerrado**. *Revista ESPACIOS*, v. 39, n. 22, 31 maio 2018.

DA SILVA, W.; FILGUEIRAS, C. **O VIDRO E SUA IMPORTÂNCIA NA VIDA E NA QUÍMICA**. *Química Nova*, 2023.

ESCOBAR, L.H; PÉREZ, J.F. **Modelo de otimização do planejamento e programação da produção: um estudo de caso para uma empresa de embalagens de vidro**. *Annals of Operations Research*, v. 286, n. 1-2, pág. 529–543, 27 nov. 2018.

FURLAN, L.O. **Lixo industrial gera renda quando o manejo é feito em rede**. *Jornal da USP*. USP, Ribeirão Preto. Janeiro, 2017. Disponível em:

<https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-humanas/lixo-industrial-gera-renda-quando-manejo-e-feito-em-rede/#:~:text=Ap>

%C3%B3s%20a%20revolu%C3%A7%C3%A3o%20industrial %20houve>. Acesso em: 2 jul. 2023.

FM2S. **Ciclo PDCA: o que é, etapas e como aplicar**. Disponível em: <https://www.fm2s.com.br/blog/o-que-e-o-ciclo-pdca/amp?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAnfmsBhDfARIsAM7MKi01IPRCtniyvnHO2pqLackwz-jjm758nS4FAOeZVd6-jGs0A8ZwKwAaAqpAEALw_wcB>. Acesso em: 10 jan. 2024.

FREAS, R. C. **Industrial Minerals and Rocks**. Society of Mining, Engineers, Littleton, Colorado. 1994.

GEREMIAS, J. **ISO 14001: O que você precisa saber sobre a Norma**. Disponível em: <<https://blogdaqualidade.com.br/iso-14001-o-que-voce-precisa-saber-sobre-a-norma/>>. Acesso em: 30 jan. 2024.

Google imagem, **Espectrômetro de raio-X, Epsilon 4, Panalytical**. Disponível em: <<https://www.directindustry.com/pt/prod/malvern-panalytical/product-14669-1949907.html>>. Acesso em: 17 jul., 2023.

GRAYHURST, P. **Glass packaging**. Packaging Technology, p. 109–121, 2012.

GUEDES, I. **Marketing Verde: o que é, como usá-lo e exemplos de empresas**. Disponível em: <<https://meiosustentavel.com.br/marketing-verde/>>. Acesso em: 30 jan., 2024.

HORNBURG, S. **Método para Eventos Gemba Kaizen. 2009. 76f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção)**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 2009.

IMAI, M. **Kaizen: A Estratégia para o Sucesso Competitivo**. 5. ed. São Paulo: IMAM, 1994.

LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Diário oficial da união, Brasília, 2 de agosto de 2010.

LUZ, A. B.; COELHO, J. M. **Feldspato**. In: LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. (org.). Rochas e minerais industriais: usos e especificações. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005.

OLIVEIRA, G.C.N; SOUZA. M.T.S; SILVA. D; SILVA. L.A. **Avaliação das vantagens ambientais e impulsionadoras da implantação da logística reversa no setor de vidros impressos.** Ambiente & Sociedade, v. 17, n. 3, pág. 199–220, conjunto. 2014.

OLIVEIRA, F.R. **Produção mais limpa no contexto da sustentabilidade. oportunidades em uma indústria moveleira de Contagem/MG.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto/MG. p.101. 2013

ONU (Organização das Nações Unidas). **A gestão dos resíduos sólidos é fundamental para o desenvolvimento sustentável da América Latina.** Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/175171-gest%C3%A3o-dos-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos-%C3%A9-chave-para-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel-da-am%C3%A9rica-latina>>. Acesso em: 2 jul. 2023.

ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável | As Nações Unidas no Brasil.** Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 30 jan. 2024.

PAIXÃO, J.F. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Industriais.** Relatório de pesquisa – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, Brasília, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7668/1/RP_Diagn%C3%B3stico_2012.pdf>. Acesso em: 2 jul. 2023.

RAMOS, K. DA S. **Vidro a partir de resíduos de mineração.** www.monografias.ufop.br , 2021.

RAVINDER, R.; KUMAR, R.; AGARWAL, M.; KRISHNAN.M.A. **Evidência de uma transição vítrea bidimensional no grafeno.** insights de simulações moleculares. v. 9, n. 1, 14 mar. 2019.

SAINT-GOBAIN. **A indústria do vidro e meio ambiente Evolução, obrigações e oportunidades.** Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 35.p. 155-163 (1996).

SAMPAIO, J. A ; ALMEIDA, S. L. M. **Calcário e Dolomito.** In : LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. (org.). Rochas e minerais industriais: usos e especificações. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005.

SILVA, G. C. E. **Redução nas emissões de CO₂ em função de tecnologias aplicadas à fusão de vidros soda-cal-sílica**. repositorio.ufscar.br, 20 abr. 2022.

SILVA, P.R. **TECNOLOGIA DO VIDRO**. BRASIL. 1998.

SILVA, R.L; OLIVEIRA, A.M; SANTOS, E.J. **Impactos ambientais causados pela extração de calcário em comunidade rural do semiárido potiguar**. p. 893–909, 20 out. 2023.

SINIR. **Relatório Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos 2019**. Ministério do Meio Ambiente. Brasil, agosto de 2021.

SINGH, S.; RAMAKRISHNA, S.; GUPTA, M.K. **Rumo à fabricação de desperdício zero: uma revisão multidisciplinar**. Journal of Cleaner Production, v. 168, p. 1230–1243, dez. 2017.

SPÍNOLA, D.C.S. MIRANDA. A; MACEDO. D.A; PASKOCIMAS. C.A; NASCIMENTO. R.M. **Preparação de materiais vitrocerâmicos utilizando caulim e resíduos de perfuração de poços de petróleo**. Journal of Materials Research and Technology, v. 8, n. 4, pág. 3459–3465, 1 jul. 2019.

SYDLE. **Ciclo PDCA: quais são as etapas e como funciona?**Disponível em: <<https://www.sydle.com/br/blog/ciclo-pdca-6019c634725a6426834decea>>. Acesso em: 8 jan. 2024.

TARRAGO.M; ROYO.I; MARTÍNEZ. S; VALLES. M.G; NEUVILLE.D.R **Incorporação de cálcio em vidros: uma chave para entender a vitrificação de lodo de esgoto**. Journal Of Applied Glass Science. v. 12, n. 3, pág. 367–380, 12 de maio de 2021.

TAYEBI-KHORAMI, M; EDRAKI. M; CORDERE. G; GOLVE.A. **Repensando os Resíduos da Mineração por meio de uma Abordagem Integrativa Liderada por Aspirações de Economia Circular**. Mineraiis, v. 9, n. 5, pág. 286, 10 de maio de 2019.

VILLELA, A. Vidro: **propriedades do material e tecnologias de produção**. Dossiê técnico. UNB, definido. 2007.

APÊNDICE A – ANÁLISE QUÍMICA CALCÁRIO RESÍDUO

COLETA	AMOSTRA	SiO ₂ %	CaO %	MgO %	Na ₂ O %	Al ₂ O ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	SrO %	K ₂ O %	TiO ₂ %
DIA 1	CT=0	11,514	28,469	3,914	19,039	2,817	0,185	0,096	0,516	0,024
	CT=30	6,156	49,888	7,900	1,238	0,813	0,281	0,181	0,16	0,034
	CT=60	4,825	51,647	7,766	1,127	0,648	0,247	0,18	0,132	0,03
DIA 2	CT=0	5,964	50,569	6,996	1,511	0,925	0,266	0,176	0,203	0,029
	CT=30	4,114	56,170	4,392	0,559	0,875	0,234	0,113	0,142	0,030
	CT=60	3,386	57,214	4,432	0,458	0,646	0,225	0,113	0,107	0,033
DIA 3	CT=0	7,867	48,616	1,556	5,885	1,751	0,21	0,188	0,522	0,030
	CT=30	3,237	57,190	1,236	2,563	0,784	0,178	0,092	0,205	0,024
	CT=60	3,317	58,952	1,291	1,731	0,806	0,186	0,093	0,197	0,027
DIA 4	CT=0	8,568	28,442	4,222	22,743	1,896	0,202	0,098	0,422	0,021
	CT=30	7,311	46,917	5,836	4,442	1,421	0,270	0,201	0,226	0,031
	CT=60	5,461	50,068	7,823	1,852	0,762	0,288	0,187	0,17	0,037
DIA 5	CT=0	7,243	39,324	6,8	11,317	1,335	0,221	0,13	0,26	0,025
	CT=30	5,444	49,091	8,513	2,259	0,743	0,26	0,161	0,161	0,025
	CT=60	5,15	50,766	8,334	0,977	0,799	0,272	0,171	0,162	0,029
DIA 6	CT=0	9,901	32,256	3,109	18,475	2,136	0,161	0,127	0,45	0,02
	CT=30	5,986	50,285	5,685	3,178	0,829	0,228	0,228	0,199	0,033
	CT=60	4,876	53,203	6,015	1,304	0,624	0,22	0,217	0,163	0,024

APÊNDICE B – ANÁLISE QUÍMICA FELDSPATO RESÍDUO

COLETA	AMOSTRA	SiO ₂ %	CaO %	MgO %	Na ₂ O %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	SrO %	K ₂ O %	TiO ₂ %
13/jul	F T=0	22,609	32,137	1,863	2,937	4,83	0,387	0,044	1,756	0,036
	F T=30	46,32	3,872	0,393	3,287	9,754	0,426	0,007	2,539	0,023
	F T=60	42,86	6,966	0,634	3,743	9,384	0,447	0,013	2,54	0,027
17/jul	F T=0	34,408	16,658	2,168	2,338	7,761	0,364	0,036	2,859	0,023
	F T=30	46,057	2,562	0,29	2,697	10,516	0,285	0,007	4,223	0,018
	F T=60	47,388	1,899	0,258	2,333	11,235	0,218	0,010	4,097	0,015
25/ago	F T=0	36,826	7,825	0,83	9,107	8,704	0,41	0,033	2,828	0,033
	F T=30	46,806	0,868	0,138	3,787	11,363	0,186	0,004	3,309	0,012
	F T=60	47,404	0,650	0,087	3,795	11,13	0,165	0,004	3,227	0,010
23/ago	F T=0	29,696	24,076	1,126	2,842	7,167	0,189	0,029	1,478	0,016
	F T=30	45,88	3,098	0,235	3,87	11,131	0,200	0,007	2,068	0,014
	F T=60	47,125	1,391	0,147	3,928	11,587	0,195	0,005	2,115	0,014
24/ago	F T=0	15,051	41,346	3,054	2,162	3,200	0,298	0,128	1,346	0,03
	F T=30	40,14	8,154	0,994	3,575	9,522	0,542	0,021	3,616	0,039
	F T=60	43,408	4,537	0,603	3,695	10,533	0,337	0,012	3,461	0,025
29/ago	F T=0	27,101	16,821	0,712	2,769	8,413	0,284	0,019	3,474	0,028
	F T=30	38,535	10,802	0,700	3,902	9,029	0,360	0,019	3,239	0,028
	F T=60	43,499	5,439	0,396	3,322	9,98	0,321	0,011	3,626	0,026