



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

PAULO ROBERTO DOS SANTOS SOUZA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS FATORES DE PRODUÇÃO NA DETERMINAÇÃO
DA COR FLINT EM EMBALAGENS DE VIDRO**

Recife

2023

PAULO ROBERTO DOS SANTOS SOUZA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS FATORES DE PRODUÇÃO NA DETERMINAÇÃO
DA COR FLINT EM EMBALAGENS DE VIDRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Coordenação do Curso de Graduação de
Química Industrial da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial à obtenção
do grau de Bacharel em Química Industrial.

Orientador: Profa Dra Yeda Medeiros Bastos de
Almeida

Recife

2023

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

Souza, Paulo Roberto Dos Santos.

Estudo da influência dos fatores de produção na determinação da cor flint em embalagens de vidro / Paulo Roberto Dos Santos Souza. - Recife, 2023.
33 p.

Orientador(a): Yeda Medeiros Almeida

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Química Industrial - Bacharelado, 2023.

1. Cor. 2. Embalagens. 3. Fabricação. 4. Flint. 5. Incolor, Vidro. I. Almeida, Yeda Medeiros. (Orientação). II. Título.

680 CDD (22.ed.)

PAULO ROBERTO DOS SANTOS SOUZA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS FATORES DE PRODUÇÃO NA DETERMINAÇÃO
DA COR FLINT EM EMBALAGENS DE VIDRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Coordenação do Curso de Graduação Química
Industrial da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial à obtenção
do grau de Bacharel em Química Industrial.

Aprovado em: 29/09/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof.(a) Dr.(a) Yeda Medeiros Bastos de Almeida (Orientadora)

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE



Documento assinado digitalmente
ANTONIO DEMOSTENES DE SOBRAL
Data: 24/11/2023 08:15:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Antônio Demóstenes de Sobral (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE



Documento assinado digitalmente
MICHELLE FELIX DE ANDRADE
Data: 02/12/2023 18:23:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.(a) Dr.(a) Michele Felix de Andrade (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

DEDICATÓRIA

“A minha esposa, meus pais, irmã e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.”

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, pois sem ele não teria chegado aonde cheguei.

A minha esposa Camilla que sempre me incentivou nos dias mais difíceis.

A minha mãe e meu pai que me possibilitaram, de diversas maneiras, o acesso ao conhecimento.

Aos demais familiares por me ajudarem tantas vezes durante meu caminho enquanto estudante.

Aos professores que me proporcionaram o conhecimento necessário para exercer a profissão a qual escolhi, em especial a minha orientadora Yeda Medeiros que me ajudou na construção desse trabalho.

Aos amigos que diariamente estavam comigo em sala de aula e me ajudaram durante o percurso, em especial a Aldo, Gabriel, Júlia, Maria Eduarda, Sergio.

A fábrica de vidro, pela confiança e pelo cuidado que tiveram comigo desde que entrei até os dias atuais, sempre me ensinando em vários momentos.

RESUMO

Na indústria de embalagens de vidro a cor Flint (ou incolor) desempenha um papel de destaque, pois é uma das cores mais procuradas e utilizadas, por sua capacidade de não interferir nas características organolépticas dos produtos armazenados, preservando o sabor, aroma e aparência original. A fábrica de vidro é líder mundial no segmento de embalagens de vidros. A indústria de embalagens de vidro desempenha um papel fundamental em diversos setores, como alimentos, bebidas e cosméticos, a fábrica de embalagens de vidro do nordeste é focada nessa produção de embalagens de vidros na cor Flint, âmbar, verde e em tamanhos de acordo com a necessidade do cliente. A fábrica de embalagens de vidro do nordeste teve em 2022 produção anual de 170.300 toneladas de vidro, onde 42,28% dessa produção foi da cor Flint, por ser a maior produção da planta, tem grande relevância de estudo e conhecer bem o produto, que tem características bem precisas e de fácil visualização pelos clientes quando há desvios do padrão, além disso a cor Flint por ser transparente e incolor atrai mais os consumidores por permitir a visualização do conteúdo interno das embalagens, o que também permite claramente notar quando ela está com alguma alteração de cor ou defeito, necessitando de um controle de qualidade mais rigoroso. Nesse contexto, esse trabalho visa compreender os fatores que influenciam no processo de fabricação da cor Flint, desde as matérias primas até o processo produtivo, uma vez que pequenas variações nessa tonalidade podem afetar significativamente a qualidade do produto, através dos resultados das análises de FRX e análises de cor via espectrofotômetro, conseguiu chegar aos principais fatores e matérias primas que impactam na produção, trazendo resultados significativos de redução de correção de cor na composição.

Palavras-chave: Cor. Embalagens. Fabricação. Flint. Incolor. Vidro.

ABSTRACT

In the glass packaging industry, Flint (or colorless) color plays a prominent role, as it is one of the most sought after and used colors, due to its ability not to interfere with the organoleptic characteristics of stored products, preserving the flavor, aroma and original appearance. . The glass factory is a world leader in the glass packaging segment. The glass packaging industry plays a key role in various sectors such as food, beverages and cosmetics, the northeast glass packaging factory is focused on this production of glass packaging in Flint, amber, green color and in sizes according to the customer's need. The northeast glass packaging factory had an annual production of 170,300 tons of glass in 2022, where 42.28% of this production was Flint color, as it is the largest production at the plant, it is of great importance to study and know the product well, which has very precise characteristics and is easy to see by customers when there are deviations from the standard, in addition, the Flint color, being transparent and colorless, attracts consumers more as it allows the internal content of the packaging to be seen, which also allows you to clearly notice when it is with any change in color or defect, requiring more rigorous quality control. In this context, this work aims to understand the factors that influence the Flint color manufacturing process, from raw materials to the production process, since small variations in this shade can significantly affect the quality of the product, through the results of XRF analyzes and color analysis via spectrophotometer, managed to reach the main factors and raw materials that impact production, bringing significant results in reducing color correction in the composition.

Keywords: Color. Packaging. Manufacturing. Flint. Colorless. Glass.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processo de produção de embalagens de vidro.....	15
Figura 2: Concentração de ferro presente no calcário em função dos dias de análises.....	24
Figura 3: Concentração de ferro presente no feldspato em função dos dias de análises.....	25
Figura 4: Concentração de ferro presente no vidro em função dos dias de análises.....	25
Figura 5: Gráfico de Hunter para análise de cor.....	26
Figura 6: Quantidade diária de vidro produzido em função dos dias de análises.....	28

SUMÁRIO

<u>1. INTRODUÇÃO.....</u>	<u>10</u>
<u>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</u>	<u>13</u>
2.1 O VIDRO.....	13
2.2. PROCESSO DE PRODUÇÃO DE EMBALAGEM DE VIDRO	13
2.3. EMBALAGENS DE VIDRO FLINT.....	15
2.4. MATÉRIA-PRIMA UTILIZADA NA PRODUÇÃO DE EMBALAGENS DE VIDRO FLINT	17
2.5. PROCESSO DE FABRICAÇÃO E TRATAMENTOS TÉRMICOS	18
2.5.1. FUSÃO E MOLDAGEM	18
2.5.2. TRATAMENTOS TÉRMICOS	18
2.6. CONTAMINAÇÕES E IMPUREZAS	19
2.7 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X (FRX).....	19
<u>3. METODOLOGIA</u>	<u>21</u>
3.1. COLETA DE DADOS.....	21
3.2. METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS -X (FRX).....	21
3.2.1. PREPARAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA	21
3.2.2. PREPARAÇÃO DO VIDRO.....	22
3.3. METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE COR POR ESPECTROFOTÔMETRO	22
<u>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</u>	<u>23</u>
4.1. COMPARAÇÃO ENTRE O FERRO DA MATÉRIA PRIMA E DO VIDRO	23
4.2. COMPARAÇÃO ENTRE O FERRO DO VIDRO E A ANÁLISE DE COR.....	25
4.3. COMPARAÇÃO ENTRE A ANÁLISE DE COR, TEOR DE FERRO E A EXTRAÇÃO DO FORNO..	26
4.4. CONTAMINAÇÕES E TRATAMENTOS TÉRMICOS.....	27
<u>5.CONCLUSÃO.....</u>	<u>30</u>
<u>6. REFERÊNCIAS.....</u>	<u>31</u>

1. INTRODUÇÃO

O vidro é um material que fascina o homem. Isso ocorre, por conta da sua sofisticação, beleza e transparência. O vidro é feito de uma mistura de matérias-primas naturais. Há registros de sua utilização desde 4.000 a.C. por sírios, fenícios e babilônios. Conta-se que ele foi descoberto por acaso, quando, ao fazerem fogueiras na praia, os navegadores perceberam que a areia e o calcário (conchas) se combinaram pela ação da alta temperatura.

O vidro era considerado um artigo de luxo e, quem detinha o conhecimento de manuseá-lo, era vigiado e proibido de sair da cidade em que morava, para que não compartilhasse com ninguém como era realizada a fabricação deste material e as possíveis aplicações dele. Os últimos 40 anos foram cruciais para o estudo sobre o vidro e de seu processamento, realizando um salto gigantesco na história para esse material tecnológico e na sua versatilidade de aplicação.

A indústria de embalagens de vidro desempenha um papel fundamental em diversos setores, como alimentos, bebidas e cosméticos, oferecendo uma solução durável, segura e esteticamente atraente para acondicionar produtos. Dentro desse contexto, a cor Flint (ou incolor) desempenha um papel de destaque, pois é uma das cores mais procuradas e utilizadas nesse tipo de embalagem (SEELIGER et al., 2019).

O vidro se forma pelo super congelamento de um líquido, e esse fenômeno ocorre quando a temperatura ultrapassa o ponto de congelamento antes que a solidificação tenha início. Quando um líquido atinge esse ponto, sua viscosidade torna-se muito alta e ele se torna semelhante a um sólido, com maior dureza, rigidez e forma constante.

Uma das características mais interessante do vidro é a cor. Os vidros podem se apresentar desde o mais puro incolor, chamado de extra claro, até em infinitas cores que também podem variar desde uma leve tonalidade até a total opacidade. A cor do vidro pode ter uma função apenas estética, e não por isso menos importante. Focando na cor mais pura, incolor, é chamada de cor Flint, a qual é caracterizada pela transparência total do vidro, sem adição de corantes ou pigmentos (KATRANGI et al., 2017). Ela permite que o consumidor visualize o conteúdo da embalagem, seja ele um líquido, pó ou produto sólido, conferindo uma aparência limpa e sofisticada. Além disso, a cor Flint é amplamente valorizada por sua capacidade de não

interferir nas características organolépticas dos produtos, preservando o sabor, aroma e aparência original.

A fábrica de vidro é líder mundial no segmento de embalagens de vidros. A indústria de embalagens de vidro desempenha um papel fundamental em diversos setores, como alimentos, bebidas e cosméticos, oferecendo uma solução durável, segura e esteticamente atraente para acondicionar produtos. A fábrica de embalagens de vidro do nordeste é focada nessa produção de embalagens de vidros na cor Flint, âmbar, verde e em tamanhos de acordo com a necessidade do cliente. A fábrica de embalagens de vidro do nordeste teve em 2022 produção anual de 187.330 toneladas de vidro, onde 79.530 toneladas/ano sendo em embalagens de vidro na cor Flint, 74.174,10 toneladas/ano de embalagens de vidro verde, e 33.955,90 toneladas/ano sendo da cor âmbar. O que apresenta 42,28% da produção anual sendo da cor Flint, 39,60% da cor verde e 18,12% da cor âmbar.

Visto que a maior produção na fábrica de embalagens de vidro do nordeste é de embalagens de vidro na cor Flint, destaca-se a importância de estudar e conhecer bem o produto de maior impacto na produção, que tem características bem precisas e é evidente notar desvios quando está fora do padrão, além disso a cor Flint por ser transparente e incolor atrai mais os consumidores por permitir a visualização do conteúdo interno das embalagens, o que também permite claramente notar quando ela está com alguma alteração de cor, necessitando de um controle de qualidade mais rigoroso em seu processo.

Porque a necessidade de compreender os fatores que influenciam na formação da cor Flint das embalagens de vidro se dá, uma vez que pequenas variações nessa tonalidade podem afetar significativamente a qualidade do produto. Questões como uniformidade de cor, ausência de impurezas visíveis e transparência adequada são fundamentais para garantir a percepção de qualidade por parte do consumidor (SEELIGER et al., 2019).

Além disso, entender os fatores que influenciam na cor Flint do vidro auxilia as indústrias de embalagens na seleção adequada de matérias-primas, ajustes mais assertivos no processo de fabricação e garantindo um controle de qualidade eficiente, resultando em embalagens de vidro com cores consistentes e atraentes, satisfazendo os clientes e consumidores.

Esse trabalho teve como objetivo principal mapear e monitorar os fatores da produção que interferem diretamente na cor Flint em embalagens de vidro. E como objetivos secundários avaliar as matérias primas que afetam a cor do vidro, aumentar a qualidade do produto final, e avaliar os impactos do processo produtivo na cor do vidro Flint.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O vidro

O vidro pode ser definido como um sólido não-cristalino que apresenta temperatura de transição vítrea (T_g), e não possui temperatura de fusão, pois apresentam uma estrutura amorfa, ou seja, não exibem ordem estrutural de longo alcance como os cristais. Encontra-se em estado metaestável, e como os líquidos fluem quando estão sob tensão e são isotrópicos (CHIANG; BIRNIE; KINGERY, 1997).

Os vidros aquecidos vão amolecendo, pouco a pouco, até se tornarem líquidos, isto é, não existe uma temperatura definida na qual o material passe do estado sólido para o líquido. O contrário acontece com as substâncias cristalinas, que por aquecimento ao alcançarem uma determinada temperatura, passam do estado sólido ao líquido (a temperatura de sua massa permanecendo constante, enquanto ocorre a transformação do estado sólido para o líquido) (SILVA, 1998).

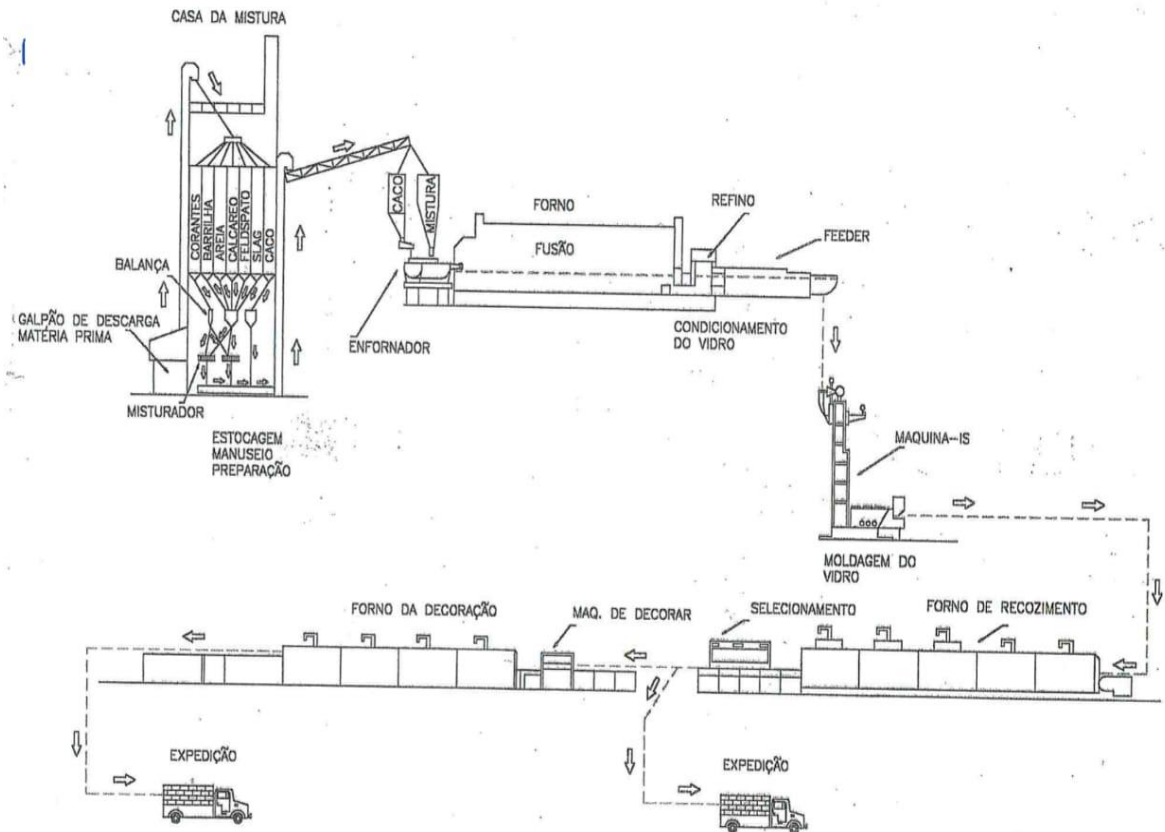
O vidro sodo-calcítico comercial é constituído aproximadamente de 70% de sílica (SiO_2) e outros óxidos que alteram as propriedades da sílica facilitando a fusão. Pela adição de óxidos colorantes na composição do vidro, é possível obter diversas cores: o ferro fornece principalmente a cor verde, o cobalto a cor azul, o selênio a cor rosa, entre outros (ZACHARIASEN, 1932).

2.2. Processo de produção de embalagem 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% Feldspato (Al_2SiO_5) e 13% de barrilha (Na_2CO_3). Cada uma das destas matérias-primas tem uma função específica que contribuem para a produção do vidro.

Para obter um vidro com qualidade e características desejadas nas embalagens são necessários etapas de mistura, fusão, refino, moldagem e por fim o recozimento. Todas estas etapas são importantes no processo pois cada uma delas agrega valor comercial no produto final. Na Figura 1 é apresentado o fluxograma do processo.

Figura 1: Processo de produção de embalagens de vidro.



Fonte: SILVA (1998).

Os materiais são descarregados em uma moega e são guardados em silos, localizados na casa de mistura, onde se prepara a composição, preparada em bateladas, a matéria prima é pesada e descarregada no misturador, onde é homogeneizada, na sequência é levada por esteiras até o forno, onde recebe o caco de vidro em média 35% da composição do vidro novo ajudando na diminuição do ponto de fusão da mistura, economizando energia e lançando menos gases na atmosfera.

Durante o processo de fusão, a composição se transforma em uma massa líquida brilhante com alta viscosidade a uma temperatura acima de 1200 °C, essa etapa acontece no forno, as correntes de convecção ajudam na mistura do vidro fundido com a matéria-prima nova, é importante que a enfora da composição deve ser feita de maneira gradativa para evitar defeitos relacionados a má homogeneização do vidro, o tempo de renovação do forno é de 2 a 3 dias.

Na etapa de refino o vidro escorre pelo canal onde é aquecido para remover as bolhas residuais do processo de fusão, se não forem retidas durante o refino, bolhas podem favorecer

a rejeição das embalagens durante a inspeção. No fim do canal um pedaço (gob ou gota) é cortado por uma lâmina de corte, o peso é determinado e escore para o molde sendo duas metades que são fechadas (ARANHA, 2021).

Na etapa de moldagem, a garrafa pode ser produzida por dois métodos o prensa-sopro onde a gota cai dentro do primeiro molde e uma prensa moldada a boca da garrafa, em seguida passa para o segundo molde onde o corpo e o fundo a garrafa são moldados através de chupetas de vácuo que puxam a massa vítrea; e o processo sopro-sopro que difere do primeiro apenas na formação da boca da garrafa, em vez dela ser prensada um jato de ar comprime a massa vítrea formando a boca da garrafa. Em seguida a garrafa segue para a etapa de recozimento.

O recozimento ou tempera, é onde a garrafa passa por um forno com temperatura mais baixa para que ocorra a liberação de tensões do vidro dando mais estabilidade e resistência ao vidro. Com as embalagens prontas, todas recebem um banho de óxido de estanho e seguem para paletização e posteriormente ao estoque. A depender do cliente a garrafa pode ser decorada, onde a garrafa pronta recebe um esmalte de tinta, a base de fibra de vidro que adere a garrafa ao passar novamente por um forno, em seguida é paletizada e armazenada.

2.3. Embalagens de Vidro Flint

As embalagens de vidro Flint são amplamente utilizadas em diversos setores, como alimentos, bebidas, cosméticos, farmacêuticos e muitos outros. Essas embalagens se destacam por sua transparência total, ausência de corantes ou pigmentos, e capacidade de permitir a visualização clara do conteúdo armazenado.

“As embalagens de vidro Flint são conhecidas por sua alta transparência e brilho, o que as torna ideais para produtos que buscam transmitir uma imagem de pureza e qualidade” (BERTRAND, 2018). Além disso, o vidro possui uma excelente resistência química, garantindo a preservação do sabor, aroma e propriedades dos produtos acondicionados. Essas características tornam as embalagens de vidro uma escolha popular para uma variedade de produtos.

Essas embalagens encontram uma ampla gama de aplicações na indústria, e são comumente utilizadas para armazenar bebidas como água, sucos, refrigerantes, cervejas e vinhos. Além disso, são amplamente utilizadas na indústria de alimentos para acondicionar produtos como molhos, conservas, azeites, condimentos e produtos lácteos. No setor cosmético, as embalagens de vidro Flint são frequentemente utilizadas para perfumes, cremes, loções e

produtos de cuidados pessoais. Também são encontradas em embalagens farmacêuticas, armazenando medicamentos líquidos, comprimidos e cápsulas.

A cor Flint do vidro é influenciada por diversos fatores, desde a composição química até os processos de fabricação utilizados. Compreender esses fatores é essencial para garantir a obtenção de embalagens de vidro com cor Flint consistente e de alta qualidade.

O principal componente do vidro Flint é a sílica (SiO_2), que representa a maior parte de sua composição. No entanto, outros elementos químicos podem ser adicionados para conferir propriedades específicas ao vidro e influenciar sua cor.

A adição de óxidos metálicos é comum na composição do vidro Flint. Alguns dos óxidos metálicos mais utilizados incluem:

Óxido de chumbo (PbO): O óxido de chumbo é frequentemente adicionado ao vidro Flint para melhorar sua transparência, brilho e índice de refração. A presença de óxido de chumbo pode resultar em um vidro mais nítido e com maior capacidade de refratar a luz (CRESSWELL; HAND; SAUNDERS, 2016).

Óxido de sódio (Na_2O) e óxido de potássio (K_2O): Esses óxidos são utilizados como fundentes, ajudando a reduzir a temperatura de fusão do vidro e facilitando o processo de fabricação. Eles também podem afetar a viscosidade do vidro, o que influencia sua capacidade de moldagem e formação durante o processo de fabricação (DILLON; RYLANDS; O'CONNOR, 2016).

Óxido de alumínio (Al_2O_3): O óxido de alumínio é adicionado para melhorar a resistência química e a durabilidade do vidro Flint. Ele também pode influenciar a estabilidade térmica do vidro, tornando-o mais resistente a variações de temperatura (GUPTA; PANDEY, 2018).

Outros óxidos metálicos: Dependendo da aplicação e das propriedades desejadas, outros óxidos metálicos, como óxido de boro (B_2O_3), óxido de magnésio (MgO) e óxido de zinco (ZnO), podem ser adicionados ao vidro Flint. Cada um desses óxidos metálicos pode afetar a cor e outras características do vidro (LEWIS; ALTERMATT, 2019).

A quantidade e a combinação desses óxidos metálicos na composição do vidro Flint podem ser ajustadas para obter diferentes tonalidades e propriedades desejadas. É importante ressaltar que a adição desses elementos deve ser cuidadosamente controlada, pois variações na concentração podem levar a mudanças na cor final do vidro.

“Além dos óxidos metálicos, outros elementos, como óxido de enxofre (SO_2) e óxido de selênio (SeO_2), podem ser utilizados para fins específicos, como aprimorar a resistência ao impacto ou a resistência ao ataque químico” (SILVA, 1998). A compreensão da composição química do vidro Flint é fundamental para controlar a cor do vidro durante o processo de fabricação.

2.4. Matéria-prima Utilizada na Produção de Embalagens de Vidro Flint

A matéria-prima utilizada na produção de embalagens de vidro Flint desempenha um papel fundamental na determinação da qualidade e características do vidro final. A escolha adequada da matéria-prima é essencial para garantir a obtenção de vidro com a cor Flint desejada e propriedades físicas e químicas ideais.

A principal matéria-prima utilizada na produção de vidro é a sílica (SiO_2), que pode ser encontrada em forma de areia de sílica. A areia é a principal matéria-prima para a produção de vidro, assim, a qualidade do vidro também está relacionada à impureza da areia. A principal impureza encontrada na areia natural é o óxido de ferro (Fe_2O_3), óxido de cromo (Cr_2O_3), óxido de titânio (TiO_2) e composto volátil (LOI) (MEECHOOWAS et al., 2021).

A areia de sílica é composta principalmente por sílica cristalina, que é fundida durante o processo de fabricação do vidro, proporcionando sua transparência característica (KARMAKAR et al., 2019).

Além da sílica, outras matérias-primas são adicionadas para ajustar as propriedades do vidro. Algumas das matérias-primas comumente utilizadas incluem:

Fundentes: Os fundentes são adicionados para reduzir a temperatura de fusão do vidro, tornando o processo de fabricação mais eficiente. Os fundentes mais comuns são o carbonato de sódio (Na_2CO_3) e o carbonato de potássio (K_2CO_3). Eles ajudam a fundir a sílica a temperaturas mais baixas, facilitando a moldagem do vidro.

Estabilizadores: Os estabilizadores são adicionados para melhorar a resistência química e a durabilidade do vidro. O carbonato de cálcio (CaCO_3) e o óxido de magnésio (MgO) são exemplos de estabilizadores comumente utilizados na produção de vidro Flint. Eles ajudam a fortalecer a estrutura do vidro e reduzir a probabilidade de corrosão ou degradação química.

Corretivos: Os corretivos são utilizados para ajustar características específicas do vidro, como sua viscosidade e índice de refração. Óxidos metálicos, como óxido de boro (B_2O_3), óxido de alumínio (Al_2O_3) e óxido de zinco (ZnO), podem ser adicionados em quantidades

controladas para modificar as propriedades do vidro e influenciar sua cor final” (HALDIMANN et al., 2018).

É importante ressaltar que a qualidade e pureza das matérias-primas utilizadas na produção de vidro Flint são cruciais para obter um produto final de alta qualidade. A presença de impurezas, como ferro, manganês e outros metais, pode afetar negativamente a cor e transparência do vidro, resultando em tonalidades indesejadas. Portanto, um controle rigoroso das matérias-primas é necessário para garantir a obtenção de vidro Flint com a cor desejada.

2.5. Processo de Fabricação e Tratamentos Térmicos

“O processo de fabricação de embalagens de vidro Flint envolve várias etapas, desde a preparação das matérias-primas até a obtenção do produto final. Essas etapas incluem fusão, moldagem, tratamentos térmicos e acabamento” (SILVA, 1998). Cada uma dessas etapas tem um impacto significativo na cor e nas propriedades físicas do vidro.

2.5.1. Fusão e Moldagem

A primeira etapa do processo de fabricação é a fusão dos ingredientes do vidro em um forno de alta temperatura. As matérias-primas, incluindo sílica, fundentes e estabilizadores, são combinadas e aquecidas a temperaturas elevadas, geralmente acima de 1500°C. Nesse estágio, ocorre a fusão dos componentes, formando um material líquido conhecido como vidro fundido.

Após a fusão, o vidro fundido é moldado em diferentes formas, dependendo da finalidade desejada. Para a produção de embalagens de vidro Flint, é comum utilizar processos de moldagem por sopro ou prensagem. No processo de moldagem por sopro, o vidro fundido é soprado em moldes com a forma desejada. Já na prensagem, o vidro fundido é prensado entre moldes para adquirir a forma desejada.

“Durante a etapa de moldagem, é essencial controlar a temperatura e o tempo de resfriamento para garantir a qualidade e a uniformidade do vidro. Variações nessas condições podem resultar em diferenças na cor e nas características físicas do vidro Flint” (SILVA, 1998).

2.5.2. Tratamentos Térmicos

Após a moldagem, as embalagens de vidro passam por tratamentos térmicos adicionais para melhorar suas propriedades como aumentar a sua resistência, aliviar tensões internas e melhorar sua durabilidade.

Um tratamento térmico comum é o recozimento, que envolve o aquecimento controlado do vidro a uma temperatura abaixo do ponto de fusão e, em seguida, resfriamento lento. Esse processo ajuda a reduzir as tensões internas causadas pelo resfriamento rápido durante a moldagem e melhora a resistência mecânica do vidro (SILVA, 1998).

Outro tratamento térmico importante é a têmpera, que consiste em aquecer o vidro a altas temperaturas e, em seguida, resfriá-lo rapidamente por meio de jatos de ar ou outras técnicas de resfriamento rápido. Esse processo confere ao vidro uma maior resistência ao impacto e à quebra” (SILVA, 1998).

Os tratamentos térmicos têm influência na cor Flint do vidro, pois podem afetar a estrutura molecular do material e sua capacidade de transmitir a luz. Portanto, é importante realizar esses tratamentos de forma adequada, levando em consideração as especificações e requisitos da embalagem de vidro Flint.

2.6. Contaminações e Impurezas

A presença de impurezas e contaminantes durante o processo de fabricação pode afetar a cor Flint do vidro. Pequenas quantidades de elementos como ferro, cobalto, cobre e manganês podem causar tonalidades indesejadas no vidro, como um leve tom esverdeado, adição de selênio se faz necessário para mascarar esse tom esverdeado. Portanto, a seleção adequada de matérias-primas e o controle rigoroso de qualidade são fundamentais para minimizar a presença dessas impurezas e obter uma cor Flint consistente (SILVA,1998).

É importante ressaltar que a cor Flint do vidro é o resultado da interação complexa entre esses fatores, e qualquer alteração em um deles pode afetar a cor final do vidro. Portanto, um controle cuidadoso desses fatores ao longo do processo de fabricação é essencial para garantir a obtenção de embalagens de vidro Flint com cor consistente, transparência adequada e alta qualidade.

2.7 Fluorescência de raios X (FRX)

A fluorescência de raios X (FRX ou XRF, do inglês X-Ray Fluorescence) é um procedimento não destrutivo com base na medição da intensidade dos raios X emitidos pelos elementos químicos constituintes da amostra. Por meio desse experimento pode ser feita uma análise qualitativa e também quantitativa sobre a constituição da matéria, permitindo especificar a composição química após sua excitação por uma fonte de radiação gama, por um feixe de raios X (ASFORA, 2010).

Cada Raios X característico possui energias únicas, características de cada elemento que a emitiu. Na técnica de FRX, a análise qualitativa permite identificar os átomos de cada elemento presente na amostra associando a linha característica observada com seus respectivos átomos, enquanto a análise quantitativa envolve determinar a quantidade de cada átomo presente na amostra, a partir da intensidade das linhas características (LUIZ, 2019).

3. METODOLOGIA

3.1. Coleta de dados

Os dados foram coletados na fábrica de embalagens de vidro do nordeste.

Para a realização do estudo foram coletadas diariamente na etapa do recebimento de matéria-prima, amostras de aproximadamente 1 kg; e na etapa de produção foram coletadas 2 garrafas por semana (toda segunda e quinta). Os dados de produção foram extraídos do sistema da produção diário, onde foram analisados: extração e tratamentos térmicos, de janeiro a maio de 2023.

Foram analisados os dados das matérias primas: calcário, feldspato, areia e embalagens coletadas ao final do processo produtivo, onde foram comparados os óxidos obtidos das análises químicas via FRX com as análises de cor via espectrofotômetro. Avaliando o Ferro e os possíveis contaminantes, que impactam diretamente na cor do vidro nesse período.

Verificando se o vidro final está atendendo aos parâmetros padrão e o quanto os resultados de matéria prima influenciaram no resultado final. Avaliando também há existência de outros fatores do processo e tratamentos térmicos, como extração do forno e contaminação que possa afetar a qualidade do vidro Flint.

3.2. Metodologia para análise de Fluorescência de Raios -X (FRX)

A análise química visa a quantificação dos elementos químicos constituintes de uma determinada matéria-prima ou vidro, expressos em forma de óxidos, a partir dessas análises pode-se identificar possíveis contaminantes, monitorar o teor dos óxidos do vidro, especificamente do ferro que é um óxido que interfere diretamente na cor do vidro, ou seja através deste método obtemos os valores dos óxidos das matérias primas associando o resultado com a cor do vidro.

Antes de se fazer a leitura é necessário fazer a preparação das amostras de matéria prima conformando-as em pastilhas através de processos físicos: moagem e prensagem.

3.2.1. Preparação da Matéria prima

Com as amostras coletadas, deve-se homogeneizar e quarteá-las. Em seguida seca-se 35g por 10 minutos na estufa. Com o material seco, adicione o material com 3 gotas de etilenoglicol a panela do moinho para moer-la. Após a moagem, pesa-se 10g da amostra com 2g de cera waxx, e homogeneizar a amostra.

Em seguida coloca-se uma fina camada de ácido bórico na prensa e por cima do ácido coloca-se a amostra, prensa-se a amostra. Com amostra prensada, pode-se fazer a leitura no FRX para análise dos óxidos.

3.2.2. Preparação do vidro

Com uma furadeira acoplada à serra copo faz-se necessário a brocagem do fundo da garrafa para se ter uma disco de vidro, em seguida passar a amostra no politriz para polir a amostra. Com a amostra polida pode-se fazer a leitura no FRX para análise dos óxidos.

3.3. Metodologia para análise de cor por espectrofotômetro

A análise de cor é o percentual de luz de determinado comprimento de onda, que incidindo sobre certa espessura de vidro consegue atravessá-la. Tem como objetivo o controle na variação da cor no vidro. A partir da leitura via espectrofotômetro é possível plotar o gráfico de Hunter que indica a tendência da cor do vidro.

3.3.1. Procedimento para análise de cor por espectrofotômetro

Após a coleta da garrafa examinar e escolhe a área mais plana possível, geralmente no corpo, livre de bolhas, riscos ou outros defeitos. Em seguida cortar uma amostra nas medidas 1cm x 5cm, aproximadamente, com a ajuda de um cortador de vidro; medir as espessuras da amostra com o auxílio de um paquímetro e passar papel absorvente para limpar a amostra. Verificar se a amostra está limpa e fazer a leitura no espectrofotômetro, em seguida colocar o resultado na planilha de cálculo para plotar o ponto no gráfico de Hunter.

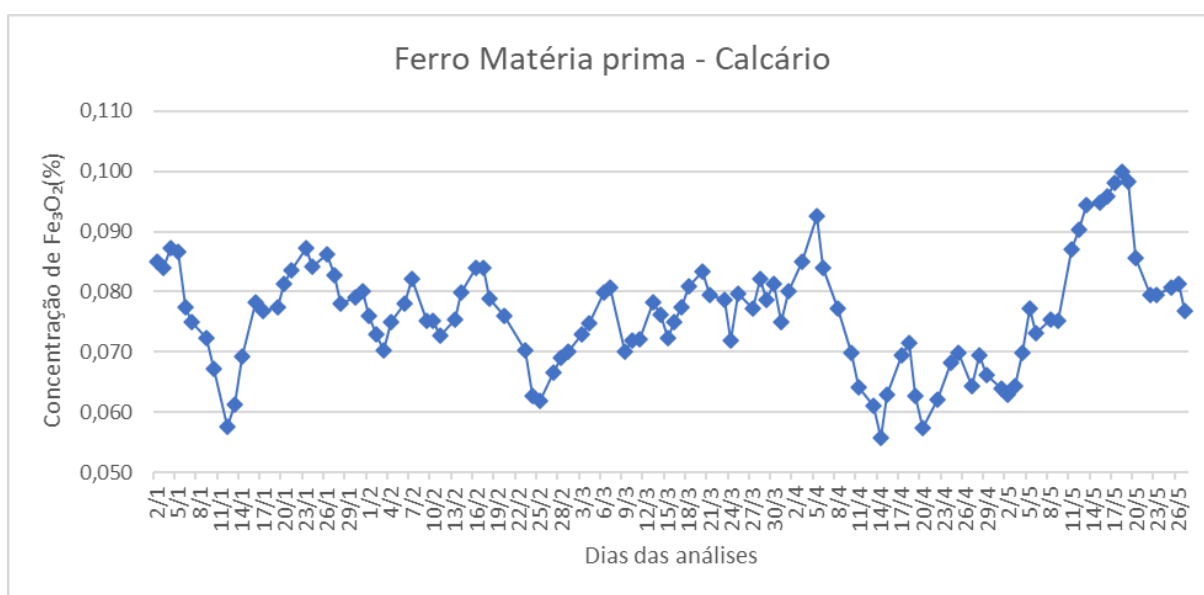
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras de matéria prima e vidro foram analisadas por via FRX. Após análise dos óxidos não se verificou nenhuma contaminação nas matérias primas e no vidro. De acordo com a literatura o óxido das matérias primas que mais impacta na cor do vidro é o Fe_2O_3 , por esse motivo, foi utilizado esse óxido para comparação direta entre a cor do vidro e a matéria prima.

4.1. Comparação entre o ferro da matéria prima e do vidro

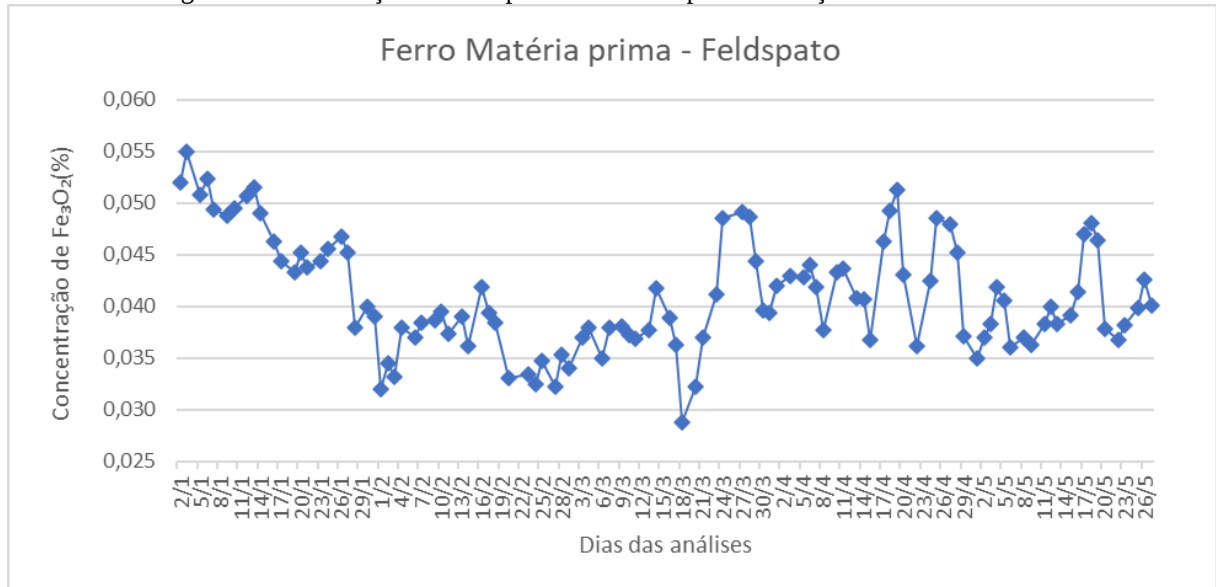
Abaixo os gráficos do ferro presente nas matérias primas. Cada ponto no gráfico representa a média dos 3 dias anteriores ao recebimento, visto que é o tempo necessário para renovação do silo de matéria prima para entrada da composição no forno. Na Figura 2 e 3 apresentam os teores de ferro de calcário e feldspato respectivamente. Na Figura 4 temos o teor de ferro presente na embalagem de vidro (produto acabado).

Figura 2: Concentração de ferro presente no calcário em função dos dias de análises



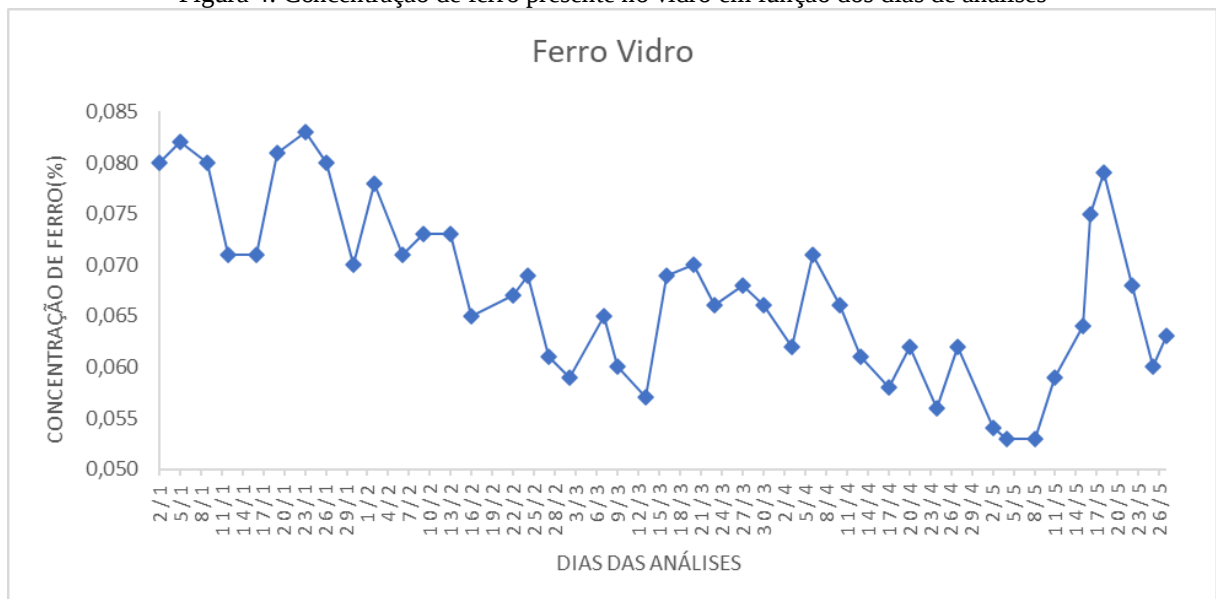
Fonte: O autor (2023).

Figura 3: Concentração de ferro presente no feldspato em função dos dias de análises



Fonte: O autor (2023).

Figura 4: Concentração de ferro presente no vidro em função dos dias de análises



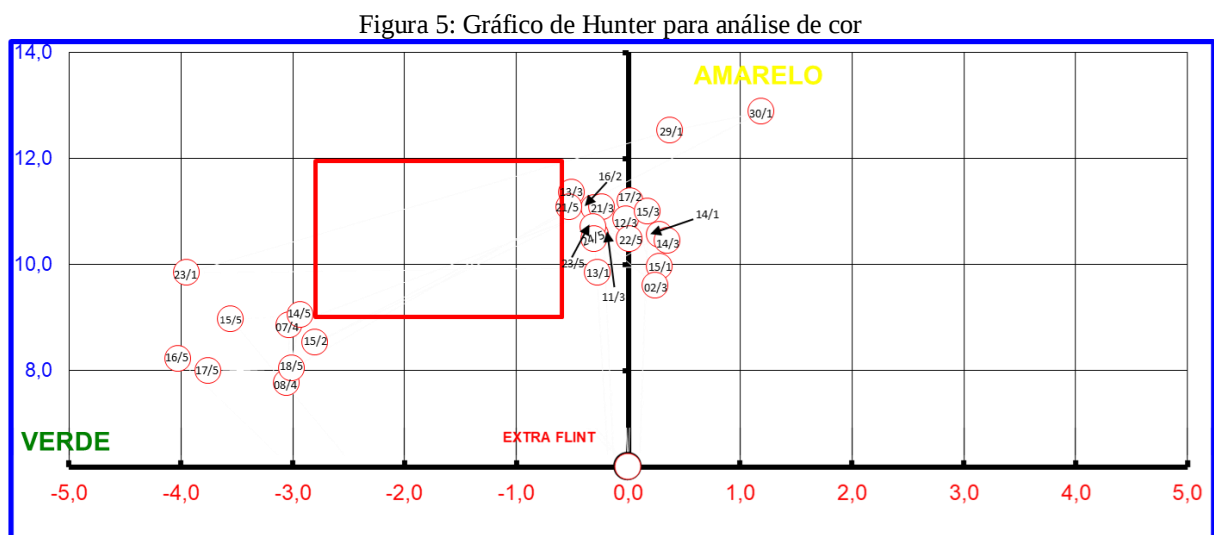
Fonte: O autor (2023).

Comparando as figuras das matérias primas com o do vidro observamos que o teor de ferro do vidro tem uma ligação direta com o ferro da matéria prima, principalmente do calcário; isso é devido a quantidade do calcário ser maior que a de feldspato na composição do vidro. Por isso é de suma importância que o teor de ferro do calcário seja o menor possível a fim de evitar o aumento do teor de ferro final do vidro.

4.2. Comparação entre o ferro do vidro e a análise de cor

Diariamente a cor do vidro foi avaliada pelo controle de qualidade, para verificar se a cor estava ou não dentro do padrão para a garrafa de vidro que estava sendo produzida. Essa avaliação foi feita de maneira visual na base da garrafa, pois é o local que apresenta maior concentração de vidro. Além da análise visual o controle de qualidade leva em conta o gráfico de Hunter para avaliar a cor.

A Figura 5 apresenta a análise de cor via espectrofotômetro, representada no gráfico de Hunter, o qual mostra a tendência da cor do vidro nos dias em que o controle de qualidade avaliou, visualmente, a cor do vidro e constatou que a cor estava fora do padrão.



Fonte: O autor (2023).

O retângulo vermelho apresentado na figura 5 representa a área em que a cor do vidro Flint se encontra dentro do padrão do controle de qualidade.

Comparando o gráfico de Hunter com a Figura 4 é observado que os dias em que a cor do vidro estava tendenciando para o verde, o teor de ferro do vidro encontrava-se mais alto em comparação aos dias anteriores. Como mostrado nos dias 23/01 e dia 17/05. Isto é decorrente do ferro que por estar em maior concentração em relação aos descolorantes proporciona a cor verde no vidro.

Analisando o lado direito do gráfico de Hunter é observado que os dias em que a cor do vidro estava tendenciando para o amarelo, a Figura 4 mostra que o teor de ferro do vidro encontrava-se mais baixo em comparação aos dias anteriores. Como mostrado nos dias 29/01 e

dia 12/03. A cor amarela no vidro é decorrente do selênio. Isto ocorre porque há um excesso de selênio na composição do vidro e ele proporciona a cor amarelada no vidro.

Durante o período de análise dos dados foram feitas sete modificações na concentração do selênio, utilizado para mascarar a cor verde proveniente do óxido de ferro. Na Tabela 1 encontra-se os dias em que foram feitas as modificações na concentração do selênio.

Tabela 1: Modificação da concentração de selênio

Data	Adição/redução na conc. de selênio
13/03/2023	Redução de 6,3%
21/03/2023	Redução de 6,8%
15/05/2023	Adição de 11,9%
16/05/2023	Adição de 12,1%
17/05/2023	Adição de 12,1%
18/05/2023	Adição de 6,3%

Fonte: O autor (2023).

Ainda comparando as Figuras 4 e 5 pode-se observar que no mês de maio o teor de ferro do vidro estava mais baixo e começou a aumentar, entre os dias 14/05 e 17/05 o ferro subiu muito então o vidro apresentou uma coloração verde, foram feitas adições de selênio durante 4 dias seguidos devido ao ferro ter aumentou muito. Porém entre os dias 20/05 e 26/05 o ferro diminuiu de maneira brusca e o vidro apresentou tonalidade amarela devido ao excesso de selênio.

4.3. Comparação entre a análise de cor, teor de ferro e a extração do forno

A quantidade de vidro produzida no dia é conhecida como extração do forno. Essa é uma variável de processo muito importante, pois a depender da extração do forno sabe-se como o selênio vai se comportar no forno. O selênio é impactado pela temperatura do forno que é consequência da extração, ou seja, se a extração do forno sobe, a temperatura consequentemente sobe, e o selênio tende a ter menos eficiência pois em temperaturas mais altas ele é queimado mais rapidamente logo ele não é capaz de mascarar o ferro presente.

Por outro lado, a extração diminuindo o selênio tende a ficar mais eficiente, visto que a temperatura não aumenta e a menor perda por queima. A figura 6 mostra a extração do forno medida diariamente.

Figura 6: Quantidade diária de vidro produzido em função dos dias de análises



Fonte: O autor (2023).

Comparado as Figuras 4, 5 e 6 pode-se observar que a extração é um fator que ajuda a controlar a cor do vidro. Isto é observado nos dias 18/01, 19/01 e 02/02 por exemplo, onde a extração do forno diminuiu, aumentando a eficiência do selênio, que mascarou o ferro que estava mais alto nesses dias evitando que o vidro esverdeasse.

Pode-se observar ainda que nos dias 09/03, 10/03 e 03/03 a extração do forno subiu logo diminuiu a eficiência do selênio, o que ajudou a evitar que o vidro amarelasse visto que o ferro estava mais baixo nesses dias.

Por fim, no dia 21/03 o vidro estava com a cor amarelada devido a extração do dia que diminuiu, aumentando a eficiência do selênio resultando na cor amarela, visto que o ferro estava com tendência de queda.

4.4. Contaminações e tratamentos térmicos

Existem outros fatores que podem interferir na cor do vidro Flint, como a presença de contaminantes no vidro. Esses podem ser originários da matéria prima ou de contaminação durante o processo. As matérias primas e o vidro foram analisados via FRX durante o período de coleta de dados, e não foram encontradas contaminações de nenhuma origem. Porém já houve casos de contaminação de processo em que um equipamento defeituoso estava mandando composição de um forno de cor verde para um forno de cor Flint, o que gerou uma cor verde no vidro Flint.

Outro fator que pode interferir na cor do vidro Flint é o tratamento térmico. O tratamento térmico consiste em passar um produto para aumentar a resistência a garrafa ao ataque do tempo, utiliza-se o calor para aderir o produto a garrafa. O excesso desse produto pode causar um aspecto de espelho na garrafa que evita a passagem na luz diminuindo a transparência e comprometendo a cor do vidro. Durante o período de coleta de dados não houve casos que comprometessem a cor do vidro, porém existe uma máquina de inspeção na linha que verifica o nível de tratamento de garrafa por garrafa, caso esteja fora do padrão as garrafas são descartadas automaticamente e a aplicação do tratamento no produto é ajustado.

Durante o processo de conformação de garrafas algumas garrafas podem ser produzidas com uma espessura de parede mais grossa que a outra, logo isso pode interferir na cor do vidro, e essas garrafas são descartadas automaticamente pelas máquinas de inspeção presentes na linha.

Durante a fase de pesquisa para referencial teórico foram levantados seis possíveis fatores que interferem na cor do vidro, dentre eles: teor de ferro presente nas matérias primas, contaminantes, impurezas, tratamentos térmicos, moldagem e extração. Dentre esses, dois foram os principais responsáveis por alterar a cor do vidro e tiveram impacto direto nele: o teor de ferro presente na matéria prima e a extração do forno.

O ferro encontrado na matéria prima foi o que mais impactou na variação de cor, principalmente o calcário, pois é a segunda matéria prima que entra em maior concentração, a primeira é a areia que tem um ferro muito baixo por volta de 0,025%, por isso é desconsiderada. Visto isso, faz-se necessário um calcário com ferro mais baixo para evitar que o vidro apresente uma colocação verde e uma diminuição do uso de selênio.

A extração é outro fator muito importante que impacta na eficiência do selênio, pois o selênio tende a ser mais eficaz com a extração mais baixa uma vez não será perdido, em grande parte, pela queima. O selênio tende a ser menos eficaz, pois sua quantidade diminui, quando a extração aumenta, pois, a temperatura do forno aumenta e perde-se selênio por queima em temperaturas mais altas.

A alteração de selênio deve ser feita de maneira cautelosa, analisando todos os fatores como ferro da matéria prima dos três dias anteriores, extração do forno, teor de ferro do vidro e analisando o gráfico de Hunter, para que não ocorra o que aconteceu no fim de mês de maio, onde foi adicionado muito selênio com o intuito de corrigir a cor de maneira mais rápida, porém

gerou um problema dias depois pelo excesso de selênio, não respeitando o tempo de renovação do forno.

Existem dois fatores que são importantes e mesmo que não tenham sido encontrados durante a coleta e análise de dados devem ser verificados. Os contaminantes e as impurezas. As impurezas podem ser pegadas ao se analisar as matérias primas no FRX, e pode-se evitar que entrem no processo. Porém os contaminantes podem aparecer nas matérias primas o que se evita delas entrarem no processo. Ainda podem ser provenientes do processo, e é exatamente nesse ponto que se deve haver atenção pois elas podem aparecer de maneira aleatória gerando alteração na cor do vidro.

Ainda se tem dois fatores que não interferem atualmente na cor do vidro flint, que são o processo de moldagem e o tratamento térmico. Pois ambos são eliminados pelas máquinas de inspeção que descartam garrafas que mal conformadas durante a moldagem e que estejam fora da especificação do tratamento térmico.

5.CONCLUSÃO

Os objetivos desse trabalho foram alcançados, pois foi possível mapear e monitorar os fatores que afetam a cor do vidro Flint, sendo o teor de ferro da matéria prima, mais especificamente o calcário, e a extração do forno os principais influenciadores na variação da cor do vidro Flint.

Em 2022 ocorreram 75 não conformidades na cor do vidro Flint, decorrente da variação do teor de ferro, enquanto de janeiro a setembro de 2023 houve 30 não conformidades de cor. Uma redução de aproximadamente 60,00% das não conformidades.

Há partir do monitoramento da extração, o teor de ferro das matérias primas, o teor de ferro presente no vidro e o gráfico de Hunter para evitar as variações de cor do vidro. A partir desse monitoramento consegue-se antecipar as possíveis não conformidades na cor por meio de alterações prévias na concentração de selênio a fim de mascarar a cor, o que gerou um melhor controle de qualidade e consequente melhora na qualidade da cor do vidro.

Desde a finalização deste trabalho até os dias atuais não houve variação de cor do vidro Flint constatando a efetividade do requerido trabalho. O monitoramento e os ajustes de maneira prévia se tornaram procedimento padrão na rotina do setor.

6. REFERÊNCIAS

- ARANHA, N. **Fusão, refinamento e extrusão de vidros compostos para aplicações em fibras óticas**. 9 de agosto, 2021;
- ASFORA, V. K. **Fluorescência de Raios X por dispersão de energia aplicada à caracterização de tijolos de sítios históricos de Pernambuco**. Disponível em: < <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/9476> >. Acesso em: 21/09/2023.
- BERTRAND, G. **Influence of Glass Composition on the Coloration of Flint Glass Bottles**. Master's thesis, École de technologie supérieure, 2018;
- BERTRAND, S. **Glass Packaging: Sustainable Innovation and Business Development**. John Wiley & Sons, 2018;
- CHIANG, Y.M.; BIRNIE III, D. KINGERY, W.D. **Physical ceramics: principle for ceramic science and engineering**. John Wiley & Sons, New York, 1997;
- CRESSWELL, I.; HAND, R. J.; SAUNDERS, G. A. **Lead glass: An overlooked heritage**. *Studies in Conservation*, v.61, p.97-103, 2016;
- DILLON, R. L.; RYLANDS, C. E.; O'CONNOR, B. H. **The effect of sodium oxide on glass structure: A molecular dynamics study**. *Journal of Non-Crystalline Solids*, v.435, p.25-32, 2016;
- GUPTA, S.; PANDEY, O. P. **Role of alumina in glass**. *International Journal of Ceramic Engineering & Science*, v.7, n.1, p.15-24, maio, 2018;
- HALDIMANN, M; *et al.* **Glass Composition and Raw Materials**. In *Glass Structures: Design and Construction of Self-supporting Skins*, Routledge, p.43-61, 2018;
- KARMAKAR, A; *et al.* **Manufacture of glass: Raw materials and their characteristics**. In *Vitreous Materials*, Springer, Singapore, p.1-42, 2019;
- KATRANGI, A.H; *et al.* **Factors Influencing the Color of Container Glass**. *Glass International*, 2017;

LEWIS, P.; ALTERMATT, D. **Zinc in glass: A review**. Glass Technology-European Journal of Glass Science and Technology, v.60, n.6, p.249-258, 2019;

LUIZ, C.; **Uso de Fluorescência de Raios X (XRF) para fins de comparação entre a composição elementar da babar de timão [Stryphnodendronadstringens (Mart.) Coville] com outras pomadas.** Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/334376862_Uso_de_Fluorescencia_de_Raios_X_XRF_para_fins_de_comparacao_entre_a_composicao_elementar_da_barba_de_timao_Stryphnodendron_adstringens_Mart_Coville_com_outras_pomadas_cicatrizantes>. Acesso em: 21/09/2023.

MEECHOOWAS, E; et al. **The comparison of different sand sources for glass industrial production**. Materials, 2021;

SEELIGER, A. *et al.* **Key Factors Influencing the Color of Flint Glass Bottles**. Glass Science and Technology, 2019;

SILVA, P.R. **Tecnologia do vidro**. OWENS ILLINOIS, BRASIL, p. 58-90, 1998;

ZACHARIANSEN, W.H. **The atomic arrangement in glass**. J. Chem Soc., v.54, p. 3841-3851, 1932.