



## **DESENVOLVIMENTO DE VITROCERÂMICAS A PARTIR DA RECICLAGEM DE VIDROS OCOS PELO PROCESSO FUSING**

Milena Heloísa Araújo Silva<sup>1</sup>, Crislene Rodrigues da Silva Morais<sup>2</sup>

### **RESUMO**

O acelerado crescimento das indústrias e do consumo de seus produtos tem implicado em um considerável aumento na geração de resíduos sólidos urbanos. Os resíduos de vidro apesar de não assustarem sob o ponto de vista da toxicidade, assustam pelo volume crescente, requerendo soluções. Esse estudo objetiva o desenvolvimento de pastilhas vitrocerâmicas, através do processo de reciclagem de resíduos de vidros ociosos. Os resíduos vítreos foram analisados quimicamente, beneficiados por meio da separação por cor, trituração manual e peneiração. Posteriormente, foram aplicados tratamentos térmicos, para fusão e recozimento do vidro. Após os tratamentos térmicos, as pastilhas obtidas foram submetidas aos ensaios de difração de raios-X, microdureza Vickers e resistência ao impacto. Os resultados obtidos indicaram que o tratamento térmico 3 conferiu pastilhas com o melhor conjunto de propriedades, no que se refere a obtenção de materiais vitrocerâmicos.

**Palavras-chave:** Vidro; reciclagem; vitrocerâmicas.

---

<sup>1</sup>Milena Heloísa Araújo Silva, Engenharia de Materiais, Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais, UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: milenaheloisa1@hotmail.com

<sup>2</sup>Doutora, Professora, Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais, UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: crislene.morais@ufcg.edu.com

## ***DEVELOPMENT OF GLASS-CERAMIC FROM THE RECYCLING OF GLASSES THROUGH THE FUSING PROCESS***

### **ABSTRACT**

The rapid growth of industries and the consumption of their products has led to a considerable increase in the generation of municipal solid waste. Glass waste, although not frightening from the point of view of toxicity, scares from the increasing volume, requiring solutions. This study aims the development of glass ceramic inserts through the process of recycling hollow glass waste. The vitreous residues were chemically analyzed, benefited by color separation, manual grinding and sieving. Thereafter, heat treatments were applied for melting and annealing of the glass. After the heat treatments, the obtained tablets were submitted to the X-ray diffraction, Vickers microhardness and impact resistance tests. The obtained results indicated that the heat treatment 3 conferred tablets with the best set of properties, with regard to obtaining glass ceramic materials.

**Keywords:** Glass; recycling; glass ceramic.

## INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento das indústrias e do consumo de seus produtos tem implicado em um considerável aumento na geração de resíduos sólidos urbanos. Dentre os materiais que compõem os resíduos sólidos urbanos destaca-se o vidro. Segundo Maia (2003), o vidro pode ser definido como um material sólido, cujos átomos se ligam sem estrutura definida, ao acaso, sem propriedades vetoriais como ocorre nos sólidos cristalinos. É utilizado em diversas áreas, seja na construção civil, indústria de embalagens, indústria automobilística, entre outras. Em sua maioria, os resíduos vítreos descartados, são provenientes de embalagens alimentícias, destacando-se as garrafas de vidro e, embora, não sejam o lixo mais incômodo, sob o ponto de vista da toxicidade, assusta pelo volume crescente e requer soluções (Armelline, 2004).

O vidro apresenta grande potencial de reciclagem, pode ser reciclado inúmeras vezes sem perder suas propriedades. A reciclagem de resíduos recuperáveis tem sido um método de processamento cada vez mais aceito em todo mundo, pois além de diminuir problemas de poluição, preserva os recursos naturais (matérias primas), elimina custos de armazenamento e tratamento dos resíduos (Jatobá, 2008).

O tratamento térmico aplicado ao vidro, visando obtenção de um material vitrocerâmico, pode ser aplicado a partir da técnica fusing. Segundo Veloso (2015), o processo dos tratamentos térmicos consiste basicamente em uma combinação correta entre dois parâmetros: tempo e temperatura. Quando o material é aquecido, sua estrutura molecular começa a se reorganizar, formando pequenos cristais distribuídos pelo meio amorfo. Logo, as características do novo material serão definidas por três variáveis: composição química do vidro, temperaturas de tratamento e tempo de exposição a essas temperaturas. (Zanotto, 2015).

As vitrocerâmicas ou materiais vitrocerâmicos, podem ser definidos como sólidos policristalinos que contem fase vítrea residual, obtidos a partir da fusão e conformação do vidro, através de processos de cristalização controlada (Schimitt et al., 2014). Possuem propriedades, como baixa porosidade, alta resistência mecânica, inércia química, alto grau de dureza, entre outras.

A possibilidade de obtenção das vitrocerâmicas com composição química uniforme e moldada na forma desejada, é considerada por muitos autores a maior vantagem tecnológica desse material, pois, com isso tem-se uma grande versatilidade de aplicações do material. Podendo ser utilizado desde utensílios para cozinha, principalmente em placas de aquecimento de fogões elétricos mais avançados, até

em áreas de alta tecnologia, como grandes espelhos para telescópios, substratos de discos rígidos de computadores e dentes artificiais (Vasconcelos, 2012).

No Brasil, a reciclagem de vidros é realizada por empresas especializadas quando em escala industrial e por ONG's ou cooperativas que realizam o beneficiamento de resíduos em menores escalas. Em Campina Grande – PB, tem-se o Centro de Artes em Vidro (CAVI) onde realiza-se o beneficiamento e reciclagem de resíduos de vidro, porém, com a grande demanda existente, nem todos os resíduos são devidamente utilizados, sendo necessária a existência de outras alternativas. O processo de reciclagem do vidro e a obtenção de vitrocerâmicas, contribuem para diminuição da demanda de resíduos, como também, para a inovação da área tecnológica com o desenvolvimento de novos produtos.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Materiais**

- Garrafas de vidro âmbar e verde;
- Blocos de concreto celular auto clavado à base de cimento, cal e materiais com sílica;
- Gesso;
- Caulim.

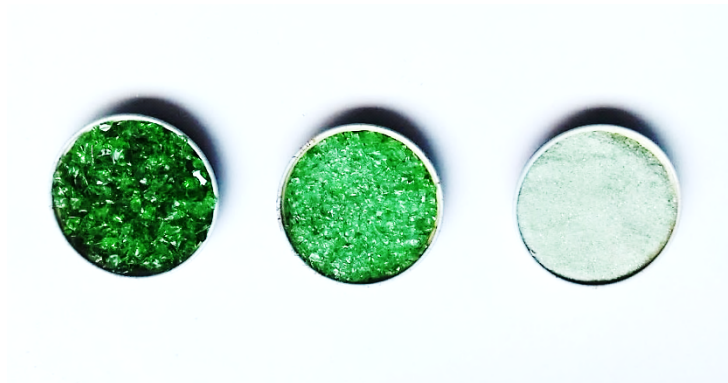
### **Métodos**

#### ***Análise Química por fluorescência de raios-X (FRX)***

A análise química por fluorescência de raios-X, foi realizada no equipamento modelo EDX – 720 da marca SHIMADZU. As pastilhas para realização do ensaio, foram confeccionadas com pó de vidro previamente peneirados em peneira ASTM nº 200, sob atmosfera a vácuo, colimador 10 mm.

#### ***Beneficiamento dos resíduos de vidro***

As garrafas de vidro foram inicialmente separadas por cor, seguiram para lavagem e retirada de rótulos. Com as garrafas já higienizadas, deu-se início ao processo de trituração manual. Os resíduos triturados foram peneirados através de peneiração manual, em peneiras granulométricas ASTM nº 5, 8 e 30, de aberturas 4,0 mm; 2,4 mm e 0,6 mm respectivamente (Figura 1).



**Figura 1:** Vidro verde em granulometrias de 4,0 mm; 2,4 mm e 0,6mm, respectivamente. Fonte: Própria.

A partir de resultados preliminares, com a composição de 8 granulometrias diferentes, realizou-se uma otimização e as granulometrias escolhidas para continuação do estudo estão expostas na Tabela 1.

**Tabela 1:** Nomenclatura adotada para cada variação granulométrica.

<b>NOMENCLATURA</b>	<b>PENEIRAS</b>	<b>GRANULOMETRIAS</b>
<b>GV 5 – 8</b>	5 e 8	4mm abaixo de 2,4mm
<b>GV 30 – 8</b>	30 e 8	0,6mm abaixo de 2,4mm

Fonte: Própria.

### **Preparação dos moldes**

O molde de concreto celular auto clavado (Figura 2), foi confeccionado com o auxílio de uma espátula, realizou-se a escavação dos blocos na forma quadrangular com dimensão de 10 cm x 10 cm x 1,5 cm.

Os moldes de gesso foram confeccionados com o gesso no estado líquido, a partir da introdução de pequenos retângulos de isopor, com dimensões de 5,0 cm x 1,5 cm x 1,0 cm.



**Figura 2:** Molde de concreto celular finalizado (arquivo pessoal).

### ***Preparação das pastilhas e dos corpos de prova para ensaio de impacto (IZOD)***

As pastilhas foram preparadas utilizando 150g de vidro, sendo inseridas 75g de cada granulometria, nos espaços correspondentes do molde de concreto celular.

Para os corpos de prova utilizados no ensaio de impacto IZOD, utilizou-se os moldes de gesso, os mesmos foram preenchidos com 3,75g de cada granulometria (Figura 3).



**Figura 3:** Molde dos corpos de prova confeccionado com gesso, preenchido com vidro (arquivo pessoal).

Após o preenchimento com os resíduos de vidro, os moldes foram inseridos no forno cerâmico da Etrekro-Therm da Linn, o forno foi programado para a fusão e o recozimento do vidro, a partir da mudança de temperaturas, da taxa de aquecimento e do tempo de permanência em cada temperatura.

### Tratamentos térmicos

Com base na literatura e em estudos realizados por Veloso (2015), os parâmetros necessários para aplicação dos tratamentos térmicos foram definidos e aprimorados.

O tratamento térmico 1 (TT1) em que as peças foram submetidas, ilustrado na Figura 4, apresenta temperatura de fusão de 800°C, com permanência de 20 minutos.

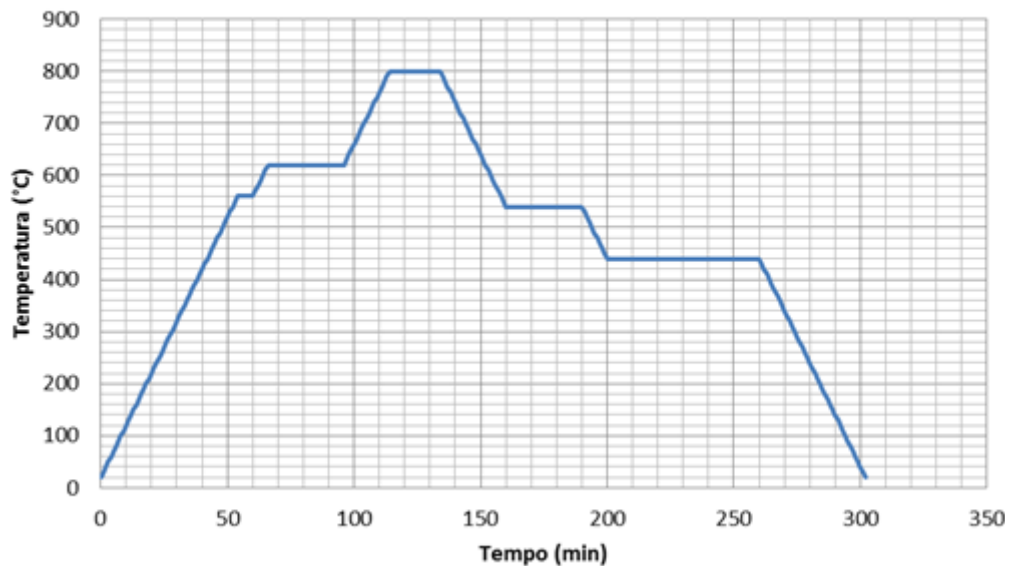


Figura 4: Perfil do tratamento térmico 1, com temperatura de fusão de 800°C (arquivo pessoal).

O segundo tratamento térmico, TT2, apresenta perfil térmico ilustrado na Figura 5, com temperatura de fusão de 820°C e permanência de 20 minutos.

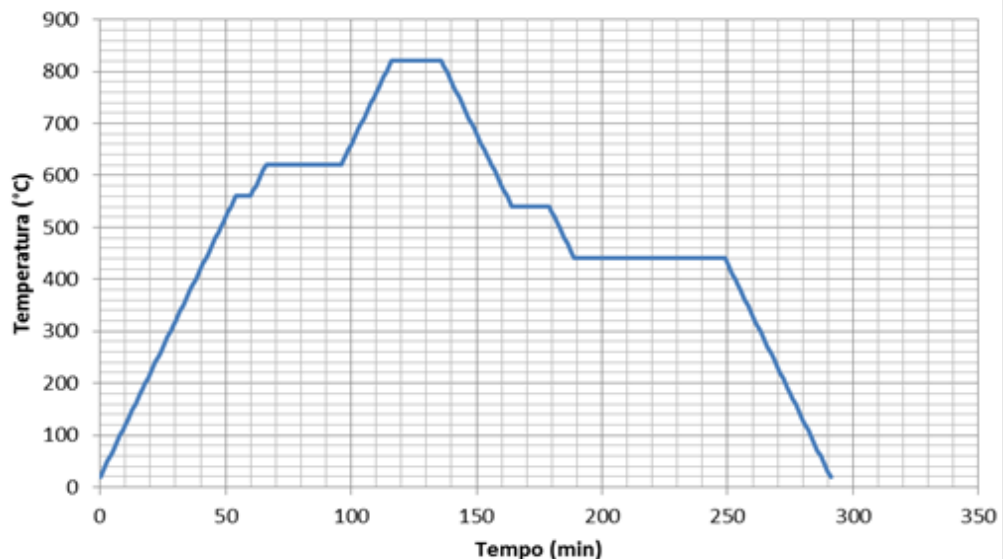


Figura 5: Perfil do tratamento térmico 2, com temperatura de fusão de 820°C (arquivo pessoal).

O tratamento térmico 3, apresenta 840°C como temperatura de fusão, neste as peças permaneceram nessa temperatura por 15 minutos, como ilustra a Figura 6.

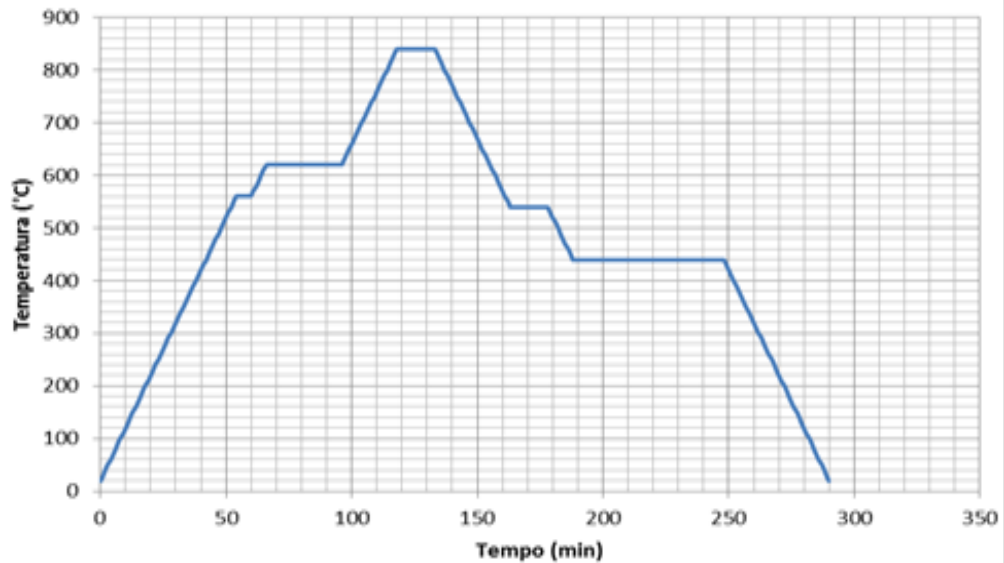


Figura 6: Perfil do tratamento térmico 3, com temperatura de fusão de 840°C (arquivo pessoal).

Na figura 7 está ilustrado o perfil térmico do tratamento 4, assim como o TT3 possui temperatura de fusão de 840°C, diferindo o tempo de permanência, em que nesse foi de 30 minutos.

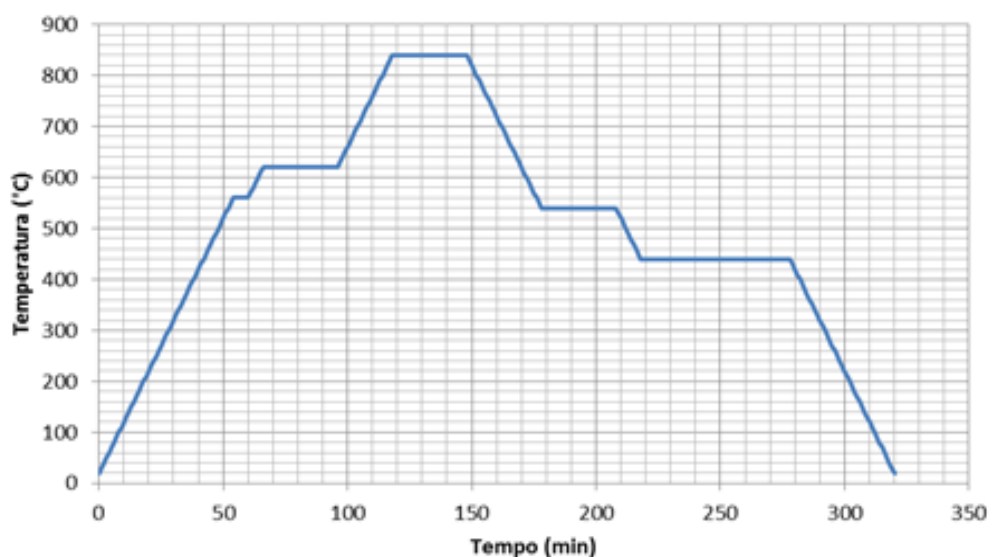


Figura 7: Perfil do tratamento térmico 4, com temperatura de fusão de 840°C (arquivo pessoal).

### **Ensaio de microdureza Vickers**

Para realização do ensaio foi utilizado o MicroHardness FM -700, da Future-Tech, munido de um indentador Vickers. Com aplicação de 100 kfg por 15 segundos em cada corpo de prova, os corpos de prova de 20 mm x 20 mm foram embutidos em



resina a frio. Para cada amostra realizou-se 6 endentações, obtendo como resultado a média dos seis pontos.

### ***Ensaio mecânico de resistência ao impacto***

O ensaio de resistência ao impacto IZOD foi realizado utilizando um equipamento modelo RESIL 5,5 da CEAST e pêndulo de 2,75J, de acordo com a norma ASTM D 256, em temperatura ambiente. Os resultados foram obtidos a partir da média de 4 corpos de prova.

### ***Ensaio de difração de raios-X (DRX)***

As amostras na forma de pó, peneiradas em peneira ASTM nº 200, foram ensaiadas por meio do Difratorômetro (Bruker, D2Phaser), utilizando a radiação  $K_{\alpha}$  do metal alvo (Cu), com varredura de 5° a 80° e passo de 0,02°.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### **Análise Química**

O percentual dos óxidos presentes nos vidros âmbar e verde, foram identificados mediante a análise química por fluorescência de raios-X, sendo ilustrados na tabela a seguir.

**Tabela 2:** Composição química percentual dos óxidos presentes nos vidros âmbar e verde.

Óxidos	SiO <sub>2</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	SrO	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO
Âmbar (%)	69,55	13,31	12,61	3,21	0,55	0,47	0,13	0,06	0,05	0,003	0,00	0,00	0,00
Verde (%)	69,54	12,39	13,15	2,89	0,30	0,43	0,16	0,00	0,04	0,00	0,71	0,28	0,02

Fonte: Própria.

Os óxidos de silício (SiO<sub>2</sub>), óxido de cálcio (CaO) e o óxido de sódio (Na<sub>2</sub>O), apresentaram-se em maiores percentuais, indicando a composição básica de vidros sílica-soda-cal. Segundo Braun (2008), os vidros sílica-soda-cal configuram o tipo mais comum de vidro e são utilizados em diversas aplicações.









O óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) presente nas duas colorações, de acordo com Oliveira Neto (2014), é a substância inserida no processo de fabricação que confere maior resistência mecânica ao vidro. Já o óxido crômico (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), encontrado apenas no vidro verde, segundo Barros (2010), é o agente corante primário para todos os vidros em escala de tons verdes.

Em relação aos óxidos fundentes (CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O e MgO), os valores percentuais para ambas as cores foram aproximados, excluindo apenas a presença do óxido de magnésio (MgO) no vidro de cor âmbar. Já o óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O), encontrado nas duas composições químicas, faz-se relevante para o processo de cristalização. Pois, a proporção de Fe<sup>+2</sup>/Fe<sup>+3</sup> tem influência no que se refere a morfologia dos cristais formados, no mecanismo de cristalização, como na própria cinética de cristalização (Folgueras, 2001).

### **Resultados visuais versus Tratamento Térmico**

Com a aplicação dos tratamentos térmicos foi possível avaliar o comportamento do vidro nas determinadas temperaturas, observando textura, efeitos e acabamentos. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 2:** Resultados visuais obtidos a partir de cada tratamento térmico.

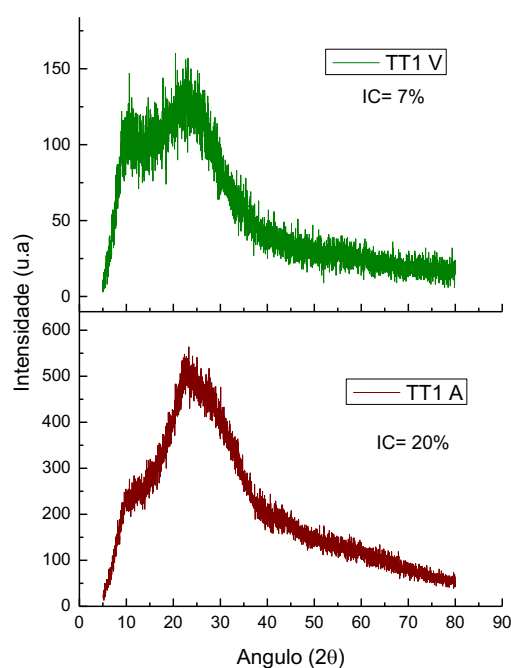
Tratamento térmico	Cor do Vidro	Temperatura de fusão	Granulometria	Aspecto visual	Imagem
TT1	Âmbar	800°C	GV 5-8	Brilho superficial, boa fusibilidade.	
TT1	Verde	800°C	GV 30-8	Brilho superficial, aspecto rugoso.	
TT2	Âmbar	820°C	GV 30-8	Brilho superficial, superfície rugosa.	
TT2	Verde	820°C	GV 30-8	Pontos de brilho, redução de rugosidade.	
TT3	Âmbar	840°C	GV 30-8	Superfície plana e consideravelmente opaca.	
TT3	Verde	840°C	GV 30-8	Superfície lisa e uniforme, com mínimos pontos de brilho.	
TT4	Âmbar	840°C	GV 30-8	Superfície lisa, sem aspecto de brilho.	
TT4	Verde	840°C	GV 30-8	Superfície uniforme, sem translucidez aparente.	

Fonte: Própria.

Ao analisar todas as pastilhas obtidas, as pastilhas âmbar e verde dos tratamentos térmicos 3 e 4, configuraram aspecto visual mais satisfatório, em virtude de, apresentarem maior homogeneidade e características visuais semelhantes as vitrocerâmicas, como superfície plana e sem translucidez aparente.

### ***Difração de raios-X (DRX)***

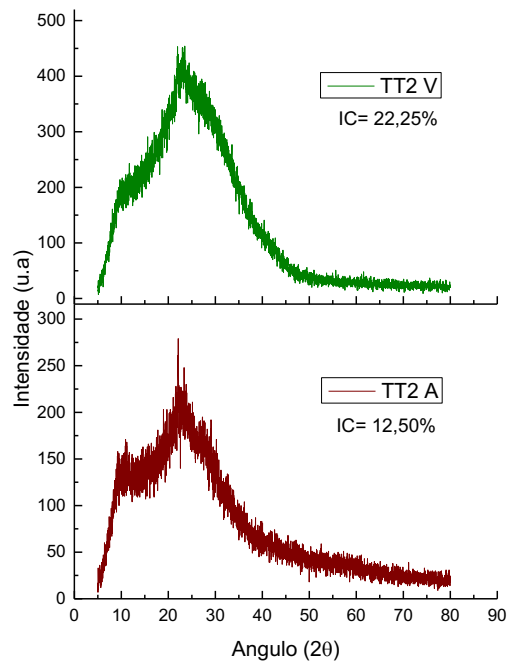
Os difratogramas ilustrados nas figuras abaixo, referem-se aos resultados apresentados pelas pastilhas, em cada tratamento térmico.



**Figura 8:** Difratograma referente as pastilhas obtidas com o tratamento térmico 1 (TT1).

A análise do difratograma (Figura 8), indica maior significância de sinal para a pastilha de cor âmbar. O índice de cristalinidade (IC) calculado de acordo com o método desenvolvido em estudos realizados por Hermans e Weidinger (1948), e Goppel e Arlmann (1949), confirma a maior cristalinidade da pastilha âmbar em relação a pastilha de cor verde.

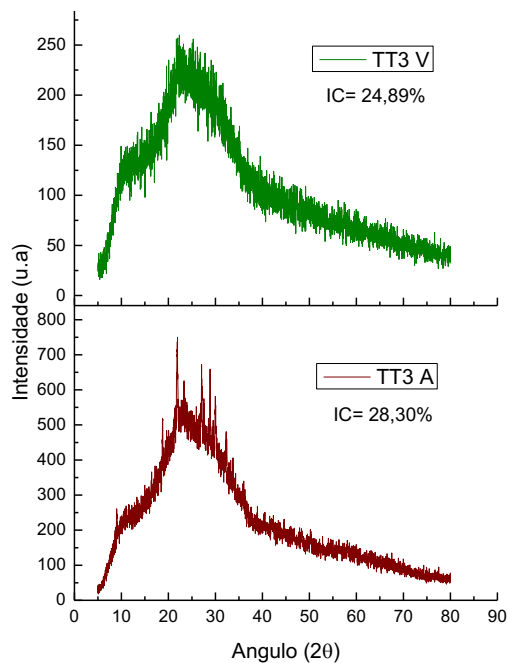
Além do óxido de ferro, o óxido de cálcio (CaO) também favorece a desvitrificação do material (Akerman, 2006). Logo, por se apresentar em maior percentagem no vidro âmbar, pode ter facilitado o processo de cristalização no tratamento térmico 1. Em contraponto, para o TT2, a maior eficácia na formação de fases cristalinas foi manifesta na pastilha de coloração verde, esta apresentou índice de cristalinidade de 22,25%, conforme ilustra a figura 9.



**Figura 9:** Difratograma referente as pastilhas obtidas com o tratamento térmico 2 (TT2).

Considerando as diferentes condições de temperatura, tempo de fusão e tempo de resfriamento, inferiu-se que os comportamentos dos óxidos presentes no vidro verde foram mais estimulados à formação de fases cristalinas, pelo tratamento térmico 2.

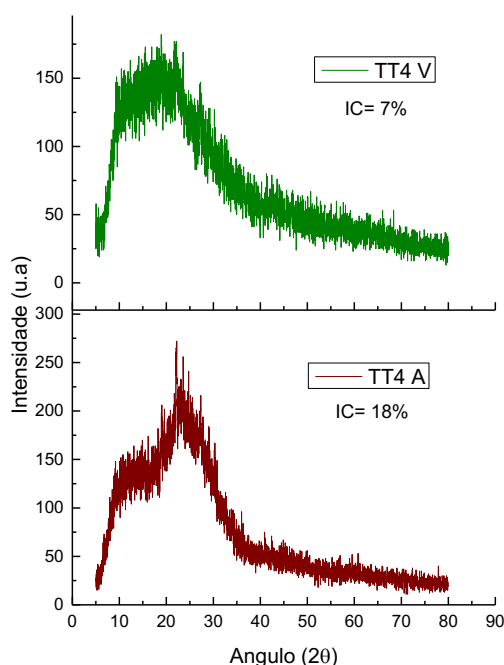
O difratograma referente ao tratamento térmico 3 (Figura 10), ilustra significativo índice de cristalinidade nas pastilhas de ambas as cores.



**Figura 10:** Difratograma referente as pastilhas obtidas com o tratamento térmico 3 (TT3).

A combinação entre tempo e temperatura do TT3, possibilitou um excelente resultado, demonstrando que mesmo em meio aos diferentes óxidos (relacionados a composição química) de cada coloração do vidro, o tratamento térmico permitiu em ambos casos o crescimento de cristais em meio a fase amorfa.

Em relação ao tratamento térmico 4, os índices de cristalinidade das pastilhas apresentaram maior discrepância entre si.



**Figura 11:** Difratograma referente as pastilhas obtidas com o tratamento térmico 4 (TT4).

Conforme ilustra a figura 11, o comportamento cristalino da pastilha âmbar sobressaiu o da pastilha verde, cuja demonstrou baixíssimo índice de cristalinidade.

No que se refere a análise geral dos difratogramas, os tratamentos térmicos empregados resultaram na redução do halo característico de material amorfo e no conseqüente aumento da intensidade da formação de picos, correspondentes às fases cristalinas. Além do mais, aos maiores índices de cristalinidade relativos as pastilhas de coloração âmbar, podemos atribuir a contribuição do óxido de titânio. Segundo Folgueras (2001), esse óxido é um dos principais agentes nucleantes que facilita a cristalização e reduz a energia de ativação do processo.

### **Microdureza Vickers**

Os resultados de microdureza associados a superfície de cada pastilha e do vidro-mãe, apresentados na Tabela 4, indicam a eficácia dos diferentes tratamentos térmicos para aumento dessa propriedade mecânica.

**Tabela 4:** Resultados das médias de Microdureza Vickers (Gpa).

<b>Pastilhas</b>	<b>Dureza (Gpa)</b>	<b>Tratamento térmico</b>
Vidro-mãe âmbar	5,329	-
Vidro-mãe verde	5,426	-
GV 5-8 âmbar	5,911	TT1
GV 30-8 verde	7,286	TT1
GV 30-8 âmbar	6,201	TT2
GV 30-8 verde	6,168	TT2
GV 30-8 âmbar	6,589	TT3
GV 30-8 verde	7,203	TT3
GV 30-8 âmbar	6,957	TT4
GV 30-8 verde	7,961	TT4

Fonte: Própria.

Observou-se que, todas as pastilhas submetidas aos tratamentos térmicos apresentaram maiores valores de microdureza, comparados aos valores dos vidros-mãe âmbar e verde. O aumento da dureza superficial avaliada, está relacionado a combinação de temperatura e tempo de cada tratamento térmico, que possibilitam a fusão e recozimento do material aliviando possíveis tensões superficiais.

O tratamento térmico 4, configurou pastilhas com os maiores resultados de microdureza, destacando-se a pastilha GV 30-8 verde que apresentou 7,961 Gpa. Assim como em estudos realizados por Brosler (2017), os valores de microdureza de materiais vitrocerâmicos corroboram com os valores obtidos, reafirmando o benefício dos tratamentos térmicos.

### **Resistência ao impacto**

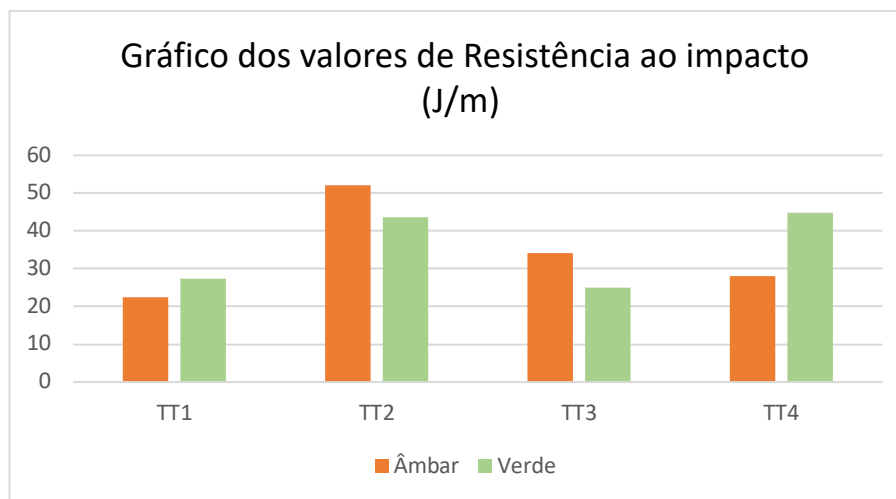
Foi verificada a energia necessária para romper cada corpo de prova, como resultante do ensaio obtivemos os valores de resistência ao impacto. A Tabela 5, apresenta as médias das medidas referentes a cada corpo de prova.

**Tabela 5:** Resultados do ensaio de Resistência ao Impacto (J/m)

Cor	Resistência ao Impacto (J/m)			
	TT1	TT2	TT3	TT4
Âmbar	22,41	52,11	34,16	28,11
Verde	27,38	43,64	24,95	44,76

Fonte: Própria.

Os valores apresentados na Tabela 5 e ilustrados na Figura 12, demonstram flutuação dos resultados em relação aos tratamentos térmicos aplicados, configurando resultados não significativos para o estudo.



**Figura 12:** Gráfico referente à resistência ao impacto de cada tratamento térmico (arquivo pessoal).

Assim como em estudos realizados por Veloso (2016), os valores de energia foram difíceis de referenciar como a resistência mecânica, pois, os materiais vítreos possuem tensões internas que o fragilizam. Contudo, teoricamente após passarem por tratamentos térmicos e tornarem-se materiais vitrocerâmicos, estes passam a possuir maior resistência mecânica. Logo, às discrepâncias presentes nos resultados podem ser atribuídas a possível presença de trincas no interior dos corpos de prova e também a baixa reprodutibilidade durante o ensaio.



### ***Análise dos moldes utilizados***

O molde de concreto celular auto clavado, permitiu-se ser escavado no formato desejado, contribuindo para pastilhas quadradas bem semelhantes. Como o molde foi polvilhado com caulim, o desmolde das pastilhas foi facilitado. Suportou mais de quatro queimas, demonstrando bom estado mesmo após as primeiras queimas.

O molde confeccionado com gesso, foi de mais fácil construção quando comparado ao molde de concreto celular, devido a não ter a necessidade de escavação, pois, a moldagem foi realizada com o gesso ainda no estado líquido. Esse apresentou excelente desmolde, contudo, não suportou mais que uma queima.

### **CONCLUSÃO**

Conclui-se que, todos os tratamentos térmicos apresentaram bons resultados, constituíram pastilhas com melhoria de propriedades em relação aos vidros-mãe âmbar e verde, de composição sílica-soda-cal.

As discrepâncias do índice de cristalinidade observadas nos difratogramas, em relação aos vidros de diferentes cores utilizados, podem ser atribuídas às diferentes formas de manifestação dos óxidos presentes em cada composição.

Em termos de aspecto visual, melhor índice de cristalinidade e bons valores de microdureza, a combinação entre tempo e temperatura do TT3, na produção de pastilhas vitrocerâmicas, foi a mais eficaz, tanto para a composição do vidro verde quanto para a composição do vidro âmbar.

Para um trabalho com maiores solicitações de queima e de altas temperaturas, os moldes de concreto celular possuem maior e melhor desempenho que os moldes confeccionados com gesso.

Por fim, os resultados obtidos indicam que a obtenção de materiais vitrocerâmicos pelo método fusing a partir de resíduos de vidro reciclado, é eficiente.

### **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos ao apoio e incentivo fornecido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, de acordo com PIBITI/CNPq-UFCG, Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação.

## REFERÊNCIAS

AKERMAN, M. **Apostila de Natureza, Estrutura e Propriedades do vidro**, 2006.

ARMELLINE, C.; FERNANDES, D. **Utilização de sucata de vidro Para Preparação de Novos Produtos**, In: 48º congresso brasileiro de materiais. Anais. Curitiba-PR, 2004.

BARROS, C. **Materiais de Construção e Edificações**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Rio Grande do Sul, p. 19, 2010.

BRAUN, S. E. **Efeito do grau de cristalização nas propriedades mecânicas de vitrocerâmicas de dissilicato de lítio**. 2008.95f. Dissertação (Mestrado em Física). Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal do Paraná-UFPR, Curitiba-Paraná.

BROSLER, P. O. **Pesquisa e desenvolvimento de vitrocerâmicos de alta resistência ao impacto**. 2017. 52f. Trabalho de Graduação em Engenharia de Materiais – Universidade Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá.

FOLGUERAS, M. V. **Obtenção de vitrocerâmicos sintetizados a partir da combinação de escórias siderúrgicas e cinzas volantes**. Florianópolis, UFSC, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2001. xix, 143 p.

GOPPEL, J. M. and ARLMANN, I. J. Appl. Sci. Res., A, 1949, 1, 462.

HERMANS, P. H. and WEIDINGER, A. J. appl. Phys. 1948, 19, 491.

JATOBÁ, S. M. de S. **Gestão do Lixo como Fonte de Renda e Economia a Favor do Meio Ambiente**. Dissertação de Mestrado. Universidade Cândido Mendes – Rio de Janeiro, 2008.

MAIA, S. B. **O vidro e sua fabricação**, Rio de Janeiro, 2003.

MANO, E. B.; PACHECO, E. B. A. V., BONELI, C. M. C. **Meio Ambiente, poluição e reciclagem.** 1ª ed. Rio de Janeiro: EDGARD BLUCHER, 2009.

OLIVEIRA NETO, G. C.; SOUZA, M. T. S.; SILVA, D.; SILVA, L. A. **Avaliação das vantagens ambientais e econômicas da implantação da logística reversa no setor de vidros impressos.** Revista Ambiente e Sociedade. São Paulo, v. XVII, n.3, 2014.

SCHMITT T.J.B.; FOLGUERAS M.V.; TOMIYAMA M.; ALVES B.; ALBUQUERQUE V.; **DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DO VITROCERÂMICO PROVENIENTE DO VIDRO Li<sub>2</sub>O - ZrO<sub>2</sub> - SiO<sub>2</sub> - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> COM INCORPORAÇÃO DE ÓXIDO DE CROMO III.** Cuiabá: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2014. 8 p.

VASCONCELOS, Y.. **A beleza das vitrocerâmicas. Imagens refletem a produção de um dos principais centros mundiais de pesquisa em materiais vítreos.** Revista Pesquisa Fapesp, Ed. 191, 2012.

VELOSO, I. T. B. M. **Desenvolvimento de pastilhas vítreas para revestimento a partir da reciclagem de vidros sódico-cálcicos.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, 2016.

VELOSO, I. T. B. M.; MORAIS, C. R. S. . **TRATAMENTO TÉRMICO DE PASTILHAS DE REVESTIMENTO DE VIDROS RECICLADOS DO TIPO SÓDICO-CÁLCICO COM ÊNFASE EM PROCESSOS DE RECOZIMENTO..** In: 59º CBC - Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2015, Aracaju. Vidros e Vitrocerâmicos e Materiais Correlatos, 2015. p. 1675-1686.

ZANOTTO E.D.; **“Vitrocerâmica poderá substituir as telas atuais dos smartphones.”** Agência FAPESP, 2015. Disponível em: < <http://agencia.fapesp.br/vitroceramica-podera-substituir-as-telas-atuais-dos-smartphones-i/22238/>>.