

## ***AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO RESÍDUO DE VIDRO GERADO POR EMPRESA LOCAL: CARACTERIZAÇÃO***

**Breno Parente Bezerra<sup>1</sup>**  
**Ione Amorim Bezerra Neta<sup>2</sup>**  
**Suzana Barreto Noronha Ribeiro<sup>3</sup>**  
**Laédna Souto Neiva<sup>4</sup>**  
**Maria Isabel Brasileiro<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Materiais Cerâmicos, Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte – CE, Brasil, bezerrap.breno@gmail.com

<sup>2</sup>Materiais Cerâmicos, Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte – CE, Brasil, ioneamorimbezerra@gmail.com

<sup>3</sup>Materiais Cerâmicos, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, suzananoronha13@gmail.com

<sup>4</sup>Materiais Cerâmicos, Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte – CE, Brasil, laedna.neiva@ufca.edu.br

<sup>5</sup>Materiais Cerâmicos, Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte – CE, Brasil, isabel.rodriques@ufca.edu.br

### **Introdução**

O crescente desenvolvimento das atividades industriais é responsável pelo aumento abundante de resíduos sólidos gerados e descartados na natureza, contribuindo negativamente para combater o desequilíbrio ambiental. Este fato pressiona as indústrias e os pesquisadores a se comprometerem com o meio ambiente, desafiando-os a buscarem meios alternativos e tecnologicamente viáveis para a reutilização destes rejeitos de forma econômica e sustentável.

Segundo Menezes et al. (2002), a indústria cerâmica possui uma elevada capacidade de absorver resíduos industriais e urbanos, na qual a reciclagem e a reutilização destes resíduos, como novas matérias-primas cerâmicas, têm sido objeto de pesquisas, que buscam soluções que conciliem vários aspectos, como custo de disposição, tratamentos, tipo e quantidade de resíduo, tecnologia e processos de utilização e, finalmente, o impacto econômico e ambiental da reciclagem.

Resíduos de diversos tipos de vidro têm sido objeto de estudo para avaliação do desempenho destes como matérias-primas alternativas para obtenção de produtos cerâmicos. Sendo este um material composto majoritariamente por sílica ( $\text{SiO}_2$ ), óxido formador de rede vítrea, e podendo conter teores de óxidos modificadores de rede vítrea, o que permite uma gama de composições químicas a diferentes tipos de vidros.

A incorporação de resíduo de vidro a produtos fabricados à base de argila é uma alternativa viável devido à compatibilidade entre a composição química destes produtos e a do vidro (GODINHO et al., 2005), consistindo em um modelo econômico e sustentável ao convergir o desenvolvimento de novos materiais com a preocupação com o meio ambiente, de modo a combater o impacto ambiental causado pela geração de resíduos e colaborar com a redução da extração das matérias-primas naturais.

Verificou-se, na pesquisa de Godinho et al. (2005), que a adição de rejeitos de vidro a uma massa cerâmica à base de argila aumenta a tensão de ruptura e a retração linear e diminui a absorção de água, cujas propriedades de queima satisfazem as especificações de telha e de pisos semi-porosos, semi-grês e grês em diferentes temperaturas de queima.

Em um outro estudo realizado por Zaccaron et al. (2016), foi possível observar que com o aumento percentual da incorporação de resíduos de vidro de embalagem a massas argilosas e temperatura de queima conseguiu-se a redução da absorção de água e retração total, além de um ligeiro aumento da resistência mecânica, comprovando-se a sua compatibilidade com o material argiloso que compõe a massa cerâmica.

O presente trabalho busca caracterizar, quanto à sua natureza químico-mineralógica e estrutural, dois tipos de resíduos de ampolas de vidro, provenientes de uma indústria farmacêutica, que compram tais recipientes e descartam os fragmentos destes, ainda não contaminados, gerando um acúmulo de resíduos com destino incerto. A partir desta problemática e dos resultados obtidos pelas caracterizações

de amostras destes resíduos vítreos, investiga-se a viabilidade da reutilização destes rejeitos como matérias-primas alternativas para a indústria cerâmica.

## Material e Métodos

Os resíduos de ampolas de vidros estudados neste trabalho foram gentilmente disponibilizados, em sua forma limpa, por uma empresa que atua no segmento industrial farmacêutico, que compram as ampolas e descartam a parte superior das mesmas, acarretando na geração de resíduos de vidros, cujo destino não está envolvido com a reciclagem e/ou reaproveitamento destes.

Foram estudados dois tipos de resíduos vítreos: vidro A e vidro B, os quais passaram por uma etapa de cominação, para redução do tamanho dos cacos de vidros. Na etapa subsequente, os resíduos foram macerados em ágata com pistilo, de forma a obter pós de vidros que pudessem ser peneirados em mesh 200.

Amostras do pó de cada resíduo de vidro foram coletadas e caracterizadas para a determinação de composição química, por meio da técnica de fluorescência de raios-X por energia dispersiva (FRX), e para a análise qualitativa de fases, por difração de raios-X (DRX).

Para a análise por fluorescência de raios-X (FRX), utilizou-se um espectrômetro de fluorescência de raios-X por energia dispersiva, modelo EDX-720 Shimadzu, atmosfera a vácuo, colimador 10 mm. Na difração de raios-X (DRX), o equipamento utilizado foi o XRD 6000 Shimadzu (40 kV e 30 mA), com radiação  $\text{CuK}\alpha$  e ângulo de varredura  $2\theta$  (5-60°).

A metodologia prosseguiu-se estudando os resultados obtidos nas caracterizações dos resíduos de vidro, bem como a avaliação dos mesmos como novas matérias-primas cerâmicas.

## Resultados e Discussão

A apresentação dos resultados deste trabalho é executada em dois estágios distintos. Na primeira etapa, são exibidos a discussão dos resultados obtidos pela fluorescência de raios-X (FRX) dos resíduos de vidro A e vidro B. O segundo estágio consiste na apresentação da discussão dos resultados da difração de raios-X (DRX) inerentes a ambos os resíduos de vidro.

### Fluorescência de Raios-X (FRX)

Na análise de Fluorescência de Raios-X, foram identificadas quantitativamente as composições químicas dos óxidos presentes nos resíduos de ampolas de vidro A e de vidro B.

A partir da análise química do resíduo de vidro A (transparente incolor), exibida na Tabela 1, pode-se observar que este resíduo é majoritariamente composto por sílica ( $\text{SiO}_2$ ), como previamente esperado, uma vez que a formação de rede vítrea está diretamente relacionada à presença deste óxido. Muitos óxidos inorgânicos, em diversos teores, podem ser incorporados aos vidros silicatos, cujas propriedades variam em relação ao aumento de um de seus óxidos constituintes, estes pode ser: formadores de rede, quando elementos substituem o silício; ou modificadores de rede, quando cátions monos e bivalentes não entram na rede, mas formam ligações iônicas com oxigênios não pontantes (AKERMAN, 2000). Dentre os óxidos inorgânicos que constituem o resíduo de vidro A teores expressivos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (durabilidade e viscosidade) e  $\text{Na}_2\text{O}$  (fluidez, expansão e solubilidade) foram encontrados. Além destes destaca-se também o  $\text{CaO}$ , importante na devitrificação.

Tabela 1. Composição química da amostra do resíduo de vidro A obtida por fluorescência de raios-X

Óxidos	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{CaO}$	$\text{SO}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
<b>Teor (%)</b>	81,72	8,76	7,19	1,88	0,25	0,13	0,07

A princípio, a diferença entre os vidros A e B é notada pela coloração, o que já indica que ambos não possuem a mesma composição química. A Tabela 2 apresenta os resultados da composição química do resíduo de vidro B (âmbar transparente). Semelhantemente ao resíduo de vidro A, este resíduo também possui a sílica como constituinte de maior percentual, porém em um teor menor, o que é justificado pela presença de um número maior de óxidos inorgânicos no vidro B. As semelhanças entre os resíduos também está relacionado aos significativos teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Na}_2\text{O}$ . O resíduo vítreo B ainda apresenta percentuais expressivos de  $\text{TiO}_2$  (óxido intermediário),  $\text{BaO}$  (densidade e expansão térmica),

$K_2O$  (fluidez, expansão e solubilidade) e  $Fe_2O_3$ , o qual atuará como agente cromóforo ao conferir a coloração amarelo-amarronzado deste vidro. Neste resíduo, o teor de  $CaO$  é menor que a unidade.

Tabela 2. Composição química da amostra do resíduo de vidro B, obtida por fluorescência de raios-X

Óxidos	Teor (%)	Óxidos	Teor (%)	Óxidos	Teor (%)	Óxidos	Teor (%)
$SiO_2$	72,51	$K_2O$	1,56	$Na_2O$	5,53	$NbO$	0,02
$Al_2O_3$	9,10	$CaO$	0,65	$BaO$	3,07	$SrO$	0,02
$TiO_2$	5,63	$ZrO_2$	0,08	$Fe_2O_3$	1,82	$Rb_2O$	0,01

Diante dos resultados obtidos da composição química de ambos os resíduos vítreos, o reaproveitamento destes torna-se atrativo na formulação de massas argilosas, como matérias-primas alternativas, para obtenção de produtos de cerâmica vermelha, uma vez que a predominância de sílica ( $SiO_2$ ) e alumina ( $Al_2O_3$ ) nestes resíduos tende a exercer afinidade com o material argiloso que compõe a massa cerâmica, influenciando na sua plasticidade.

#### Difração de Raios-X

Na Figura 1, encontram-se as curvas difratométricas das amostras de pó dos vidros A e B, através das quais, constata-se que ambos os resíduos vítreos não apresentam fases cristalinas, o que pode ser observado pela inexistência de picos agudos, típicos de materiais cristalinos. Entretanto, pode-se observar uma banda típica amorfa, inerente à presença de sílica nas amostras. Resultados semelhantes também foram obtidos nos estudos de Galvão et al. (2014) e Lima et al. (2011), que caracterizaram outros tipos de resíduos de vidro por difração de raios-X.

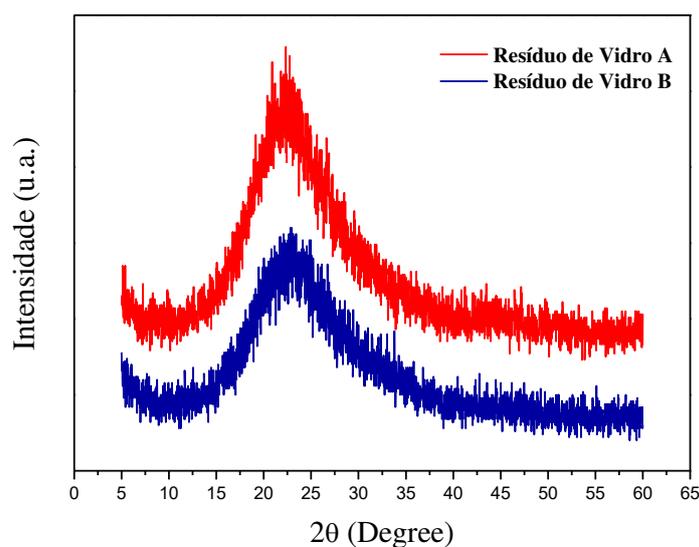


Figura 1. Difratogramas de Raios-X das amostras de pó dos resíduos vítreos estudados.

A referida banda amorfa é evidenciada entre  $15^\circ$  e  $35^\circ$ , para ambas as amostras, com máximo em  $22,34^\circ$  e  $22,96^\circ$  para os resíduos vítreos A e B, respectivamente. Desta forma, os resíduos vítreos analisados caracterizam-se como sólidos amorfos, sem simetria e/ou periodicidade a longo alcance no arranjo atômico (GALVÃO et al., 2014).

#### Conclusão

Com base nos resultados obtidos da caracterização dos resíduos de vidro estudados, constatou-se a relevante importância da incorporação destes, substituindo as matérias-primas naturais não plásticas, em formulações argilosas utilizadas para a obtenção de produtos de cerâmica vermelha. Sendo assim,

estes resíduos influenciarão na plasticidade da mistura, promovendo a redução da absorção de água e da retração linear, além de reduzir os custos para a fabricação do produto final.

Desta forma, o gerenciamento de resíduos de vidro, como novas matérias-primas cerâmicas, constituem uma alternativa econômica e tecnologicamente viável para a redução do montante de resíduos gerados, colaborando com a sustentabilidade e a preservação de matérias-primas naturais, além de promover incentivos a pesquisas voltadas para o desenvolvimento de novos materiais.

Faz-se necessário prosseguir com a pesquisa dos resíduos vítreos estudados neste trabalho, a fim de comprovar a viabilidade da reutilização dos mesmos na indústria cerâmica.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à Farmace pela disponibilidade dos resíduos vítreos estudados, bem como à Universidade Federal do Cariri e à Universidade Federal de Campina Grande, pelo o auxílio para a realização deste trabalho.

### **Referências**

- AKERMAN, M. Natureza Estrutura e Propriedades do Vidro. CETEV - Centro Técnico de Elaboração do Vidro, 2000.
- GALVÃO, Á. C. P.; FARIAS, A. C. M. DE; MENDES, J. U. L. Caracterização do rejeito de vidro sodo-cálcico proveniente do processo de lapidação. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. 2014, Cuiabá. Anais... 2014, p.2421-2429.
- GODINHO, K. O.; HOLANDA, J. N. F.; SILVA, A. G. P. DA. Obtenção e avaliação de propriedades tecnológicas de corpos cerâmicos à base de argila e vidros reciclados. *Cerâmica*, v.51, n.320, p.420-429, 2005.
- MENEZES, R. R.; NEVES, G. DE A.; FERREIRA, H. C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.2, p.303-313, 2002.
- LIMA, N. M. O.; MORAIS, C. R. S.; LIMA, L. M. R. Lixo Eletrônico: Caracterização do vidro do tubo de raios catódicos de computadores para reciclagem. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v.6, n.1, p.59-62, 2011.
- ZACCARON, A. et al. Utilização de Vidro de Garrafas para Redução da Absorção de Água em Produtos de Cerâmica Vermelha. *Cerâmica Industrial*, v.21, n.5-6, p.35-39, 2016.