

INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DA AREIA NA FUSIBILIDADE DO SISTEMA $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-CaO}$

Mendonça, C. F.A.¹; Arantes, V. L.²; Ortega, F. S.³; Albers, A. P. F.⁴

¹UNIVAP/FEAU, Av. Shishima Hifumi, 2911, São José dos Campos –SP

²⁻⁴UNIVAP/IPD, Av. Shishima Hifumi, 2911, São José dos Campos –SP, varantes@univap.br, fortega@univap.br, albers@univap.br

Resumo - Neste trabalho estudou-se a influência da granulometria da areia utilizada como fonte de sílica em uma formulação de vidro do sistema $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-CaO}$ fundido em forno tipo cadinho, bem como os possíveis defeitos decorrentes da fusão incompleta das matérias-primas utilizadas. Para o estudo foram utilizadas faixas granulométricas distintas de areia e após fusão, observou-se o vidro resultante em microscópio óptico de luz transmitida e polarizada. Os defeitos observados foram submetidos ao ensaio de fluorescência de raios X, concluindo-se serem decorrentes da fusão incompleta da sílica. Diante dos resultados obtidos, pode-se determinar que tamanhos de partículas de areia inferiores a $425\mu\text{m}$ (#ABNT 40) resultam em um produto de boa qualidade.

Palavras-chave: Vidro sílica-soda-cal, areia, distribuição granulométrica, fusão.

Área do Conhecimento: III - Engenharias

Introdução

O vidro é um dos materiais mais antigos já utilizados pelo homem, é uma substância inorgânica, homogênea e sem ordenação a longo alcance, geralmente obtida por resfriamento controlado de uma massa em fusão. O vidro distingue-se de outros materiais por várias características: é denso, isento de porosidade, ótimo isolante elétrico (dielétrico), possui baixo coeficiente de dilatação e condutividade térmica, suporta pressões de 5.800 a 10.800 kg/cm². [1]

Estruturalmente, o vidro é formado por três elementos básicos: os formadores de rede (que são a base da estrutura vítrea – no presente trabalho SiO_2); os modificadores de rede (são cátions que modificam a rede, entrando nos espaços vazios do reticulado e/ou quebrando as ligações Si e O); e os estabilizantes de rede (que estabilizam a estrutura, são os principais responsáveis pelas propriedades do material).

A formação do vidro compreende uma série de transformações físicas e reações químicas em altas temperaturas. Durante esses processos, os componentes da mistura passam por várias modificações que incluem transformações cristalinas, evaporação da umidade, desidratação dos sais hidratados, dissolução dos carbonatos e sulfatos, reações entre os elementos químicos, fusão das matérias-primas e dos produtos de reação e a dissolução destes no fundido que está se formando.

Um dos fatores determinantes na utilização da areia como fonte de SiO_2 é a sua granulometria. Embora não haja unanimidade sobre este assunto, são fixados os limites do tamanho de partícula entre 0,1 e 0,3mm para a fusão em cadinho. Em

caso de fornos tipo *float*, pode-se aumentar o limite superior para 0,5mm ou mais, dependendo do ciclo de fusão, mantendo-o sempre abaixo de 1mm.

A proporção de grãos finos de areia (inferiores a 0,1mm) deve ser mínima, geralmente menor que 1%, pois quanto menor o tamanho de partículas, mais reativo se torna o pó, resultando na rápida fusão dessas partículas e um aumento acentuado da viscosidade do sistema, prejudicando sua homogeneização e aumentando o tempo para o refino. [2]

Por outro lado, sabe-se que se o tamanho de partícula da areia for excessivamente grande, estas partículas poderão não se fundir completamente, resultando em defeitos grosseiros no produto final.

O objetivo deste trabalho foi investigar a influência da granulometria da areia utilizada como fonte de SiO_2 no desenvolvimento da fase vítrea no sistema $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-CaO}$.

A escolha da granulometria da areia como foco deste estudo se deu pois a areia é a matéria-prima em maior quantidade na formulação do vidro e geralmente a maior fonte de defeitos, tais como bolhas decorrentes de um processo de refino não satisfatório e partículas não fundidas; além disso, é a matéria-prima mais importante para a formulação do vidro pois é a principal fornecedora de sílica do sistema.

Materiais e Métodos

No desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas cinco matérias-primas, visando a formação de uma fase vítrea com composição química final apresentada na Figura 1.

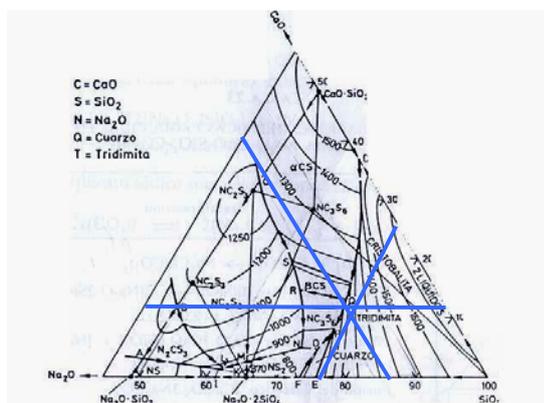


Figura 1: Diagrama ternário de equilíbrio de fases do $\text{SiO}_2\text{-CaO-Na}_2\text{O}$.

A Tabela 1 apresenta a formulação estudada no presente trabalho; vale salientar que não foram adicionados corantes ou agentes de refino, utilizou-se apenas as matérias-primas básicas para a composição de um vidro incolor.

Tabela 1: Formulação utilizada para obtenção do vidro sílica-soda-cal.

Matérias-primas	Porcentagem em peso
Areia	70,76
Dolomita	9,95
Calcário	2,82
Feldspato	2,27
Barrilha	13,73
Total (g)	100,00

Como o objetivo deste trabalho foi investigar a influência da granulometria da areia utilizada como fonte de SiO_2 no desenvolvimento da fase vítrea no sistema $\text{Na}_2\text{O-CaO-SiO}_2$, foram utilizadas diferentes faixas de tamanhos de partículas da matéria-prima em questão.

As diferentes faixas granulométricas foram separadas utilizando-se um conjunto de peneiras malhas 600, 500, 425, 212, 125 μm (malhas ABNT 30, 35, 40, 70 e 120 respectivamente).

A Figura 2 apresenta a distribuição do tamanho de partículas da areia como recebida do fornecedor (curva vermelha) utilizada na composição denominada padrão (C_P). As demais composições foram obtidas com a areia nas diferentes faixas granulométricas, ou seja, $C_{600-500}$ - composição com distribuição de tamanho de partículas entre 600 μm e 500 μm ; da mesma forma para as demais composições $C_{500-425}$, $C_{425-212}$, $C_{212-125}$.

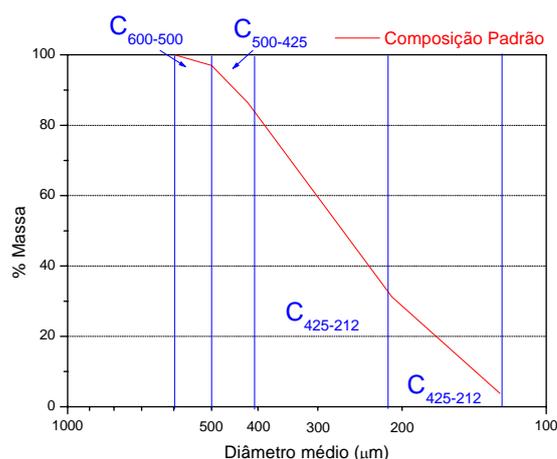


Figura 2: Distribuição dos tamanhos de partículas da areia e as composições estudadas.

As composições foram fundidas em um cadinho com capacidade para 10g. Em todas as composições adicionou-se metaborato de lítio (LiBO_3) para baixar a temperatura de fusão. Todas as composições foram fundidas à mesma temperatura e taxa de aquecimento, sendo a curva de queima apresentada na Figura 3.

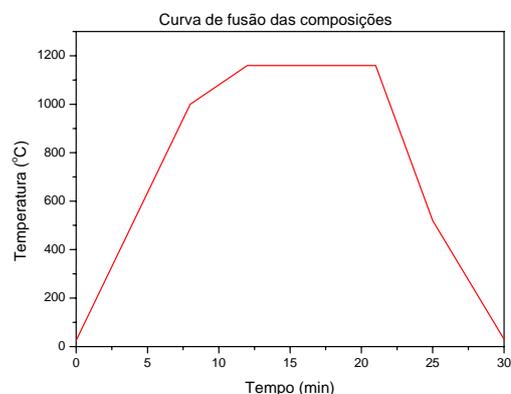


Figura 3: Programa de aquecimento e resfriamento do forno de fusão.

A fusibilidade dos sistemas foi investigada utilizando-se microscopia óptica com luz transmitida e/ou polarizada. Os defeitos resultantes da fusão das composições foram analisados por fluorescência de raios X.

Resultados

As Figuras 4(a) e (b) apresentam os corpos de prova das fusões realizadas com a composição padrão (C_P), na qual utilizou-se a distribuição granulométrica da areia como recebida

do fornecedor. A Figura 5 apresenta o defeito anterior visto por microscopia óptica de luz polarizada.

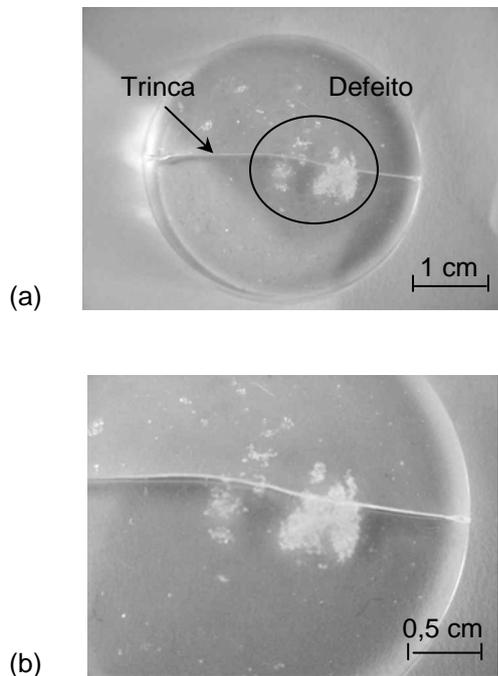


Figura 4: (a) Composição C_P – Granulometria da areia como recebida. (b) Detalhe dos defeitos de fusão.

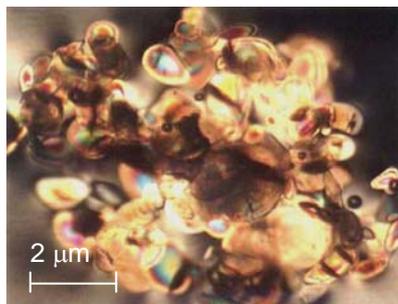


Figura 5: Composição C_P - Defeito classificado como “Primary Batch Stones”.

Os corpos de prova obtidos após fusão das demais composições, encontram-se na Figura 6.

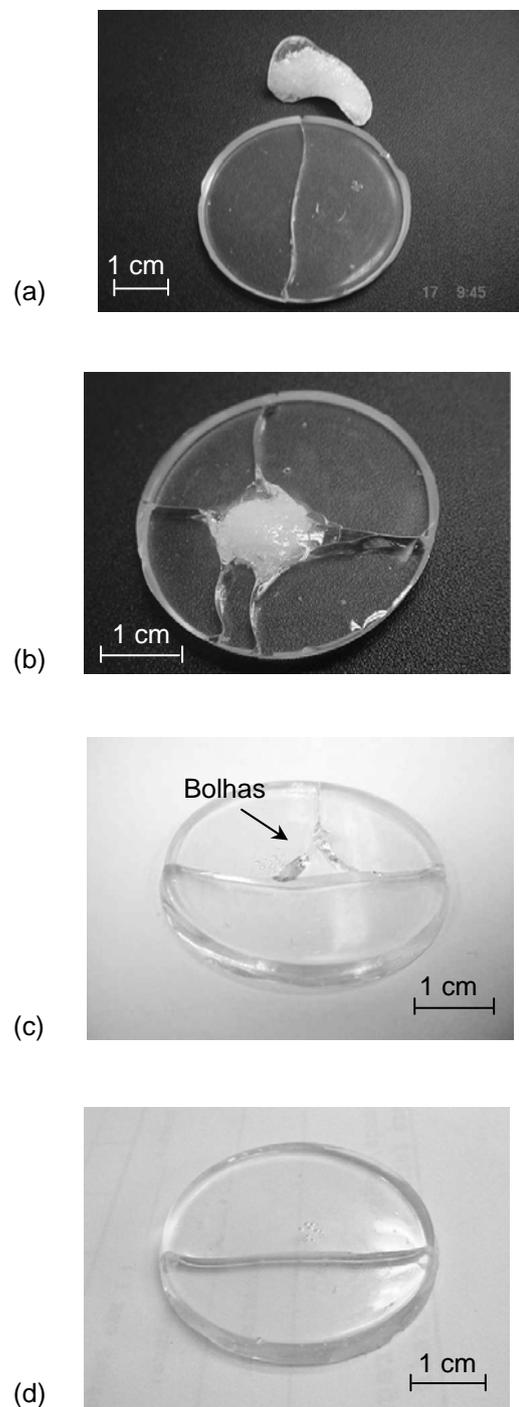


Figura 6: Microscopia óptica das composições após fusão

- (a) Composição $C_{600-500}$ – granulometria da areia entre 600 e 500 μm ;
- (b) Composição $C_{500-425}$ – granulometria da areia entre 500 e 425 μm ;
- (c) Composição $C_{425-212}$ – granulometria da areia entre 425 e 212 μm ;
- (d) Composição $C_{212-125}$ – granulometria da areia entre 212 e 125 μm .

Discussão

Como pode ser visto na Figura 4, a composição C_P apresentou boa fusibilidade, embora foram observadas partículas esbranquiçadas não fundidas. Estas partículas foram analisadas por

microscopia ótica de luz transmitida e polarizada, sendo os resultados apresentados na Figura 5.

Baseando-se na Figura 5 e nos resultados de fluorescência de raios X, foi possível classificar o defeito da composição C_P como sendo defeitos ou inclusões do tipo *Primary Batch Stone* [3] os quais são partículas primárias da composição, especificamente grãos de quartzo decorrente da fusão incompleta da areia. Possuem a coloração branca a olho nu ou com lupa e são coloridos na luz transmitida e polarizada; o formato é irregular e podem ter vários milímetros. Também se observou a presença de bolhas (pontinhos arredondados e escuros – Figura 5), decorrentes da reação de decomposição dos carbonatos. Geralmente esses defeitos (*Primary Batch Stones* e bolhas) são observados concomitantemente [3].

Segundo Taylor [3], neste tipo de defeito geralmente se encontram grãos de quartzo, sílica secundária (tridimita ou cristobalita), bolhas gasosas no interior e ao redor das partículas.

A origem deste defeito pode estar no tempo insuficiente de fusão, na granulometria da matéria-prima disponível ou ainda no teor insuficiente de fundentes.

A composição $C_{600-500}$ não apresentou boa fusibilidade, observou-se a presença de uma grande quantidade de material não fundido visível ao olho humano. O defeito analisado neste corpo de prova é o mesmo da Figura 5, ou seja, quartzo não fundido. Vale salientar que para esta composição o defeito observado foi em quantidade superior a todos os demais, separando-se da massa vítrea fundida e segregando no fundo do cadinho de platina.

Da mesma forma que a anterior, a composição $C_{500-425}$ não apresentou boa fusibilidade, devido à formação de um grande defeito na parte central do corpo de prova, em maior quantidade àquele observado para a composição padrão (C_P). Este defeito se apresentou como uma grande quantidade de material não fundido visível ao olho humano. Com luz polarizada foi possível observar os cristais de material não fundido, grãos de quartzo provenientes da areia.

A composição $C_{425-212}$ apresentou boa fusibilidade, porém defeitos decorrentes de partículas não fundidas ainda foram observados. Estes pequenos defeitos se apresentaram como pequenos pontos brancos, porém em menor quantidade que os defeitos observados para a composição padrão (C_P). Também constatou-se bolhas no interior do vidro, decorrentes da decomposição do carbonato de sódio.

A composição $C_{212-125}$ fundiu completamente, sendo observado a ocorrência de bolhas, decorrentes da decomposição do carbonato de sódio.

Analisando-se os resultados expostos anteriormente, tem-se que na composição padrão

(C_P) foram observados defeitos em decorrência da fusão incompleta do quartzo, da mesma forma que os observados na linha de produção de uma empresa vidreira. Associado ao quartzo não fundido, observou-se também pequenas bolhas.

Ao trabalhar com granulometria mais fina, dentro das condições impostas pelo experimento (utilização de metaborato de lítio), os defeitos praticamente inexisteram ($C_{425-212}$) e especificamente para a composição ($C_{212-125}$), apenas pequenas bolhas decorrentes da decomposição dos carbonatos foram observados. Assim, é possível deduzir que a fração mais grossa (especificamente malha maior que $425\mu\text{m}$), corresponde à apenas 15% da fração total na distribuição granulométrica da areia utilizada e foi responsável pelos defeitos observados na composição padrão (C_P).

Para as composições com granulometrias grossas ($C_{500-425}$ e $C_{600-500}$), como esperado, a quantidade de quartzo não fundido comprometeu completamente a qualidade do produto final.

Conclusão

Segundo a literatura [3] é aconselhável utilizar tamanhos de partículas de areia inferiores à $0,3\text{mm}$ para fusão em fornos tipo cadinho ou $0,5\text{mm}$ para fusão em fornos tipo *float*. No presente trabalho constatou-se que o tamanho de partículas crítico, para a composição estudada e ciclo de fusão utilizado em forno tipo cadinho, é de $425\mu\text{m}$; ou seja, partículas maiores foram as responsáveis pelos defeitos observados. Assim, acredita-se que os defeitos dos vidros de sílica-soda-cal estudados poderiam ser evitados se partículas maiores que $425\mu\text{m}$ fossem retiradas do processo, visto que representam apenas 15% da distribuição granulométrica total da areia.

Referências

- [1] J. M. F. Navarro. El Vidrio. Segunda Edición, Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas – Fundación Centro Nacional del Vidrio, 668 (1991).
- [2] W. D. Kingery. Introduction to Ceramics, Second Edition, John Wiley & Sons, 1032 (1976).
- [3] Taylor, Ron. The Stone Manual, Publicación interna Pilkington (1998).