cbecimat26
26º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Esmeraldas reconstituídas e compostas por diferentes rotas físico-químicas



Antonio Valadão Cardoso[1], Willian Melo[1], Leonardo Humberto Rezende Dos Santos [2], Rosana Aparecida Machado Souto[1], Lara Luz Assis [2], Júlia Silveira Pereira Guimarães[1] e Guilherme Freitas Abreu [1].

Escola de Design - UEMG- BH-MG; 2. Departamento de Química - UFMG-BH-MG

Introdução

->As esmeraldas são ciclossilicatos de berílio e alumínio que cristalizam no sistema hexagonal, formando prismas hexagonais de diferentes dimensões [1].

->Entre os diversos fatores que determinam o valor comercial dessas gemas, o tamanho exerce papel de destaque.

->Na mineração, uma quantidade significativa de material proveniente do processo extrativo é descartada na forma de rejeitos, enquanto outra parcela, contendo fragmentos de esmeralda, é comercializada como “cascalho”.

->As esmeraldas naturais são reconhecidas por apresentarem grande quantidade de inclusões, poros e defeitos de cristalização, características que as tornam suscetíveis à fratura e à fragmentação durante o processamento joalheiro. Mesmo as esmeraldas sintéticas, produzidas por síntese hidrotermal, apresentam inclusões e defeitos semelhantes [2].

-> O potencial de valorização comercial dessas gemas pode ser elevado, especialmente quando o material obtido mimetiza grandes gemas naturais sem alterações significativas de composição química ou perda da estrutura cristalina original [3,4].

Objetivos

->Testar a agregação de “cascalho” (Figura 3) de esmeralda em sólidos de maiores dimensões, dotados de resistência mecânica suficiente para suportar as diferentes etapas de lapidação de gemas, incluindo esforços de compressão.

-> Produzir amostras de vidro de fosfato

->Testar adesivos inorgânicos (vidros de fosfato) e orgânicos para a produção de amostras de esmeraldas compostas e/ou reconstituídas;

->Comparar as propriedades de sólidos obtidos a partir de múltiplos fragmentos.

Metodologia

(1) Microscopia óptica para identificação das morfologias de “cascalho" e de fragmentos;

(2) Seleção de peças que minimizem o volume de vazios entre prismas hexagonais milimétricos de esmeraldas (veja imagens neste pôster);

(3) Técnicas alternativas de adesão entre fragmentos de esmeralda utilizando adesivos orgânicos e inorgânicos.

(4) Nos testes com adesivos inorgânicos, foram utilizados vidros de fosfato de baixo ponto de fusão, processados em forno doméstico de micro-ondas com susceptores de carbeto de silício (SiC) para promover sua fusão.;

(5) Caracterização físico-química das matérias-primas e das amostras obtidas: Difração de raios X - DRX (Malvern), Análise Térmica - DTA-TG (Shimadzu) e Ensaio de Compressão (EMIC DL-2000).

Os centros de cor das esmeraldas são sensíveis a temperaturas elevadas (veja fig. 3). Assim, a sinterização de grãos e fragmentos na presença de fase líquida vítrea deve combinar aquecimento localizado e controle térmico rigoroso,



(a)



(b)

Figura 1- Imagens em (a) e (b) de subproduto da mineração popularmente chamado de cascalho de esmeraldas.



Figura 2-Fusão de vidro de fosfato em Forno micro-ondas 1600 W - cadinho com susceptor de SiC

Resultados e Discussão



Figura 3- (a) Imagens em (a) Esmeraldas [$Be_3Al_2(SiO_3)_6$] brutas; (b) Peças tratadas ao ar a 550ºC - 1h.



Centros de cor da esmeralda são destruídos em temperaturas >500ºC



Vidro de fosfato de baixo ponto de fusão (500-600ºC)



Figura 4- Fritas de vidro de fosfato de baixo ponto de fusão (sistema vítreo P_2O_5-SnO-K_2O-La_2O_3-Cr_2O_3)

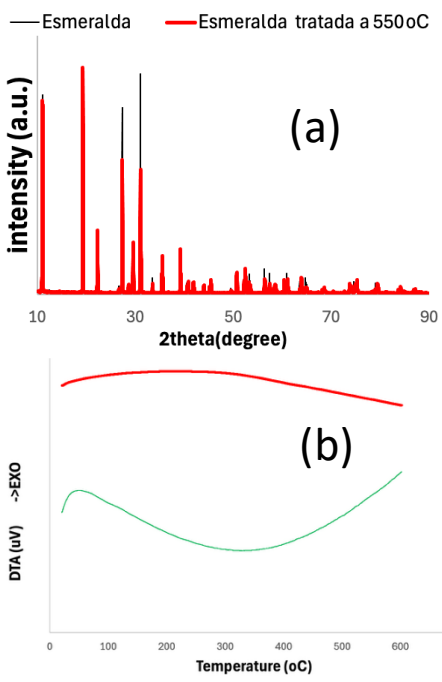


Figura 5 - (a) espectros DRX amostra de esmeralda (linha preta) e Esmeralda tratada a 550 ºC (linha vermelha). Não foram observadas alterações nas fases cristalinas; (b) DTA(linha verde)-TG (vermelha) também não apresentaram alterações. Perda de massa entre 25-600ºC de 0,27%.

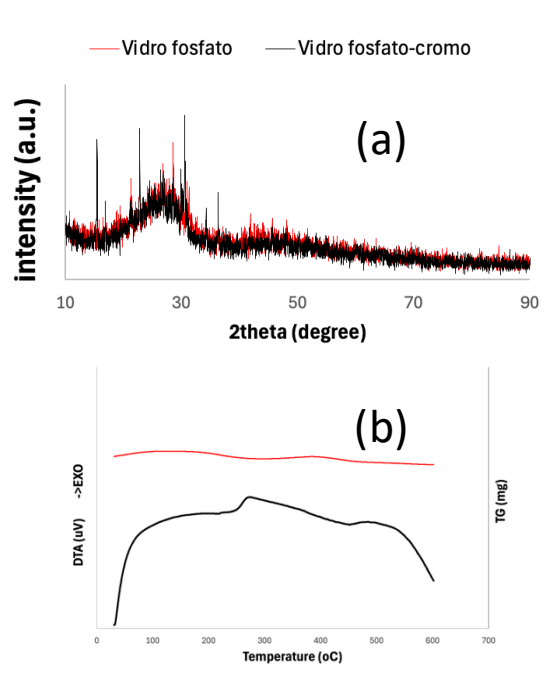


Figura 6 - (a) espectros DRX amostra de vidro de fosfato P_2O_5-K_2O-SnO-La_2O_3 (linha vermelha) e vidro de fosfato-Cr_2O_3 (linha preta). Ambos os vidros apresentam bandas coincidentes em baixo angulo 2teta; (b) DTA (linha preta)-TG (vermelha) também não apresentaram alterações. Perda de massa entre 25-600ºC de 1,1%. Tg = 220 ºC, Tc(pico)=273 ºC. Temperatura de fusão possivelmente iniciando-se em Tl >450 ºC.

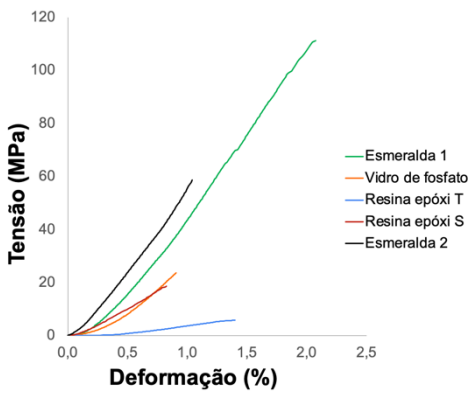


Figura 7 - Curvas tensão–deformação obtidas em ensaios de compressão de amostras de esmeralda, de fragmentos unidos por resinas epóxi transparente (T) e opaca (S), e de vidro de fosfato. Os módulos de compressão aparentes estimados variaram de aproximadamente 0,7 a 5,8 GPa.



Figura 8- Aglomerado experimental de fragmentos de esmeralda unidos por vidro de fosfato contendo óxido de cromo.

Conclusões

Resultados iniciais fortalecem a perspectiva de utilização de sub-produtos da mineração de esmeraldas ($Be_3Al_2(SiO_3)_6$) para obtenção de gemas compostas com dimensões muito maiores do que os sub-produtos. Caracterização físico-química realizada até o momento indicam a possibilidade de que estas gemas compostas possam receber as etapas subsequentes no processo de beneficiamento destas gemas, isto é, lapidação, polimento e cravação.

Referências e Agradecimentos

1- KARAMPELAS, Stefanos; AL-SHAYBANI, Bader; MOHAMED, Fatima; SANGSAWONG, Supharart; AL-ALAWI, Abeer. Emeralds from the most important occurrences: chemical and spectroscopic data. Minerals, v. 9, n. 9, art. 561, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/min9090561; 2- QIAO, Xin; ZHOU, Zhengyu; SCHWARZ, Dietmar Theodor; QI, Lijian; GAO, Jiaxin; NONG, Peizhen; LAI, Meng; GUO, Kaipeng; LI, Yingbo. Study of the differences in infrared spectra of emerald from different mining areas and the controlling factors. The Canadian Mineralogist, v. 57, p. 65–79, 2019. DOI: https://doi.org/10.3749/canmin.1800042; 3- AGROSÌ, G. Colombian trapiche emeralds: recent advances in understanding their formation. Gems & Gemology, v. 51, n. 3, p. 222–259, 2015. DOI: https://doi.org/10.5741/GEMS.51.3.222; 4- NIKOPOULOU, M.; KARAMPELAS, S.; HENNEBOIS, U.; GRUSS, P.; GAILLOU, E.; FRITSCH, E.; HERREWEGHE, A.; PAPADOPOULOU, L.; MELFOS, V.; KANTIRANIS, N.; DELAUNAY, A. Microscopic, spectroscopic and chemical analysis of emeralds from Habachtal, Austria. Minerals, v. 15, n. 1, art. 22, 2025.

Os autores Antonio Valadão Cardoso e Rosana A. M. Souto agradecem à FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais pelo financiamento APQ-04741-24 e Antonio Valadão Cardoso pela bolsa FAPEMIG BIP-00140-23; Antonio Valadão Cardoso também agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (projeto 404383/2023-8), pelo apoio financeiro.