

A irradiação com cobalto-60 e o tratamento térmico no processo de beneficiamento do quartzo hialino

The Green Gold: Irradiation with Cobalt-60 and Heat Treatment in Beneficiation Process of Hyaline Quartz

B. L. A. de Oliveira,^{1,*}; S. R. Barcelos²; F. N. de J. Guedes³

¹ Graduanda em Engenharia de Minas, Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade - MG, Brasil.

² Colégio Universitário Padre de Man, Coronel Fabriciano - MG, Brasil.

³ Departamento de Ciências Exatas Aplicadas e dos Materiais, Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade - MG, Brasil

*email@conta.com.br

Resumo

O Brasil é um importante exportador de gemas, no entanto parte dos minerais é comercializado em sua forma bruta, sem nenhum tratamento, tornando-as um produto de baixo valor econômico. Essas gemas recebem no exterior diversos tipos de tratamento e ao retornarem ao Brasil apresentam preços bem mais elevados. Os cristais de Quartzo, por exemplo, quando submetidos à irradiação, podem ter sua cor alterada para fumê devido à presença elevada de Alumínio e Lítio em sua composição. Após o processo de irradiação, com a exposição da gema a altas temperaturas é possível obter a tonalidade verde-amarelada, conhecida comercialmente como *green gold*. Esta variedade possui um valor muito mais elevado, no mercado de joias, do que gemas de quartzo hialino. Para este estudo foram irradiadas e aquecidas em forno tipo mufla, amostras de Quartzo Hialino, pertencentes a Santa Maria do Suaçuí, Corinto, Diamantina, região de Governador Valadares a Araçuaí. As doses de radiação e temperatura de aquecimento foram medidas através da análise dos espectros gerados pela Espectroscopia de absorção na região do infravermelho, utilizando a técnica de Transformada de Fourier – FTIR.

Palavras-chave: Tratamento de Gemas, Quartzo, Irradiação.

.....

The Brazil is an important exporter of gems, but parts of these minerals are sold in its raw form, without any treatment, making them a product of low economic value. These gems receiving outside many treatment and return to the Brazil with prices much higher. The quartz crystals, for example, when subjected to irradiation, can changed its color to smoky, due to the presence of lithium and aluminum. After the irradiation process, with the exposure of the gems to higher temperatures, it is possible to obtain the color green-yellowish, commercially known as green gold. This variety has a higher value ,on the jewelery market than Hyaline Quartz gems. For this study were irradiated and heated in a muffle furnace, Hyaline Quartz belonging to Santa Maria do Suaçuí, Corinth, Diamantina, Governador Valadares region and Araçuaí. Radiation doses and heating temperature were measured by analysis of spectra generated by absorption spectroscopy in the infrared, using the Fourier transform technique - FTIR.

Keywords: Treatment of Gemstones, Quartz, Irradiation.

1 INTRODUÇÃO

O Quartzo é um mineral muito simples e comumente encontrado na natureza. Composto, quando puro, de um átomo de Silício (Si) e quatro átomos de oxigênio (O), ele é incolor e recebe o nome de Quartzo Hialino, para esta variedade transparente. Sua coloração pode variar para verde, azul, rosa, branco e outras cores, devido a presença de impurezas, que são íons metálicos de elementos como: lítio, potássio, alumínio e ferro.

Atualmente, é possível modificar a coloração do quartzo hialino transparente para verde-amarelado variedade que é conhecida como *green gold*. Para isso, é necessário submeter as gemas do mineral a uma fonte de radiação gama com Cobalto-60 e em seguida expor a gema a uma temperatura por volta de 300 °C. Este processo é um método novo cujo objetivo, além de alterar a coloração do quartzo hialino, é elevar o seu preço no mercado, uma vez que gemas *green gold* possuem um valor muito superior a gemas incolores, no mercado de joias.

A alteração da cor do quartzo através da irradiação gama permite que gemas de quartzo hialino [incolor], após serem irradiadas adquiram a tonalidade fumê [preta]. A mudança de cor ocorre devido a alguns quartzos de regiões específicas portarem alguns elementos químicos em sua estrutura como a formação de centros de cor causada pela substituição da sílica (Si^{4+}), presente na amostra, pelo alumínio (Al^{3+}) e compensação de carga pelo lítio (Li^+) (CORREA, 2010). Após a irradiação as gemas passam por um tratamento térmico e tem sua cor alterada para verde-amarelada, variedade conhecida comercialmente como *green gold*.

A dose ideal de radiação que deve ser empregada no seu beneficiamento pode ser obtida pela Espectrografia de absorção na região do infravermelho utilizando a técnica de Transformada de Fourier – FTIR. O espectro gerado neste ensaio possui quatro bandas e sabe-se que a segunda banda, situada em 3483cm^{-1} é a responsável pelo aparecimento da cor amarelo – esverdeada [*green gold*] e acastanhada. Nesta banda o alumínio é compensado pelo lítio (ALKMIM, 2012). Quanto maior a segunda banda, maior a probabilidade da gema se tornar *Green Gold*.

Neste estudo foram coletadas gemas de Quartzo Hialino provenientes de diferentes cidades do estado de Minas Gerais: Corinto, Diamantina, Araçuaí, Santa Maria do Suaçuí e da região de Governador Valadares. O objetivo é realizar a irradiação e o tratamento térmico de gemas de Quartzo Hialino, na expectativa que essas gemas tornem-se *Green Gold*.

2 METODOLOGIA

2.1 Aquisição e separação dos cristais

As amostras, utilizadas neste trabalho, são provenientes de dois domínios geológicos presentes no estado de Minas Gerais: Serra do Espinhaço e da província pegmatítica oriental. As amostras da Serra do Espinhaço são oriundas das cidades de Diamantina e Corinto e seu modo de ocorrência consistem em depósitos hidrotermais. Já as amostras da Província Pegmatítica Oriental são oriundas das cidades de Araçuaí, Santa Maria do Suaçuí e da região de Governador Valadares e Peçanha. Seu modo de ocorrência é em depósitos pegmatíticos. A aquisição das amostras, utilizadas no experimento, foi realizada por meio de terceiros e algumas delas a partir de contato direto com depósitos. Após sua aquisição, estas foram separadas conforme sua origem e identificadas pelas numerações dos sacos. As

amostras de Araçuaí foram adquiridas de dois depósitos diferentes, por este motivo estão nomeadas de Araçuaí 1 e Araçuaí 2.

2.2 Espectrografia de absorção na região do infravermelho com Transformada de Fourier — FTIR

A Espectrografia de absorção foi utilizada com o objetivo de calcular a dose de radiação que seria empregada e, indiretamente, o tempo de exposição das gemas a altas temperaturas, uma vez que quanto maior a dose de radiação maior seria o tempo de exposição a temperaturas elevadas.

De acordo com Drumond, Mendes e Lameiras (2010), é possível calcular a dose de radiação e a temperatura de aquecimento com base em análises feita nos espectros, na região da segunda banda, situada em 3483cm^{-1} . Esta banda é a responsável pelo aparecimento da cor amarelo – esverdeada [*green gold*], nesta banda o alumínio é compensado pelo lítio (ALKMIM, 2012).

Os ensaios de espectrometria foram realizados no Laboratório de Espectrometria (LABESPEC) do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN). O aparelho utilizado foi o NIR MB Series Spectrometers ABB Bomem. Acoplado ao espectrofotômetro estava um computador com o programa United - GRAMS para o tratamento dos dados. A Figura 1 mostra o equipamento utilizado.



Figura 1 – Espectrofotômetro de infravermelho. Fonte: Arquivo pessoal.

2.3 Separação e preparação das amostras para serem irradiadas

As amostras foram separadas em 10 sacos plásticos, recobertos de papel alumínio e posteriormente enroladas em fita adesiva branca e nomeados de acordo com a localidade e a dose de radiação em: saco 1-10KGy, saco 2-10KGy, saco 2-70KGy, saco 3-10KGy, saco 3-70KGy, saco 4-70KGy, saco 4-400KGy, saco 5-70KGy, saco 5-400KGy e saco 6). Todos os sacos foram enviados ao Laboratório de Irradiação (LIG) da CDNT, com a finalidade de serem irradiadas com a dose estimada em cada saco.

2.4 Irradiação das amostras com raio gama

As doses de radiação aplicadas nas amostras das 6 localidades: Corinto, Diamantina, Santa Maria do Suaçuí, Araçuaí 1, Araçuaí 2 e da região de Governador Valadares, variou

de acordo com a análise, por um especialista, dos espectros gerados por cada mineral analisado. Algumas amostras da mesma localidade receberam doses diferentes de radiação, como mostrado na [Tabela 1](#). O tempo de exposição à radiação não foi fornecido pelo laboratório.

Tabela 1 – *Dose de Radiação. Fonte: elaborada pelas autoras.*

Localidade	Saco	Dose de Radiação	
Diamantina	1	10KGy	
Corinto	2	10KGy	70KGy
Araçuaí 1	3	10KGy	70KGy
Santa Maria do Suaçuí	4	70KGy	400KGy
Araçuaí 2	5	70KGy	400KGy
Próximo a Gov. Valadares	6	70KGy	

2.5 Tratamento térmico

O aquecimento das amostras foi realizado no laboratório de materiais do CDTN, no qual se utilizou um forno tipo Mufla. As amostras de Quartzo receberam o tratamento a temperaturas diferentes, de acordo com a prévia análise dos espectros gerados. As amostras que atingiram uma coloração fraca, isto é, levemente fumê, não foram tratadas termicamente uma vez que não alcançariam o objetivo de se tornar green-gold. As amostras de Santa Maria do Suaçuí (saco 4-70KGy e saco 4-400KGy) foram aquecidas a duas temperaturas diferentes, com a finalidade de se observar a influência das temperaturas na coloração das gemas aquecidas. As temperaturas de aquecimento estão apresentadas na [Tabela 2](#).

Tabela 2 – *Temperatura de aquecimento das amostras. Fonte: elaborada pelas autoras.*

Localidade	Saco	Temperatura	
Diamantina	1	Não foi aquecido	
Corinto	2	360 °C	
Araçuaí 1	3	360 °C	
Santa Maria do Suaçuí	4	200 °C	300 °C
Araçuaí 2	5	360 °C	
Próximo a Gov. Valadares	6	260 °C	

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Amostras de Diamantina

As amostras de Diamantina receberam uma dose de radiação de 10 KGy, entretanto, sua cor praticamente não foi alterada. O motivo da não variação da coloração é devido a sua “pureza”. Provavelmente o teor de alumínio e/ou lítio é baixo para estas amostras. Das doze amostras irradiadas, apenas duas delas adquiriram uma coloração levemente fumê. Por este motivo, não foi realizado o tratamento térmico nas mesmas.

3.2 Amostras de Corinto

As amostras de Corinto receberam doses diferentes de radiação, a fim de observar a influência da dosagem de radiação com a coloração obtida pela gema após a irradiação. Três amostras receberam 10 KGy e se tornaram levemente fumê (Figura 2). Como a coloração obtida foi clara, essas gemas não receberam o tratamento térmico.



Figura 2 – Amostras de Corinto irradiadas com 10 KGy. Fonte: Arquivo pessoal.

Cinco amostras de Corinto receberam 70KGy de radiação e tornaram-se fumê bem intenso. Dessas cinco amostras, três delas foram submetidas ao tratamento térmico, a 360 °C, por um período de 25 minutos e duas delas tornaram-se levemente fumê enquanto que a outra voltou a ser transparente. O fato das amostras diminuírem sua coloração e até mesmo voltar à cor original é devido ao íon Li^+ ter retornado ao centro do buraco eletrônico (ALKMIM, 2012). No espectro gerado pela espectrometria já era possível prever a não alteração de cor devido à baixa altura da segunda banda do espectro.

3.3 Amostras de Araçuaí 1

Sete amostras de Araçuaí 1 foram irradiadas, sendo que três delas receberam a dose de 10 KGy e as outras quatro receberam a dose de 70 KGy. As amostras irradiadas com 10 KGy obtiveram coloração levemente fumê, e podem ser utilizadas na indústria de joias. As amostras não tiveram tratamento térmico, pois a intensidade de cor adquirida foi baixa. As amostras que receberam a dose de 70 KGy, adquiriram uma coloração fumê escura e receberam tratamento térmico a temperatura de 360 °C. As amostras adquiriram coloração diferentes em diferentes intervalos de tempo. Com 15 minutos, duas amostras foram retiradas do forno e uma obteve coloração levemente fumê, enquanto a outra se tornou *green gold*, de excelente qualidade gemológica (Figura 3). Após 30 minutos, as demais amostras que estavam no forno viraram fumê bem clara.

3.4 Amostras de Araçuaí 2

Foram utilizadas apenas duas amostras da região de Araçuaí 2. A primeira amostra foi irradiada com 70 KGy e a segunda com 400 KGy. Ambas adquiriram coloração fumê, bem intensa. A amostra que foi irradiada com 70 KGy não recebeu tratamento térmico, para que pudesse comparar uma gema antes e uma após o tratamento térmico. A amostra que recebeu a dose de 400 KGy foi tratada termicamente à temperatura de 360 °C, só tornando-se *green gold* após duas horas e vinte e dois minutos.



Figura 3 – Amostras de Araçuaí 1, após 15 minutos no forno. Fonte: Arquivo pessoal.

O longo tempo de exposição da gema à temperatura de 360°C está relacionado à elevada dose de radiação. Quanto maior a dose, maior será o tempo que levará para a gema clarear (BARBOSA, 2009). Outro aspecto importante analisado nessa gema foi a não fixação da cor. Após 30 min. de resfriamento a cor foi alterada para verde - fumê. Já, após três dias de irradiação, a cor alterou novamente para fumê levemente esverdeado (Figura 4). A instabilidade da cor após a refrigeração é devida a difusão do Li⁺ (ALKMIM, 2012). A coloração na amostra variou, pois, provavelmente, havia teores diferentes de alumínio e lítio distribuídos neste mineral.



Figura 4 – Alteração de coloração do Quartzo de Araçuaí 2. a) fotografada no momento de retirada no forno murfla. b) fotografada após 30 minutos de resfriamento. c) após 3 dias de resfriamento. Fonte: arquivo pessoal.

3.5 Amostras de Santa Maria do Suaçuí

As amostras de Santa Maria do Suaçuí receberam doses de 70KGy e 400KGy. Ambas apresentaram coloração fumê bem intensa após a irradiação. As amostras que

receberam 70 KGy foram aquecidas a 200 °C e obtiveram colorações diversas em diferentes intervalos de tempo (Figura 5).



Figura 5 – Amostras de Santa Maria do Suaçuí após tratamento térmico. Fonte: Arquivo pessoal.

A cor final das amostras após 25 minutos e 45 minutos foram as mais satisfatórias, entretanto não alcançaram bem o objetivo de ser tornarem *green-gold*. Além disso, algumas amostras tornaram-se levemente fumê. Já no intervalo de 1 hora e 20 minutos, muitas amostras ainda estavam fumês. Entretanto, as amostras que foram irradiadas com dose de 400KGy, tiveram o tratamento térmico a temperatura de 300 °C e obtiveram resultados mais satisfatórios tornando-se *green gold*. As cores foram satisfatórias nos intervalos de 26 e 36 minutos (Figura 6).



Figura 6 – Amostras de Santa Maria do Suaçuí, após o tratamento térmico. Fonte: Arquivo pessoal.

Foi observado que os minerais da região de Santa Maria do Suaçuí sofreram muita fraturação no aquecimento. Uma alternativa para minimizar este problema, seria diminuir a temperatura do forno.

3.6 Amostras da Região de Governador Valadares

As amostras da região próxima a Governador Valadares receberam dose de 70 KGy obtendo coloração. Obtiveram fumê intenso. As amostras foram submetidas ao tratamento térmico à temperatura de 260 °C, obtendo resultados diferentes para diferentes faixas de tempo (Figura 7). Durante o aquecimento essas amostras quase não fraturaram o que é muito positivo para o processo, pois diminui as perdas do material e significa que a temperatura de aquecimento estava ideal para as gemas.



Figura 7 – Amostras da região de Governador Valadares. Fonte: Arquivo pessoal.

A partir dos resultados, com o tratamento térmico, pode-se afirmar que a melhor coloração foi alcançada aos 6 e aos 20 minutos, entretanto, a melhor faixa de tempo para o tratamento térmico foi aos 20 minutos, pois se obteve o maior volume de gemas, com excelente qualidade de cor. As amostras da região de Governador Valadares após um intervalo de tempo grande (1 hora), a temperaturas elevadas, tiveram sua intensidade de cor diminuída, isto ocorre porque o Li^+ , que possui certa mobilidade (difusão) retornou ao centro do “buraco eletrônico” (ALKMIM, 2012).

4 CONCLUSÃO

As amostras de Diamantina e Corinto, provenientes de veios hidrotermais da Serra do Espinhaço, não responderam bem à irradiação e ao tratamento térmico e consequentemente não atenderam ao objetivo de se tornarem *Green Gold*. As amostras apresentaram baixo teor de Lítio e Alumínio em sua estrutura. Já as provenientes de pegmatitos: Santa Maria do Suaçuí, Araçuaí 1, Araçuaí 2 e região de Governador Valadares, atenderam à expectativa de se tornarem *Green Gold*, enquanto que as de Santa Maria do Suaçuí obtiveram melhor coloração para doses mais altas, no caso 400KGy. As amostras da região de Governador Valadares apresentaram o menor tempo de exposição a temperaturas elevadas (6 minutos), obtendo ótimos resultados. Já as amostras de Araçuaí 1, não apresentaram uniformidade na concentração de lítio e/ou alumínio nas diversas gemas que foram irradiadas. Apenas uma amostra tornou-se *green gold*. Por fim a amostra de Araçuaí 2 apresentou instabilidade na coloração após o resfriamento.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALKMIM, D. G. **Identificação do potencial de desenvolvimento de cor em quartzo natural incolor por meio da espectrometria RAMAN**. 2012. Dissertação (Mestrado) — CDTN - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte, 2012.

BARBOSA, C. T. **A cor do citrino: efeitos de irradiação e tratamento térmico**. 2009. UNESP - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, Trabalho de conclusão de curso.

CORREA, M. **Variedades gemológicas de quartzo na Bahia, geologia, mineralogia, causas de cor e técnicas de tratamento**. 2010. Dissertação (Mestrado) — Instituto de Geociência da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

DRUMOND, N. F.; MENDES, J. C.; LAMEIRAS, F. S. Caracterização de quartzo para obtenção de suas variedades gemológicas por irradiação gama e/ou tratamento térmico. **Revista Escola de Minas [online]**, v. 63, n. 3, p. 449–456, 2010.