

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE SENSOR POR TRANSMITÂNCIA DE RAIOS-X, APLICADADO A SEPARAÇÃO DE GEODOS DE ÁGATA

Harley Davidson da Silva Ferreira

Orientador: Ítalo Gonçalves

RESUMO

O Brasil é um dos maiores produtores de geodos de ágata do planeta, o município do Salto do Jacuí, localizado no estado do Rio Grande do Sul, é o maior produtor do país. A região é conhecida também por ser a única ocorrência conhecida de ágatas do tipo Úmbu, um tipo de ágata que possui coloração em tons de azul. A extração dos geodos é feita em garimpos e são empregadas técnicas consideradas rudimentares no processo de seleção dos geodos. Este trabalho teve por objetivo a avaliação da viabilidade técnica do processo de separação de geodos empregando a técnica de separação baseada em sensores a raios-x com o uso do equipamento COMEX Lab-Sorter MSX-400-VL-XR-3D. A análise do comportamento do material mostrou que não é possível se obter uma curva de calibração que satisfaça os critérios para uma seleção automática do material entre geodos maciços e vazios devido a falta de contraste na densidade, porém as imagens geradas possibilitaram a identificação clara dos geodos ôcos, os quais apresentam maior valor de mercado.

Palavras-chave: geodos de ágata, separação baseada em sensores, sensor por transmitância de raios-x.

ABSTRACT

Brazil is one of the biggest agate producers in the planet. Salto do Jacuí town, located in the Rio Grande do Sul state, is the biggest producer in the country. The region is also known for housing the single occurrence of the Umbu agate in the planet, a variety with a blue hue. Geode extraction is done manually with rudimentary techniques. This work aims to assess the viability of automatic geode sorting with X-ray sensors, using the COMEX Lab-Sorter MSX-400-VL-XR-3D equipment. The analysis reveals that automatic sorting is not possible with this specific equipment due to the lack of density contrast between the samples, but the raw data allows a clear identification of the hollow geodes, with greater market value.

Keywords: agate geodes, sensor-based sorting, X-ray.

1 - Introdução

A ágata é uma variedade microcristalina do quartzo, conhecida como calcedônia. Sua estrutura é composta por microporos na ordem de 1 μ m (MIDGLEY, 1951; FOLK & WEAVER, 1952; FONDREL, 1962; HEANEY, 1994 *apud* HEEMANN, 2005), o que permite o seu tingimento através de tratamento químico e térmico. Ela se apresenta normalmente como um material translúcido, em tonalidades de cor amarelo a cinza, possuindo um brilho resinoso e sua ocorrência se dá geralmente com água alojada em seus microporos (HEEMANN, 2005).

O Brasil é um dos maiores produtores de geodos de ágata do planeta, sendo a região do Salto do Jacuí localizada no centro do estado do Rio Grande do Sul cuja localização é ilustrada na Figura 1, conhecida por possuir os maiores depósitos desta gema no país e também ser a maior produtora nacional. Os garimpos do salto do jacuí estão localizados dentro de uma área de 250 Km² também conhecida como Distrito Mineiro do Salto do Jacuí (DMSJ) (SCHIMITT, 1991; SANTOS, 1998 *apud* HEEMANN, 2005).

Além das ágatas encontradas no Rio Grande do Sul, algumas ocorrências também foram encontradas em outros estados do Brasil, como: Espírito Santo, Minas Gerais, Ceará, Bahia, Paraíba e Roraima (SVISERO, 1991; CASSEDAME, 1991 *apud* HEEMANN, 2005). Em âmbito internacional, além do Brasil os países como México, Rússia, Madagascar, Estados Unidos, Austrália e Uruguai apresentam-se como os principais produtores mundiais (MATTOS, 1974; WEBSTER, 1983 *apud* HEEMANN, 2005).

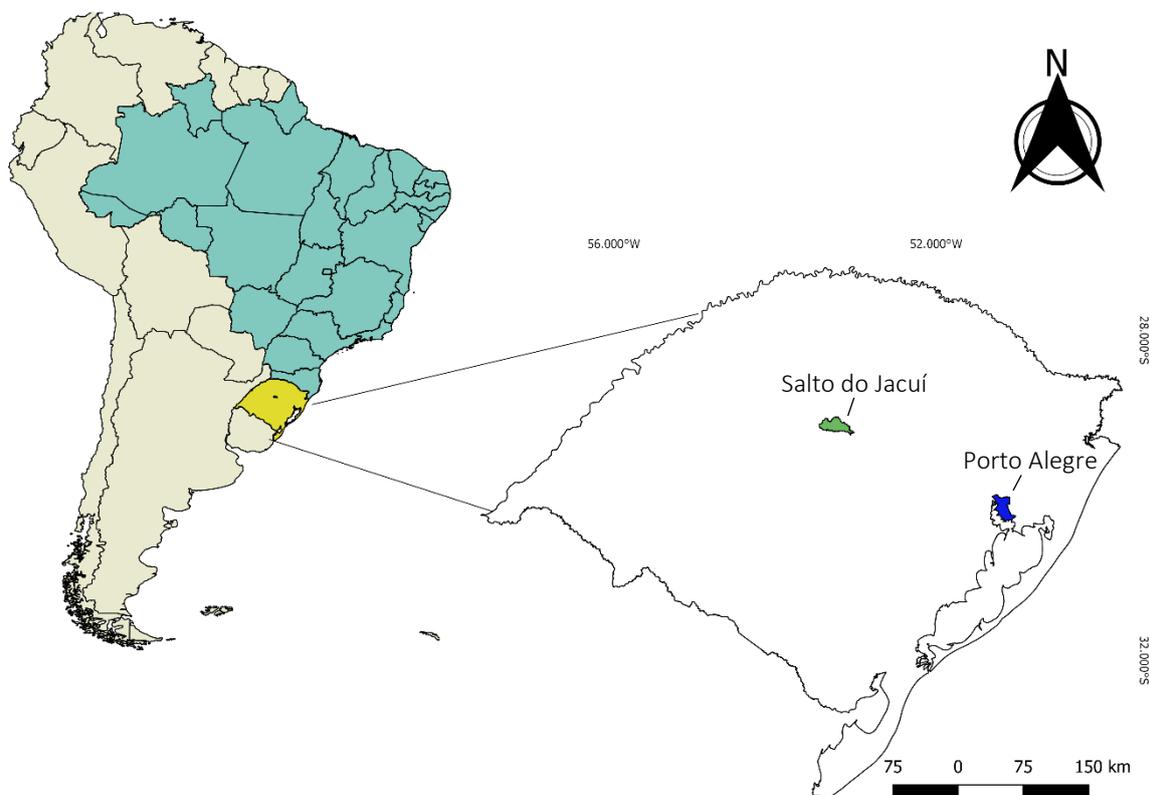


Figura 1 - Mapa de Localização o município Salto do Jacuí

As ágatas extraídas na região do Salto do Jacuí são do tipo Úmbu (Figura 2), sendo a única ocorrência deste tipo conhecida. Este tipo de ágata é muito valorizada dada a sua coloração em tom azul escuro e sua facilidade de tingimento, tendo como destino principal o mercado de externo (HEEMANN, 2005). Além dos geodos preenchidos apenas por ágatas, são encontrados também geodos com quartzo incolor e raras ocorrências de calcita, citrino ou ametista. Sendo que os geodos de ágata com cristais de ametistas, citrino, calcita, ou quartzo com brilho intenso, são muito valorizados (HEEMANN, 2005).



Figura 2 - Ágata Úmbu polida. Fonte: www.cristaisaquarius.com.br

Apesar da importância deste bem mineral, as técnicas empregadas para separação e seleção dos geodos são consideradas rudimentares, sendo a escolha dos geodos realizada de forma manual, onde o que realmente é levado em conta é a experiência do catador. Os geodos usados neste trabalho são destinados para serem usados como corpos moedores na indústria de porcelana e são vendidos por um valor médio de R\$ 0,50/Kg. Porém, segundo a empresa que os vende, um a cada dez dos geodos seriam os chamados geodos ôcos ou porta jóias, destinados a indústria de pedras semi-preciosas e são vendidos a um valor médio de R\$10,0/Kg, o que significaria uma valorização de quase três vezes na mesma tonelada vendida.

Este trabalho teve por objetivo a avaliação da aplicação do método de separação baseada em sensores de raios-x empregados na seleção de geodos de ágata. Tendo como proposta o emprego da técnica na seleção de geodos de pequeno porte, visando a um melhor controle do processo de seleção dos mesmos.

2 - Estado da arte

2.1 - Aspectos geológicos

O DMSJ está inserido dentro da formação Serra Geral (Grupo São Bento) e é constituída por derrames basálticos e dalcíticos (WILSON, 1989 apud HEEMANN, 2005), intercalados com arenitos intertrapps da Formação Botucatu, que estão dispostos em uma área de 250 km² (HEEMANN, 2005). Os derrames da formação Serra Geral ocorrem em 917.000 Km² da região sudeste da América do Sul, cobrindo além do Brasil os países da Argentina, Paraguai e o Uruguai, no estado do Rio Grande do Sul eles ocorrem em toda a parte norte do estado (HEEMANN,2005).

Na Região do DMSJ, a Formação Serra Geral se divide em três zonas principais (LEINZ, 1949; ROISENBERG e CHIES, 1987; ROINSENBERG, 1990 *apud* HEEMANN, 2005):

- zona superior: vidros vulcânicos com coloração em tons de preto e vermelho, brechas e rochas maciças, constituem essa zona.
- zona central: zona mais espessa do derrame, podendo alcançar 60 m de comprimento. Possui ocorrência de juntas horizontais, combinadas a juntas verticais sobrepostas, porém com menor regularidade, podendo ocorrer com aspecto maciço ou fraturadas;
- zona basal: é nessa zona que ocorrem os geodos de ágata, ela é composta por rochas vulcânicas vesiculares a amigdaloides (preenchidas principalmente por calcedônia, carbonatos e quartzo microcristalino);

No município de Salto do Jacuí, ocorrem depósitos de geodos de ágata em derrames mineralizados caracterizados do tipo dacítico (HEMANN, 1997) (Figura 3). Os geodos ocorrem em depósitos de basalto (BOSSI & CAGGIANO, 1974 *apud* HEEMANN, 2005) e são divididos em duas unidades vulcânicas principais, sendo a primeira dacito semi-vítreo inferior e a segunda em basalto vesicular amigdaloidal (HEEMANN, 1997). Esses depósitos se encontram próximos às margens do rio Jacuí e além de serem os maiores do país, são a única ocorrência conhecida de ágata tipo Úmbu.



Figura 3 – Derrame mineralizado com geodos de ágata.

A mineralização que ocorre na região foi descrita por Schimit (1991 *apud* HEEMANN, 2005), e pode ser descritizada como parte de um derrame que possui 4 zonas principais:

- Zona horizontal de topo: a primeira zona deste derrame ocorre com faturamento horizontal;
- Zona amigdalóide: esta zona se caracteriza pela presença de poucos geodos e de pequeno tamanho;
- Zona mineralizada com grandes geodos;
- Zona basáltica: zona constituída por basalto vítreo, com aspecto maciço e pouco fraturado.

Segundo Heemann (1997), a sequência vulcânica apresentada nas frentes de lavra do DMSJ pertence ao grupo regional de basaltos e dacitos glomeropórfiros e, é formada por seis unidades principais, são elas: Dacito Superior; Dacito Semi-Vítreo Superior; Horizonte Argiloso Verde e Amarelo, Dacito Vesicular, Basalto Mineralizado com Geodos de Ágata e por último Dacito Semi-Vítreo Inferior, que estão ilustradas na Figura 4.



Figura 4 – Unidades Vulcânicas do derrame Jacuí.

2.2 - O histórico do processo de extração no município do Salto do Jacuí

Entre 1820 e 1830 com a chegada dos primeiros imigrantes ao Estado do Rio Grande do Sul, deu-se início a extração de geodos de ágata na região do Salto o Jacuí. Os imigrantes em sua maioria italianos e alemães, que já conheciam a ágata e suas aplicações, muito difundidas em seus países de origem, principalmente na cidade alemã Idar-Oberstein, por ter sido grande produtora de ágata e atualmente é um grande centro de lapidação. No Brasil os

munícipios de Lajeado e Soledade, registraram os primeiros garimpos de ágata do país. Hoje em dia, esses depósitos encontram-se praticamente exauridos (HEEMANN, 2005).

No município do Salto do Jacuí o início da exploração começou às margens do rio Jacuí, próximo a Usina Hidrelétrica Maia Filho, onde ocorrem ágatas do tipo Úmbu, nome derivado da antiga fazenda que ficava no local. Com o início da II Guerra mundial, as atividades de extração declinaram, sendo retomadas em 1950, cinco anos após o fim da guerra. Até os anos de 1970, à atividade de extração ainda era executada de forma artesanal, com o uso de pás e picaretas. Apenas em 1975 foram incrementados retro-escavadeiras e tratores de esteira ao processo de extração (Kellermann, 1990-1992 *apud* HEEMANN, 2005).

2.3 - O atual processo de extração dos geodos

Atualmente a extração de geodos de ágata na região é executada por lavra a céu aberto em encosta de morro, como ilustrado a Figura 5.



Figura 5 - Frente de lavra no DMSJ

A lavra é realizada de maneira semi-mecanizada com o uso de retroescavadeiras de esteiras de médio e grande porte que realizam cortes nos flancos dos morros (20 a 60 m de altura), até que se atinja o basalto mineralizado com os geodos de ágata (HEEMANN, 2005). Após atingir o basalto mineralizado com os geodos de ágata, os tratores desagregam então o material e recuam, depositando o material escavado em tiras e é feita a escolha dos geodos, que são selecionados conforme sua forma, a Figura 6 ilustra como é feito o processo.



Figura 6 - Primeira etapa de seleção dos geodos

Os geodos escolhidos seguem para a segunda etapa de classificação e separação. Nessa fase o material que foi escolhido dentro das cavas é disposto em pilhas para que sejam novamente classificados (Figura 7). Nessa fase do processo os critérios de classificação adotados são seu peso, a forma e o tipo de rocha. Afim de saber de que tipo de rocha constitui o geodo, os mesmos são lascados em suas extremidades, o que acaba muitas vezes por desvalorizar o geodo, uma vez que são vendidos por peso.



Figura 7 - Segunda etapa de classificação do geodos

Os geodos são separados em três grupos principais, são eles: geodos completamente preenchidos por quartzo (chamados de sal na linguagem popular); geodos de ágata (chamada popularmente de massa) e os geodos de quartzo parcialmente preenchidos (ou porta-jóias, como é conhecido popularmente).

2.4 - Separação por meio de raios-X

As técnicas de separação baseadas na transmissão de raios-x, permitem uma rápida classificação e separação de materiais de acordo com suas densidades atômicas, estudos com o uso desses sensores usados na separação de minerais de ferro e zinco mostraram sua eficiência contribuindo significativamente para processo de classificação e separação desses minerais (YOUNG, 2017).

A técnica Dual Energy X-Ray Transmission (DE-XRT) é uma técnica não destrutiva que combina medições em dois níveis de energia, possibilitando assim, diferenciar as densidades atômicas de diferentes partículas com alta resolução (PARANHOS, 2015).

O processo de seleção das amostras foi descrito por Staler e Wyatt (1991) e pode ser subdividido em quatro etapas principais:

- Disposição da amostra na correia transportadora;
- Examinação das amostras;
- Análise dos dados pelo computador;
- Separação.

Existem pelo menos dois tipos de aparelhos de separação mecânica de minérios baseada em sensores de raios-X, os chamados sorters. O que os diferencia é a posição do equipamento de raios-x. O equipamento utilizado neste estudo usa um foi o COMEX Lab-Sorter MSX-400-VL-XR-3D, no qual o aparelho de raios-X é colocado perpendicularmente a uma correia transportadora na posição horizontal como ilustra a Figura 9, o outro tipo de sorter, tem o dispositivo de raios-X acoplado no final da correia fazendo com que o material seja analisado pelo equipamento ainda em queda. A figura 8 lista os componentes do equipamento.

Componentes do equipamento COMEX Lab-Sorter MSX-400-VL-XR-3D	
1. Porta de Alimentação;	12. Detectores de varredura dos raios-x;
2. Correia transportadora;	13. Câmera 3D - 1024x1024 pxl com lentes AF 8 mm;
3. Mesa de operação;	14. Laser 8 mW/90°;
4. Central eletrônica e computacional;	15. Sistema pneumático;
5. Partícula de produto	16. Sistema de rejeição (flap).
6. Partícula de rejeito	17. Capa de borracha
7. Câmera de cor para scan de imagem em linha (2098 pxl/RGB);	18. Placa divisora
8. Lâmpadas de LED (120W/8600Lm);	19. Caixa receptora de produto;
9. Central elétrica;	20. Caixa receptora de rejeito;
10. Ar-condicionador;	21. Balanças;
11. Fonte de raios-x 500W/160kV;	

Figura 8 – Componentes do equipamento COMEX Lab-Sorter MSX-400-VL-XR-3D. Retirado de YOUNG, 2017.

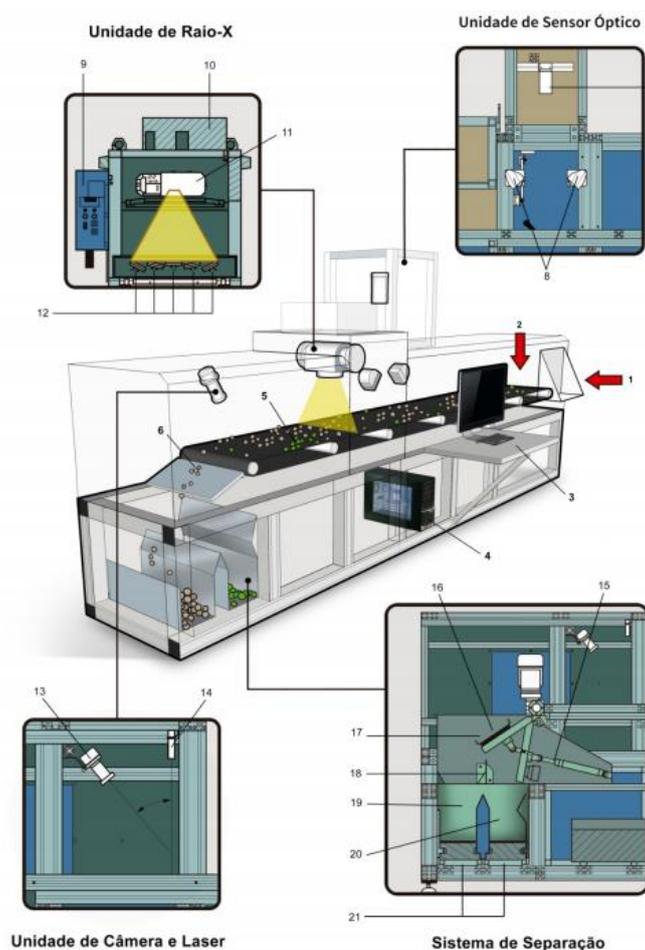


Figura 9 - Perfil esquemático de um aparelho de separação baseada em sensores de raios-x. Retirado de YOUNG, 2017.

O equipamento é composto por uma câmara, onde por meio de uma correia transportadora o material passa por uma fonte de raios-x. Nessa câmara além da fonte emissora de raios-x, também existem sensores para detecção dos mesmos, uma câmera, um sistema para a seleção do material de interesse, podendo ser um sistema de compressão a ar que pode ser substituído por paletas, um sistema de captação das amostras e um computador para processamento dos dados.

2.4.1 - Princípio de funcionamento

O equipamento usado para este tipo de separação usa a radiação enviada a amostra e com a alternância dos campos elétricos e magnéticos no tempo, forma a radiação eletromagnética, possibilitando assim, a separação através do reconhecimento das diferentes densidades atômicas das partículas que é usada como princípio de funcionamento. Existem quatro formas em que a radiação eletromagnética pode interagir com o objeto, ela pode ser absorvida, transmitida, refletida ou espalhada (KUERTEN, 2017).

O transmissor é uma fonte que transmite os raios-X em direção a amostra que passa em uma correia transportadora, localizada entre o transmissor e o detector. Este detector é o responsável por medir a intensidade em que a radiação chega em cada pixel, convertendo em um sinal eletromagnético (KUERTEN, 2017). O processamento destes sinais é feito através de softwares que criam imagens em alta resolução em escalas de cinza, onde os pixels com tons

mais escuros representam a alta absorção e tons mais claros baixa absorção. Com base na diferença das tonalidades o software cria imagens coloridas, assumindo cada intervalo de tonalidade como uma cor diferente (KETELHODT e BERGMANN, 2010).

2.4.2 - Princípios físicos

Os princípios físicos de funcionamento da técnica de separação baseados em sensores de raios-x foram descritos neste trabalho foram escritos por Berwanger e Gaastra (2014, *apud* KUERTEN, 2017).

Os raios-x é um tipo de radiação eletromagnética que podem ocorrer naturalmente, seu comprimento de onda ocorre num intervalo entre 10 e 0,001 nm. Aplicados a diversas situações da sociedade moderna os raios-X foram descobertos e descritos pelo físico alemão Wilhelm Conrad Rontgen no ano de 1895, com a produção da primeira tomografia (*apud* KUERTEN, 2017).

O uso de raios-x artificiais exploram o efeito de Bremsstrahlung através de tubos de raio-x. De origem alemã a palavra Bremsstrahlung, significa a radiação produzida quando cargas elétricas sofrem aceleração e desaceleração, através de um campo de um núcleo eletro magnético. Durante este processo 99% da energia cinética gerada é transformada em energia térmica e apenas 1% é emitida como radiação x. Esses dados são recebidos pelo detector que mede a sua intensidade (KUERTEN, 2017).

Quando os raios-x atenuados são recebidos pelos detectores. A intensidade I dos raios que é medida pelo receptor consiste em informações sobre a medida de intensidade de raios-x atenuado, onde a intensidade I pode ser expressa pela equação 1:

$$I = I_0 * e^{-\mu(\lambda)d} \quad (1)$$

Onde:

I é a intensidade detectada;

I_0 é a intensidade sem perturbação;

μ é o coeficiente de absorção;

λ é o comprimento de onda;

d é a espessura do objeto irradiado.

Afim de expressar a dependência da atenuação e da densidade do material, introduzimos o coeficiente de atenuação mássico pela equação 2:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (2)$$

Onde:

μ_m é o coeficiente de absorção mássico e

ρ é a densidade do material

Substituindo μ por μ_m na equação 1, a equação 3 é resultante para a intensidade detectada será:

$$I = I_0 * e^{-\mu_m(\lambda)\rho d} \quad (3)$$

Para um material constituído de $i=1, \dots, n$ elementos, o coeficiente de atenuação mássico (para um λ dado) é definido como:

$$\mu_{m,eff} = \sum_{i=1}^n f_i \mu_{m,i} \quad (4)$$

Onde

$\mu_{m,i}$ é o coeficiente e absorção mássico para o elemento i e

f_i é o elemento de fração mássica.

Quando ocorre um aumento da espessura e/ou um aumento do coeficiente de atenuação, a absorção dos raios-X incidente nos objetos aumenta. Haja vista, problemas de interpretação podem ocorrer se analisarmos objetos de diferentes espessuras e diferentes densidades atômicas (Kuerten, 2017). Considerando somente a atenuação medida dos raios-X em um único comprimento de onda, a separação destes objetos seria impossível. A solução encontrada para este problema resulta na combinação de duas medições simultâneas, com dois diferentes comprimentos de onda, o Dual Energy X-Ray Transmission (DE-XRT). O parâmetro “espessura do objeto” pode ser eliminado combinando o resultado de duas equações, com duas diferentes intensidades. Sendo I_1 e I_2 intensidades detectadas a dois comprimentos de onda distintos:

$$I_1 = \frac{I_{det,1}}{I_{0,1}} = e^{-\mu_{m,1}(\lambda)\rho d} \quad (5)$$

$$I_2 = \frac{I_{det,2}}{I_{0,2}} = e^{-\mu_{m,2}(\lambda)\rho d} \quad (6)$$

Sendo a relação entre I_1 e I_2 expressa pela equação 7:

$$\frac{I_1}{I_2} = e^{-\mu_{m,1}(\lambda)\rho d - \mu_{m,2}(\lambda)\rho d} = (e^{-\mu_m \rho})^d = C_m^d \quad (7)$$

Onde

C_m é uma constante que depende somente das propriedades do material analisado e dos comprimentos de onda definidos.

2.4.3 – Escaneamento e calibração do equipamento

Para realizar a calibração do equipamento são colocadas em sua esteira amostras de rejeito e produto conhecidas. Elas são então escaneadas e dentre as curvas pré-programadas existentes no aparelho são estabelecidos os valores limites referentes a intensidade de energia relativa toleráveis para realizar uma separação automática do material (*threshold*), como também, da porcentagem da quantidade dos limites de intensidade de energia relativa que serão usados (YOUNG, 2017). A Figura 10, mostra a imagens em dois níveis de energia (Figura 10a e 9b) e a imagem gerada pelo software do equipamento (Figura 10c), de uma calibração realizada para seleção de minério de zinco.

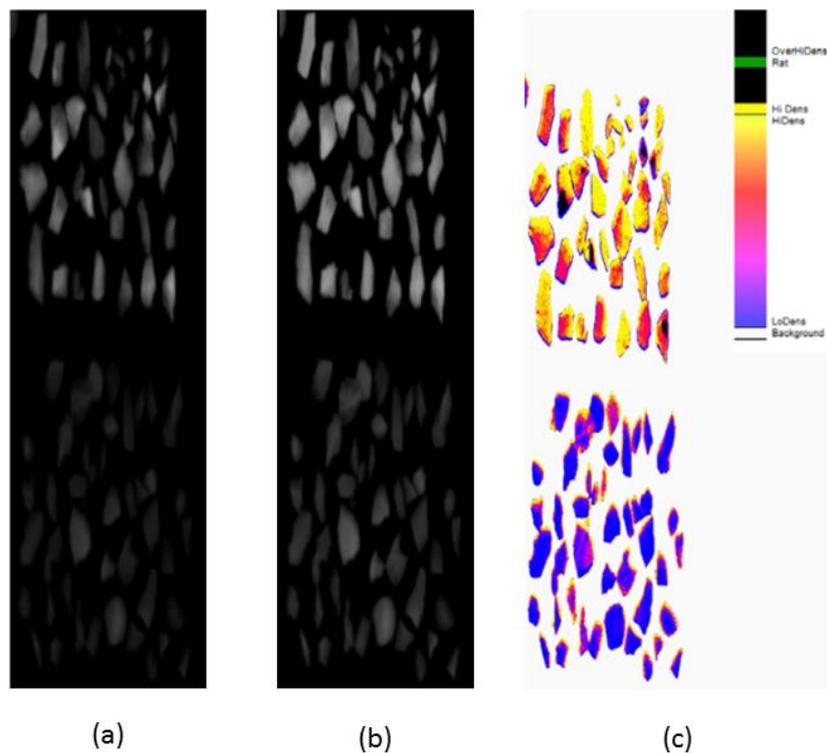


Figura 10 - Imagens de raios-x em dois níveis de intensidade de energia (a e b) e imagem gerada pelo software do equipamento (c). Modificado de YOUNG, 2017.

A escolha de um valor de *threshold* significa a escolha de um *range* de valores de energia de raio-x para ser usado em uma seleção do material. Esse valor é referente ao intervalo

de valores pela qual o valor de intensidade de energia registrado em cada pixel da imagem será contado no processamento. Por exemplo, se os pixels vermelhos tiverem valores de 50 a 100, e foram considerados de produto, o threshold escolhido seria de 50 a 100 (YOUNG, 2017).

O software do equipamento mostra que o range de valores possíveis para a escolha do threshold estão na faixa entre 0 e 255. Se um pixel apresentar um valor igual a 0 significa que o material apresenta uma densidade relativa igual ou inferior aos valores que se comportam dentro da curva de menor densidade relativa, enquanto que valores entre 200 a 255 no pixel, significam densidade relativa maior, ou seja, será gerada uma cor para cada pixel da área do material analisado em relação a escala determinada pela curva da calibração usada (Fe-C, Qtz-C, Fe-Qtz, ou Qtz-REE) (YOUNG, 2017).

A calibração do equipamento é feita após um número de amostras de características conhecidas ser escaneada pelo detector de raios-X e as imagens do material forem processadas com o uso do software do equipamento. Como o equipamento foi projetado para diversos tipos de materiais algumas curvas para calibração estão pré-programadas facilitando o processo de calibração, dentre elas:

- a) Fe-C (curva de calibração para materiais densidade relativa entre os elementos de Ferro e Carbono, massa específica entre 7,90 a 2,27);
- b) Qtz-C (curva de calibração para materiais densidade relativa entre Quartzo e o elemento de Carbono, massa especifica entre 2,67 a 2,27);
- c) Fe-Qtz (curva de calibração para materiais densidade relativa entre Quartzo e o elemento de Ferro, massa especifica entre 7,90 a 2,67);
- d) Qtz-REE (curva de calibração por materiais densidade relativa entre Quartzo e uma curva representando a densidade média das Terras Raras, massa especifica entre 2,67 a 11,52).

Essas curvas são usadas para determinar a escala dinâmica para visualização das partículas. Dependendo da escala usada os valores do pixels são atribuídas diferentes cores possibilitando a visualização das características do material, porém o valor absoluto dos pixels não é modificado.

As imagens que são produzidas pela transmitância de raios-x nos materiais fornecem informações sobre a densidade atômica do material atravessado, por exemplo, um objeto de maior densidade aparece na imagem com brilho reduzido em relação ao outro. A interpretação visual do material ocorre ao examinar o brilho produzido por materiais em duas intensidades diferentes de raios-x (YOUNG, 2017).

Desde que os valores de intensidade de uma partícula esteja no range de calibração do equipamento, representarão no número total de pixels da partícula para o cálculo de porcentagem. Mesmo que a escala usada para visualizar as partículas seja dinâmica e relativa, o valor mínimo da leitura dos raios-X é absoluto (YOUNG, 2017).

3 - Materiais e métodos

Este trabalho foi desenvolvido a partir de três etapas principais: primeiramente foi realizada uma revisão bibliográfica e a definição de um plano de amostragem; a segunda envolveu a amostragem dos geodos e, por fim, foram realizadas as análises em laboratório.

3.1 Amostras de geodo de ágata

Para a realização do trabalho a etapa de amostragem foi realizada na empresa Sul Ágata, localizada no parque industrial do Município de Salto do Jacuí. Foram escolhidos 174 geodos, sendo 10 deles geodos ditos ôcos, ou vazios, 10 geodos do tipo massa de ágata, além de 154 geodos que foram escolhidos de forma aleatória em uma pilha (Figura 11), os geodos dessa pilha seriam destinados para serem usados como corpos moedores para a indústria de porcelana, ao total foram utilizados 52,3 Kg de geodos de ágata no estudo.



Figura 11 – Pilha de material onde foi realizada a amostragem

3.2 - Análises

As análises de raio-x foram realizadas no equipamento COMEX Lab-Sorter MSX-400-VL-XR-3D (Sorter), localizado no Laboratório de Processamento Mineral (LAPROM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

3.3 – Preparação das amostras

Afim de simular condições reais da mina os geodos não foram lavados, nem secos, eles foram apenas identificados. Antes de realizar os testes todos os geodos foram medidos (<100mm) e separados em 4 lotes diferentes, sendo o primeiro o lote com os geodos “ôcos”, o segundo os geodos “massa de ágata” e os outros dois os geodos para separação no equipamento.

3.4 – Escaneamento e calibração

Após a preparação das amostras, 5 amostras do primeiro e 5 do segundo lote foram colocadas na esteira e escaneadas pelo DE-XRT, o número de amostras foi limitado pelo tamanho do equipamento. A Figura 12 mostra os geodos dispostos na correia do equipamento antes de realizar o escaneamento.



Figura 12 - Disposição das amostras na correia do equipamento.

Após o escaneamento, as amostras foram abertas para certificar o conteúdo das mesmas e tentou-se então determinar uma curva de calibração, como descrito acima. Esta curva seria usada como uma curva padrão na separação automática das amostras.

4 – Resultados e discussão

Como mostrado anteriormente o equipamento usa a medida da intensidade de dois raios-x com intensidades diferentes para realizar a separação, sendo uma de alta e outra de baixa intensidade. Para cada intensidade medida o equipamento faz uma imagem em escala de cinza, sendo uma em baixa (Figura 13a) e uma em alta intensidade (Figura 13b) de raios-X.

Com o uso do software os valores pixels das imagens foram então calculados pela razão LE/HE e dipostos em uma única imagem em escala de cinza. A Figura 13c mostra o resultado da junção das duas imagens.

Após a geração da imagem em escala de cinza, é escolhida então uma das curvas pré programadas no equipamento para se definir a curva de calibração. A Figura 13d traz a fotointerpretação das informações obtidas pela imagem em escala de cinza, aplicadas a curva quartzo-carbono, essa curva apresentou a melhor resposta para diferenciação das amostras. Nela podemos observar que não é identificado nenhuma diferença expressiva entre os geodos.

As análises mostraram que as imagens geradas pelo equipamento quando vistas individualmente permitem a identificação clara entre geodos maciços e vazios. Porém o equipamento é configurado para usar as informações das imagens geradas em alta e baixa intensidade (Figuras 13a e 13b) em conjunto pela razão LE/HE, gerando assim uma nova imagem em escala de cinza (Figura 13c) e essa nova imagem é usada para a definição da curva de calibração a partir de umas das curvas pré-programadas (Fe-C, Qtz-C, Fe-Qtz, ou Qtz-REE) no mesmo. A curva que obteve o melhor resultado foi a curva quartzo-carbono (Figura 13d), entretanto, na nova imagem não se obtiveram diferenças significativas para a definição de uma curva de calibração para a realização de uma separação automática entre os geodos. Isto pode ocorrer quando imaginamos que um geodo tem sua densidade atômica praticamente constante, uma solução para esse problema seria usar uma configuração em que o equipamento usasse apenas o sinal de raios-x com apenas uma intensidade de energia

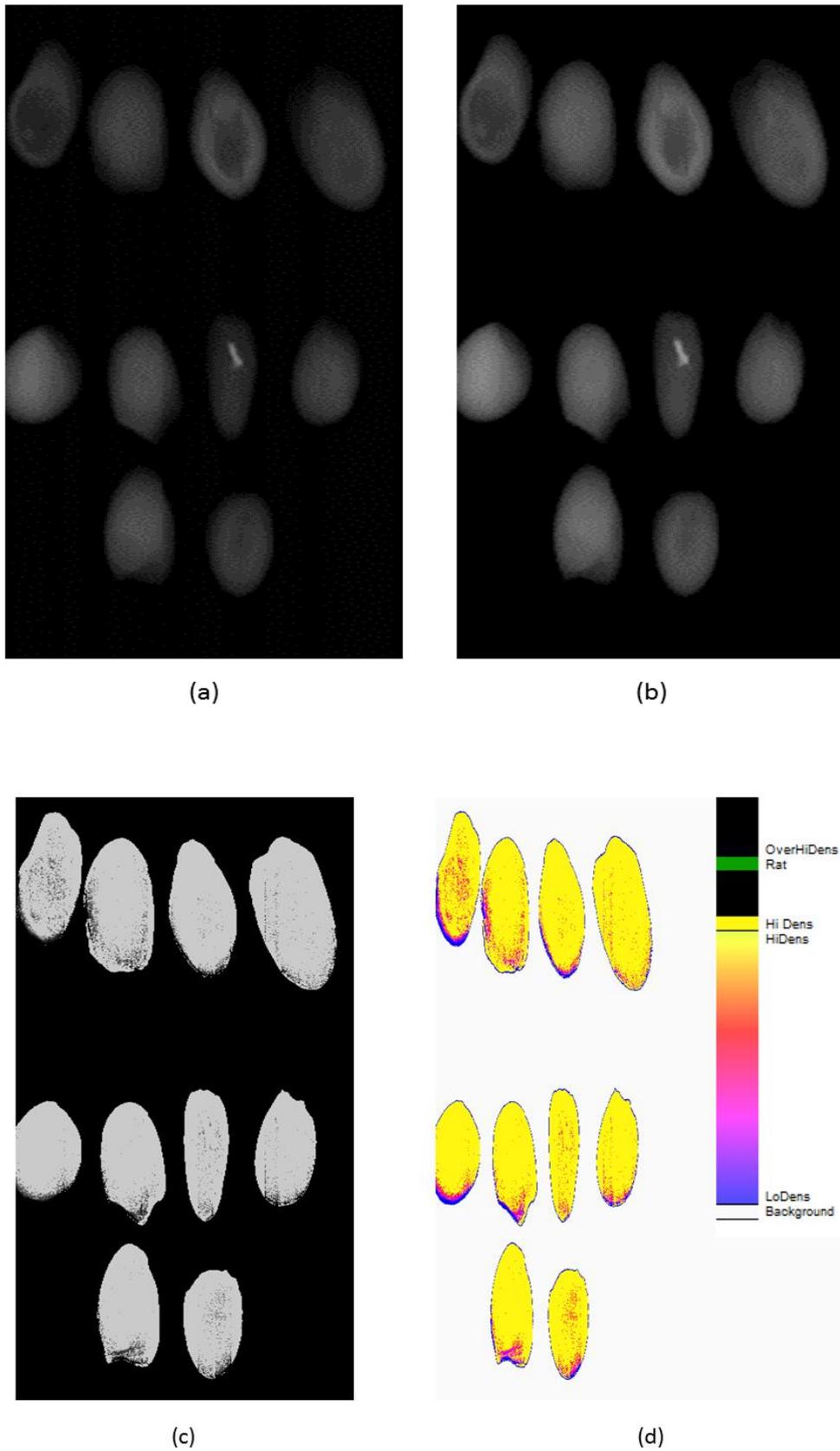


Figura 13 - Imagens em alta (a) e baixa intensidade de raios-x (b), imagem gerada em escala de cinza (c) e imagem gerada pela curva de calibração quartzo-carbono (d).

Após o escaneamento as amostras foram abertas e foi feita uma comparação entre elas e as imagens geradas pelo software do equipamento. Ao analisar as imagens em alta e baixa intensidade de raios-x separadamente, é possível observar que o equipamento traz uma resposta significativa quanto aos geodos estudados. As Figuras 14 e 15 fazem uma comparação entre a imagem em baixa intensidade de energia e a amostra 1, na Figura 14, e a amostra 13 e a imagem em alta intensidade, Figura 15.

Nas Figuras 14 e 15 é possível observar que tanto as imagens em baixa, quanto em alta intensidade de energia fornecem informações significativas devido as diferenças na escala de cinza das imagens, sendo possível ter uma noção sobre a como é dentro do geodo. Na Figura 14 por exemplo, é possível saber que ela é uma amostra oca e ainda se ter uma noção da sua geometria interna. Já na Figura 15, é possível saber que se trata de uma amostra maciça, pois a imagem gerada tem uma tonalidade cinza constante sem variações.



Figura 14 - Comparação entre a amostra 1 aberta e sua imagem em baixa intensidade de energia



Figura 15 - Comparação entre a amostra 13 aberta e sua imagem em alta intensidade de energia.

5 - Conclusão

A análise do comportamento do material mostrou que a definição entre geodos maciços e vazios é possível com o uso de raios-x, tanto para imagens em alta e baixa intensidade de energia. Porém a configuração do equipamento COMEX LabSorter MSX-400-VL-XR-3D mostrou que não é possível se obter uma curva de calibração que satisfaça os critérios para uma seleção automática do material entre geodos vazios e maciços. Isto pode ocorrer pois as amostras de geodos são constituídas pelos mesmos minerais e logo não existe diferença entre a densidade atômica deles. Recomenda-se a realização de estudos com o uso de apenas uma intensidade de raios-x necessários para o maior entendimento de raios-x na seleção de geodos de ágata.

6 – Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer a Adalberto Bertolo (Beto), presidente da empresa Sul Ágata, localizada no município do Salto do Jacuí, ele foi quem abriu as portas de sua empresa e apoiou ativamente para a realização deste estudo. Ao Motorista Herberto Torres Machado (Beto) e ao professor Msc Lenon Melo Ilha, por terem realizado a saída de campo e participarem ativamente da mesma. Ao meu orientador e professor Dr. Ítalo Gonçalves, por encarar a realização desse trabalho. A professora Dr^a Meise Paiva, que me orientou durante alguns anos na Universidade e foi também quem me indicou o professor Ítalo para orientador e por último a pessoa que faz com que esse sonho seja possível, ela que é minha mãe, Solange Gomes Diez.

5 - Referências bibliográficas

GUERREIRO, Fernando Dalla Vecchia et al. A interdição do garimpo e seus impactos no desenvolvimento de Salto do Jacuí-RS entre os anos de 2010 e 2014. 2015.

HEEMANN, R. Modelagem estrutural e tridimensional para prospecção e avaliação de depósitos de Ágata do distrito mineiro de Salto do Jacuí (RS). 2005. 175 folhas. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul-Urgs. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2017.

KUERTEN, A. S. Pré concentração de carvão mineral da Mina de Moatize com tecnologia Sensor Based Sorting-SBS. 25/04/2017. 90 folhas. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul-Urgs. Porto Alegre, Rio Grande do Sul 2017.

PARANHOS, R. S. Caderno Técnico: Separação Baseada em Sensores (SBS), Universidade Federal do Pampa, p 86-90, 2015.

SALTER, J.D. and WYATT, N.P.G. 1991 Sorting in the Minerals Industry: Past, Present and Future, Mineral Engineering, vol. 4, no. 7–11, 1991. Pergamon Press, Great Britain. pp. 779–796

VON KETELHODT, L.; BERGMANN, C. Dual energy X-ray transmission sorting of coal. Journal of the souther African Institute of Mining and Meettallurgy, v. 110, n 7, p 371-278, 2010.

VON KETELHODT, L.; BERGMANN, C. Dual energy X-ray transmission sorting of coal. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, v. 110, n. 7, p. 371-378, 2010.

WOTRUBA, H., PRETZ, Y., NIENHAUS, K. Sensor technologies: Impulses for the raw materials industry. Aachen, 2014.

YOUNG, A. S. Uso da separação automática por sensor de raio X na pré-concentração de minérios: ferro e zinco. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul-Urgs. Porto Alegre, Rio Grande do Sul 2017.