

APLICAÇÕES DA METODOLOGIA PARA ANÁLISE E IDENTIFICAÇÃO DE MINERAIS DO LABORATÓRIO DE ANÁLISE E IDENTIFICAÇÃO DE MATERIAS DO CT-PEDRAS/UPF

APPLICATIONS OF THE METHODOLOGY FOR ANALYSIS AND IDENTIFICATION OF MINERALS OF THE LABORATORY OF MATERIALS ANALYSIS AND IDENTIFICATION OF CT-PEDRAS/UPF

Rudimar Cavalini Becker Jr¹, Thomas Felipe Zibetti², Carlos Edmundo de Abreu e Lima Ipar³, Fernanda da Silva Vilasboas⁴

¹ Universidade de Passo Fundo, Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do RS, Entroncamento das Rodovias RS-471 e RS 332 (perimetral Sul de Soledade), 99300-000 - Soledade – RS – Brasil. E-mail: 129904@upf.br

² Universidade de Passo Fundo, Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do RS, Entroncamento das Rodovias RS-471 e RS 332 (perimetral Sul de Soledade), 99300-000 - Soledade – RS – Brasil. E-mail: thomasfzibetti@upf.br

³ Universidade de Passo Fundo, Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do RS, Entroncamento das Rodovias RS-471 e RS 332 (perimetral Sul de Soledade), 99300-000 - Soledade – RS – Brasil. E-mail: ipar@upf.br

⁴ Universidade de Passo Fundo, Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do RS, Entroncamento das Rodovias RS-471 e RS 332 (perimetral Sul de Soledade), 99300-000 - Soledade – RS – Brasil. E-mail: fernandavilasboas@upf.br

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar de maneira prática a metodologia para análise e identificação de gemas no Laboratório de Análise de Materiais Gemológicos (LAMG) e Laboratório de Análise e Identificação de Materiais (LAIM) do Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias (CTPedras). O centro tecnológico apresenta equipamentos que permitem analisar gemas lapidadas e não-lapidadas de maneira não destrutiva, identificando características e propriedades físicas desses minerais (densidade, isotropia, refração, pleocroísmo, curvas de crescimento e inclusões, clivagem, qualidade de lapidação, composição química, entre outros). Para o seguinte estudo de caso, foram selecionadas de maneira aleatória e conforme disponibilidade, gemas apresentadas de maneira bruta e lapidada. Foram realizados os ensaios, e as propriedades físicas e características identificadas para cada material foram comparados com os valores indicados pela literatura técnica acerca do assunto, realizando a identificação de cada material. Também ficou claro a importância dos laboratórios do CT Pedras nesse contexto e a afirmação da metodologia utilizada para análise e identificação de gemas.

Palavras-chave: metodologia, identificação de minerais, gemas, CT Pedras.

ABSTRACT

The present work aims to analyze in a practical way the methodology for the analysis and identification of gemstones in the Laboratory of Analysis of Gemological Materials (LAMG) and Laboratory of Analysis and Identification of Materials (LAIM) of the Technological Center of Stones, Gems and Jewelry (CTPedras). The technological center has equipment that allows analyse polished and non-polished gems on a non-destructive way, identifying characteristics and physical properties of these materials (density, isotropy, refraction, pleochroism, growth curves and inclusions, cleavage, quality of lapidation, chemical composition, among others). For the following case study, gemstones presented in polished and rough state were randomly selected according availability. The tests were performed and the identified physical properties and characteristics for each material were compared with the values indicated by technical literature about the subject, realizing the identification of each material. It was also clear the importance of the CTPedras laboratories in this context and the affirmation of the methodology used for analysis and identification of gems.

Keywords: methodology, minerals identification, gems, CT Pedras.

1. INTRODUÇÃO

O Estado do Rio Grande do Sul é uma das maiores e mais importantes regiões de produção e consequente fornecedora de pedras preciosas e gemas de cor em âmbito internacional (JUCHEM et al., 2009). A ágata e a ametista, no entanto, são considerados minerais estratégicos devido a sua importância econômica e ao grande volume de produção associado a estes minerais no estado (HARTMANN, 2010).

Segundo Schwab (2015), encontram-se no mercado gemas das mais variadas formas, composições e estruturas, que variam desde naturais a sintéticas e meras imitações em vidro ou mesmo plástico. Isso torna os métodos de reconhecimento e diferenciação fundamentais. Nesse contexto, percebe-se a necessidade e a importância de se submeter as gemas provenientes do mercado a uma análise laboratorial, visando definir e apontar suas características, composição, defeitos e qualquer outro ponto que seja relevante para sua certificação e identificação do mineral.

O Laboratório de Análise e Identificação de Materiais do CT Pedras/UPF possui em sua infraestrutura diversos equipamentos capazes de caracterizar as propriedades dos minerais utilizados na indústria joalheira. Paralelamente, desenvolveu-se uma metodologia para análise, identificação e caracterização de minerais, baseada nos equipamentos disponíveis no laboratório (IPAR et al., 2015; JUCHEM; BRUM; RIPOLL, 2010). Assim, este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo de caso de aplicação desta metodologia em 2 lotes de minerais, visando comparar suas propriedades e características aferidas pelas técnicas disponíveis em laboratório com as propriedades registradas na literatura técnica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção apresenta os materiais, equipamentos e métodos utilizados na execução do presente trabalho.

2.1. Apresentação dos materiais de estudo

Os minerais utilizados para estudo de caso são todos provenientes do comércio de gemas da região do município de Soledade, e são peças do acervo do CT Pedras. Visando tornar o estudo mais amplo, foram escolhidas para análise, gemas nas mais diferentes apresentações, tendo entre elas, pedras brutas, roladas e lapidadas, diferentes formas e cores e com composição e autenticidades desconhecidas. Os minerais utilizados no estudo de caso foram separados em dois lotes com seis amostras cada e estão apresentadas na Figura 1.



Figura 1 - Lotes de minerais selecionados para o estudo de caso.

2.2. Apresentação dos equipamentos

Para realizar a identificação dos minerais e pedras preciosas é necessário combinar o conhecimento de diversas propriedades físicas e ópticas (JUCHEM; BRUM, 2014). Estas propriedades são caracterizadas com o auxílio de equipamentos e técnicas específicas que permitem comparar os valores obtidos com tabelas de identificação (IBGM, 2005). A Figura 2 apresenta os principais equipamentos disponíveis nos laboratórios do CT Pedras/UPF para a caracterização de minerais e materiais gemológicos.

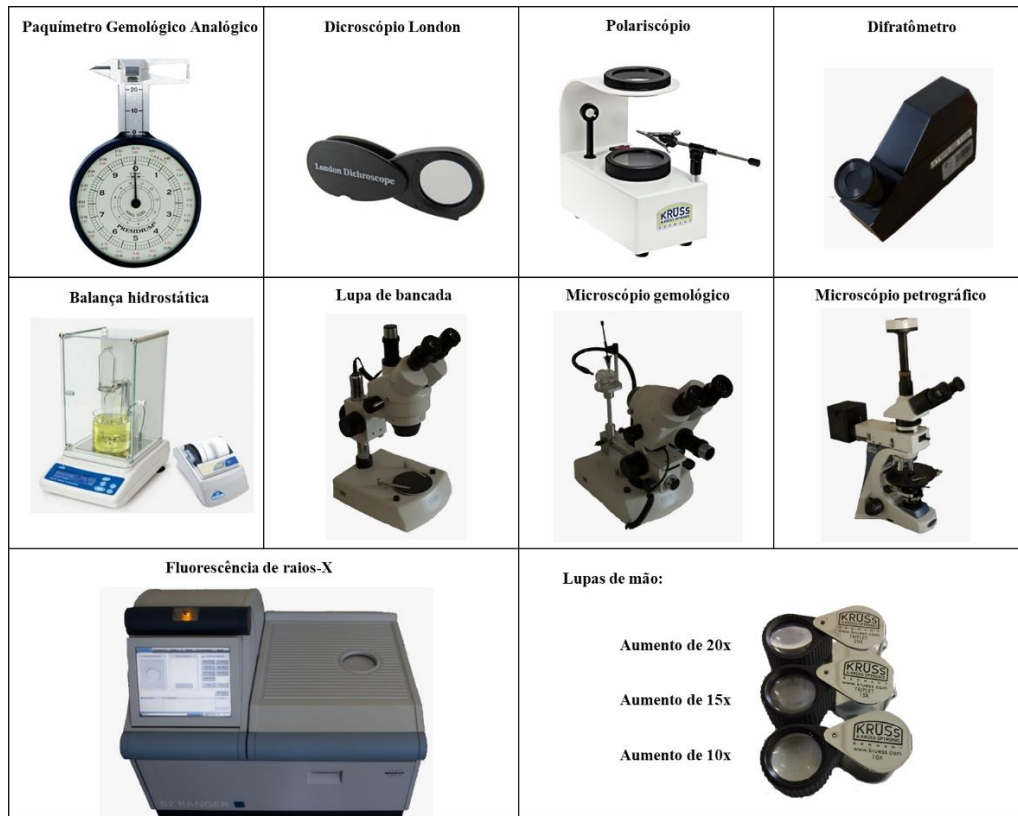


Figura 2 – Equipamentos utilizados na realização do trabalho.

2.2. Metodologia de trabalho

A Figura 3 apresenta um fluxograma básico da metodologia utilizada neste trabalho para análise e identificação das amostras de minerais.

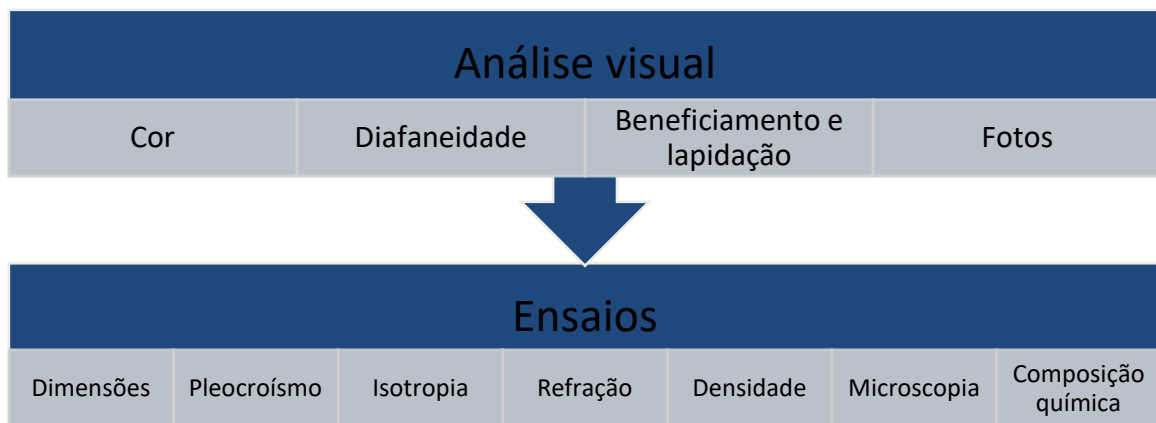


Figura 3 – Metodologia de execução da análise e identificação de minerais utilizada no estudo.

Primeiramente, os minerais em análise passam por uma inspeção visual, onde características como cor, a diáfaneidade ou transparência e o seu estado de beneficiamento são coletadas. Caso a amostra esteja lapidada, realiza-se ainda a identificação do tipo e formato de lapidação, seguido pelo seu registro fotográfico. Lupas de mão com aumento de 10, 15 e 20 vezes, também auxiliados por análises em uma lupa de bancada, podem ser utilizadas para a visualização de imperfeições no mineral e também na lapidação¹, riscos e fraturas na superfície do material.

A segunda fase consiste na execução de uma sequência de ensaios para determinar propriedades físicas, ópticas e químicas. São realizados os seguintes ensaios:

- Coleta das **dimensões** principais da amostra, com auxílio do paquímetro gemológico;
- Identificação do **pleocroísmo**, através do dicróscópio. Identifica-se se a amostra apresenta o fenômeno, sua intensidade e cores;
- Através do polariscópio é possível determinar a **isotropia** dos minerais, o que auxilia na identificação do sistema cristalino e de seu caráter óptico;
- A coleta do **índice de refração** é um dos principais ensaios para identificação gemológica, uma vez que permite obter, além do próprio índice, a confirmação da isotropia ou anisotropia da amostra, o caráter e sinal óptico;
- A medição da **densidade**, realizada com o auxílio de balança para pesagem hidrostática, permite a identificação do peso específico da amostra;
- Ensaios de **microscopia**: através do microscópio gemológico e microscópio petrográfico, é possível observar inclusões e linhas de crescimento forçado, visualizando indícios de que um mineral é natural ou sintético, bem como sua origem e formação;
- A caracterização da **composição química**, através da técnica de fluorescência de raios-X (FRX), permite qualificar e quantificar os elementos químicos presentes no mineral através de seu comportamento quando interagem com a radiação lançada sobre a amostra pelo equipamento.

A partir deste conjunto de ensaios e de propriedades coletadas, os dados são comparados com tabelas gemológicas, o que permite a identificação do mineral analisado. Muitas vezes, a realização de apenas alguns ensaios já permite a caracterização do mineral, como a densidade, o pleocroísmo, a polaridade (isotropia e anisotropia) e o índice de refração. Contudo, quanto maior for o número de propriedades coletadas, maior é a probabilidade de acerto e confiabilidade ao se executar a identificação da amostra. Desta forma, todos os ensaios descritos acima foram realizados em todas as seis amostras dos dois lotes de minerais analisados neste estudo.

Também foram realizadas mais de uma medição de cada propriedade em cada amostra, afim de se identificar erros nas medições e possíveis discrepâncias entre valores medidos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados coletados junto aos equipamentos foram inicialmente inseridos em relatórios técnicos, contendo as principais propriedades físicas e características de cada mineral analisado. Assim, deseja-se criar um banco de dados institucional onde todas as gemas disponíveis no acervo do CT Pedras estejam catalogadas e possam servir como referência para o entendimento da forma e procedimentos realizados na análise e identificação de minerais.

3.1 Propriedades físicas das amostras

Para facilitar o entendimento a visualização dos resultados, as principais propriedades físicas e característica de cada amostra ensaiada estão apresentadas na Figura 04 (Lote 01) e Figura 05 (Lote 02).

¹ Laudos gemológicos somente incluem imperfeições observadas à lupa de 10 aumentos.

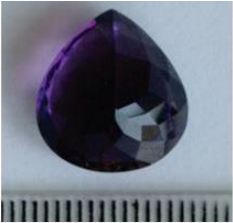
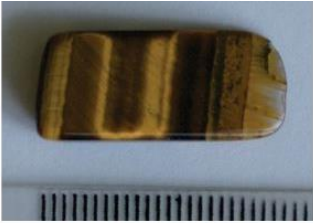
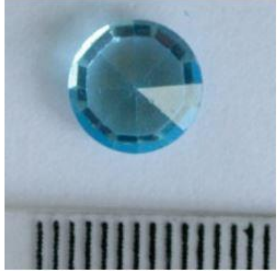
		
AMOSTRA 01 Dimensões: 9,17 x 13,41 x 14,32 (mm) Manufatura: Lapidada Lapidação: Lágrima facetada Massa: 1,872 (g) - 9,36 (ct) Densidade: 2,619 (g/cm³) Cor: Roxa Diafaneidade: Transparente Pleocroísmo: Moderado - Roxo fraco Isotropia: Anisótropa Índice de refração: $n_o = 1,547$ $n_e = 1,555$ $B = 0,008$ <i>Uniaxial positivo - U(+)</i> Composição química: $SiO_2 = 99,00 \%$ <i>Outros = 1,00 %</i>	AMOSTRA 02 Dimensões: 5,13 x 9,99 x 12,01 (mm) Manufatura: Lapidada Lapidação: Oval facetada Massa: 0,628 (g) - 3,14 (ct) Densidade: 2,472 (g/cm³) Cor: Azul Diafaneidade: Transparente Pleocroísmo: não observado Isotropia: Isótropa Índice de refração: 1,510 Composição química: $SiO_2 = 72,79 \%$ $Al_2O_3 = 2,49 \%$ $Na_2O = 11,80 \%$ <i>Outros = 1,61 %</i> $CaO = 5,88 \%$ $K_2O = 5,43 \%$	AMOSTRA 03 Dimensões: 10,60 x 24,00 x 6,18 (mm) Manufatura: Polida Lapidação: - Massa: 2,296 (g) Densidade: 2,668 (g/cm³) Cor: Amarelo amarronzado/preto Diafaneidade: Opaca Pleocroísmo: - Isotropia: Isótropa Índice de refração: 1,545 Composição química: $SiO_2 = 94,46 \%$ $Fe_2O_3 = 3,23 \%$ $Al_2O_3 = 1,19 \%$ <i>Outros = 1,12 %</i>
		
AMOSTRA 04 Dimensões: 36,40 x 15,80 x 15,43 (mm) Manufatura: Bruta Lapidação: - Massa: 26,233 (g) Densidade: 2,640 (g/cm³) Cor: Verde claro Diafaneidade: Opaca Pleocroísmo: - Isotropia: - Índice de refração: - Composição química: $SiO_2 = 94,57 \%$ $Al_2O_3 = 2,66 \%$	AMOSTRA 05 Dimensões: 14,73 x 14,73 x 6,08 (mm) Manufatura: Polida Lapidação: Cabochão Massa: 1,905 (g) Densidade: 2,453 (g/cm³) Cor: Violeta Diafaneidade: Opaca Pleocroísmo: não observado Isotropia: Isótropa Índice de refração: 1,541 Composição química: $SiO_2 = 98,26 \%$ $Al_2O_3 = 1,11 \%$	AMOSTRA 06 Dimensões: 5,66 x 8,19 x 8,19 (mm) Manufatura: Lapidada Lapidação: 8/8 Massa: 0,466 (g) - 2,330 (ct) Densidade: 3,212 (g/cm³) Cor: Azul fraco Diafaneidade: Transparente Pleocroísmo: não observado Isotropia: Isótropa Índice de refração: 1,590 Composição química: $SiO_2 = 47,98 \%$ $MgO = 3,40 \%$ $PbO = 27,42 \%$ $ZnO = 2,70 \%$

Figura 4 – Propriedades identificadas para cada amostra do Lote 01.

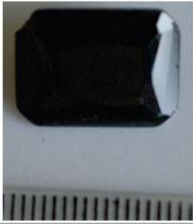
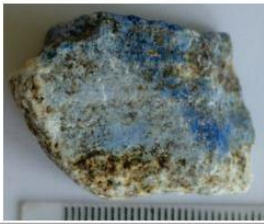
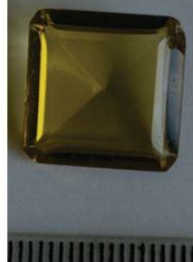
		
AMOSTRA 01 Dimensões: 11,60 x 15,91 x 7,09 (mm) Manufatura: Lapidada Lapidação: Tesoura facetada Massa: 3,893 (g) - 19,465 (ct) Densidade: 5,810 (g/cm³) Cor: Preta Diafaneidade: Opaca-reflexiva Pleocroísmo: - Isotropia: - Índice de refração: - Composição química: ZrO₂ = 62,72 % Al₂O₃ = 0,86 % P₂O₅ = 16,61 % MgO = 0,80 % Y₂O₃ = 13,47 % Outros = 2,67 % SiO₂ = 2,87 %	AMOSTRA 02 Dimensões: 10,09 x 12,19 x 5,35 (mm) Manufatura: Lapidada Lapidação: Oval facetada Massa: 0,669 (g) - 3,345 (ct) Densidade: 2,497 (g/cm³) Cor: Cristal/transparente Diafaneidade: Transparente Pleocroísmo: não observado Isotropia: Isótropa Índice de refração: 1,510 Composição química: SiO₂ = 63,04 % K₂O = 3,12 % Na₂O = 11,50 % BaO = 2,72 % CaO = 9,16 % SO₃ = 1,61 % Al₂O₃ = 3,93 % Outros = 0,85 %	AMOSTRA 03 Dimensões: 36,12 x 26,90 x 16,80 (mm) Manufatura: Bruta Lapidação: - Massa: 26,850 (g) Densidade: 2,970 (g/cm³) Cor: Azul Diafaneidade: Opaca Pleocroísmo: - Isotropia: - Índice de refração: - Composição química: SiO₂ = 44,50 % K₂O = 4,61 % CaO = 15,12 % Fe₂O₃ = 4,05 % Al₂O₃ = 15,01 % Na₂O = 3,10 % MgO = 11,50 % Outros = 2,11 %
		
AMOSTRA 04 Dimensões: 7,38 x 15,00 x 14,90 (mm) Manufatura: Lapidada Lapidação: Quadrada facetada Massa: 2,482 (g) - 12,410 (ct) Densidade: 2,449 (g/cm³) Cor: Amarelo Diafaneidade: Transparente Pleocroísmo: não observado Isotropia: Isótropa Índice de refração: 1,519 Composição química: SiO₂ = 65,78 % Al₂O₃ = 1,00 % K₂O = 11,78 % BaO = 0,98 % CaO = 10,05 % Outros = 2,01 % Na₂O = 8,40 %	AMOSTRA 05 Dimensões: 10,25 x 12,38 x 22,36 (mm) Manufatura: Rolada Lapidação: - Massa: 4,159 (g) Densidade: 2,629 (g/cm³) Cor: Rosa fraco Diafaneidade: Transparente Pleocroísmo: Fraco - rosa Isotropia: Isótropa Índice de refração: n_o = 1,545 n_e = 1,559 B = 0,014 Uniaxial positivo - U(+) Composição química: SiO₂ = 99,64 % Outros = 0,33 %	AMOSTRA 06 Dimensões: 9,60 x 13,86 x 5,79 (mm) Manufatura: Lapidada Lapidação: Retangular facetada Massa: 0,918 (g) - 4,950 (ct) Densidade: 2,570 (g/cm³) Cor: Lilás fraco Diafaneidade: Transparente Pleocroísmo: não observado Isotropia: Isótropa Índice de refração: 1,526 Composição química: SiO₂ = 48,44 % ZnO = 2,82 % PbO = 31,19 % MgO = 2,20 % K₂O = 6,90 % Al₂O₃ = 1,05 % Na₂O = 6,10 % Outros = 1,30 %

Figura 5 – Propriedades identificadas para cada amostra do Lote 02.

3.2. Análise de microscopia

Através da análise de microscopia, realizada com auxílio da lupa de bancada, microscópio gemológico de imersão e microscópio petrográfico, foram coletadas e registrados na base de dados da cada amostra, diversas imagens referentes a imperfeições observadas, qualidade da lapidação, linhas de crescimento e inclusões, além de outras características só observáveis com auxílio de lentes de aumento. A Figura 6 apresenta algumas imagens obtidas com o auxílio dos microscópios ópticos disponíveis no CT Pedras.

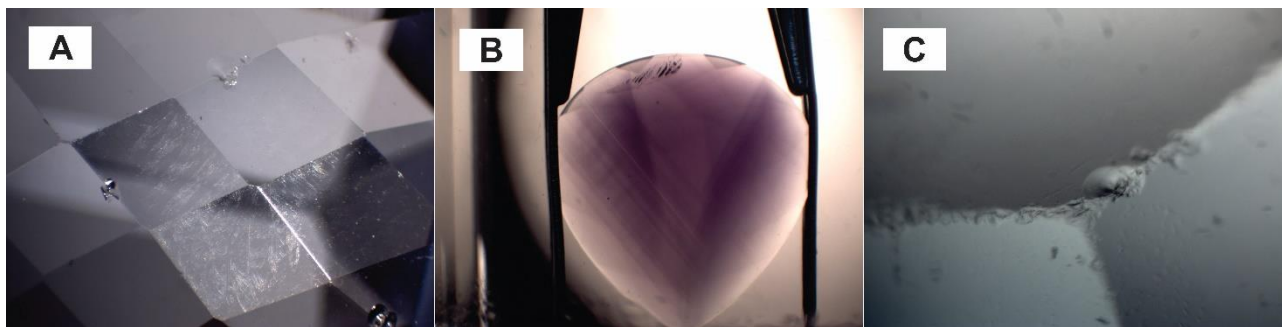


Figura 6 – Imagens das amostras analisadas através da microscopia óptica. Em a) amostra 06 do lote 2 observada à lupa de bancada com aumento de 40X. Em b) amostra 01 do lote 01 observada ao microscópio de imersão com aumento de 10x. Em c) amostra 06 do lote 01 observada ao microscópio petrográfico com aumento de 400x.

Na Figura 6A, é possível observar, com o auxílio da lupa de bancada, detalhes da superfície da amostra 06 do lote 02. São visíveis os desencontros entre as facetas na lapidação, bem como falhas e/ou riscos de polimento em toda a extensão das facetas.

Na Figura 6B, visualiza-se a amostra 01 do lote 01 através do microscópio gemológico imersa em óleo mineral. Ficam visíveis nessa figura, as linhas aproximadamente paralelas dispostas em um em um ângulo aproximado de 45° seguindo constante por toda a amostra, não variando conforme as faces lapidadas. Percebe-se também na parte superior esquerda, um início de quebra (manchas pretas), imperceptível sem o auxílio do equipamento.

A Figura 6C apresenta uma imagem obtida através do microscópio petrográfico da amostra 06 do lote 01, com um aumento de 400 vezes. Nesta, percebem-se micro defeitos entre as facetas e a presença de muitas bolhas no interior do material analisado, assim como a forma em que ocorre o lascamento na borda do material.

3.2. Análise comparativa - identificação das amostras

Para realizar a identificação das amostras dos materiais gemológico, os resultados obtidos através dos ensaios foram comparados com a literatura técnica acerca do assunto gemas e minerais, mais especificamente com IBGM (2005), Gunther (1980) e Henn e Milisenda (2015). Como nem todos os materiais analisados apresentaram-se como gemas naturais, Scholze (1991) e Bansal e Doremus (1986) também foram consultados para comparação dos resultados. Para interpretação e melhor entendimento, cada identificação de amostra é apresentada e comentada individualmente:

LOTE 01:

- Amostra 01 - **AMESTISTA**: todos as propriedades medidas correspondem com as apresentadas pela literatura;
- Amostra 02 – **VIDRO**: densidade, índice de refração e composição química condizem com as indicadas na literatura para os vidros;
- Amostra 03 – **OLHO DE TIGRE**: todas as propriedades medidas correspondem com as apresentadas pela literatura;
- Amostra 04 – **CRISOPRÁSIO**: todos as propriedades medidas correspondem com as apresentadas pela literatura para as calcedônias. Sua coloração verde indica a nomenclatura de crisoprásio;
- Amostra 05 – **ÁGATA**: todos as propriedades medidas correspondem com a apresentada pela literatura para as calcedônias. Sua coloração e tratamento térmico indicam a nomenclatura de ágata;
- Amostra 06 – **VIDRO**: densidade, índice de refração e composição química condizem com as indicadas na literatura para os vidros.

LOTE 02:

- Amostra 01 - **ZIRCÔNIA**: a densidade medida é exatamente a que a literatura apresenta para a zircônia. A composição química da amostra também apresentou mais de 60% de dióxido de zircônio;
- Amostra 02 – **VIDRO**: densidade, índice de refração e composição química condizem com as indicadas na literatura para os vidros;
- Amostra 03 – **LÁPIS-LAZÚLI**: a densidade medida da amostra está dentro do *range* apresentado pela literatura para esse mineral. Sua estrutura observada pela microscopia formada por veios azul e branco também auxiliou na sua identificação. Como se trata de uma rocha e não de um único mineral, sua composição varia muito conforme os minerais presentes, como visualizado nos ensaios de composição química;
- Amostra 04 - **VIDRO**: densidade, índice de refração e composição química condizem com as indicadas na literatura para os vidros;
- Amostra 05 – **QUARTZO ROSA**: todas as propriedades medidas correspondem com a apresentada pela literatura para espécie mineral dos quartzos na variedade de quartzo rosa;
- Amostra 06 - **VIDRO**: densidade, índice de refração e composição química condizem com as indicadas na literatura para os vidros.

4. CONCLUSÃO

Ensaio isolados acabam gerando dúvidas para a tomada de decisões, mas quando várias propriedades medidas apontam para a mesma direção, isso torna mais fácil a identificação do material analisado. Este trabalho apresentou a aplicação de uma metodologia para análise e identificação de minerais, onde dois lotes de seis amostras cada foram submetidas a diversos ensaios e posteriormente identificadas com base em suas propriedades físicas, ópticas e químicas.

Ensaio para identificação de densidade, microscopia e fluorescência de raios-X também podem ser utilizados não apenas em gemas lapidadas, mas minerais brutos, caso de duas amostras do presente estudo, ampliando a gama de análises do laboratório para outras classes de rochas e minerais.

Este estudo de caso teve por finalidade aplicar e validar a utilização da Metodologia de Análise e Identificação de Minerais utilizada no CT Pedras/UPF com algumas amostras disponíveis no acervo didático do laboratório. Pretende-se formar um banco de dados completo com todas as amostras do laboratório, servindo para futuras consultas, comparações, treinamentos e cursos de capacitações a serem oferecidos pelo CT Pedras.

5. REFERÊNCIAS

BANSAL, Narottan P.; DOREMUS, R. H.. **Handbook of Glass Properties**. Troy, NY: Academic Press, Inc., 1986. p. 620.

Gunther, Birgit. **Tables of Gemstone Identification**. Idar-Oberstein: Verlagsbuchhandlung Birgit Gunther (publishing house), 1980. p. 1-256.

HENN, U; MILISENDA, CLAUDIO C. **Gemmological Tables for the identification of gemstones, synthetic stones, artificial products and imitations**. KRÜSS Optronic. Germany, 2015.

HARTMANN, L. A. Minerais estratégicos do sul do Brasil: geologia de geodos de ametista e ágata. In: HARTMANN, L. A.; SILVA, J. T. DA (Eds.). **Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração**. 1st. ed. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2010. p. 30–39.

IBGM. **Manual Técnico de Gemas**. 3 ed. ed. Brasília: DNPM, 2005.

IPAR, C. E. DE A. E L. et al. Metodologia de análise, identificação e certificação de minerais. In: DONATO, M.; DUARTE, L. DA C.; HARTMANN, L. A. (Eds.). . **Inovação, Design e Pesquisas aplicadas em Gemas, Joias e Mineração**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2015. p. 26–33.

JUCHEM, P. L. et al. **Potencial Gemológico da região Sul do Brasil**. I Seminário sobre Design e Gemologia de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul. **Anais...**Soledade: 2009

JUCHEM, P. L.; BRUM, T. **Curso Básico de Gemologia** (Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Porto Alegre, 2014. (Apostila).

JUCHEM, P. L.; BRUM, T. M.; RIPOLL, V. O Laboratório de Gemologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. In: HARTMANN, L. A.; SILVA, J. T. (Eds.). . **Tecnologias para o setor de gemas e joias**. 1. ed. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2010. p. 133–147.

SCHOLZE, Horst. *Glass: Nature, Structure and Properties*. Wurzburg, Ger: Springer-Verlag Heidelberg-Berlin, 1991. p. 464.

SCHWAB, F. A.; DUARTE, L. DA C.; JUCHEM, P. L. Análise e identificação de gemas: ametista natural, sintética, reconstituída ou imitação. In: DONATO, M.; DUARTE, L. DA C.; HARTMANN, L. A. (Eds.). **Inovação, Design e Pesquisas aplicadas em Gemas, Joias e Mineração**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2015. p. 156.