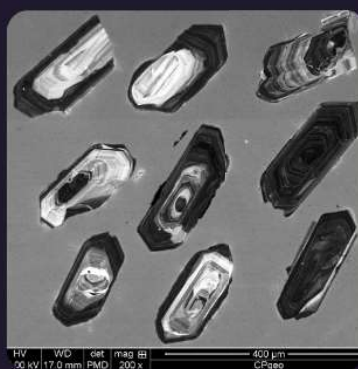


SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA

CONTRIBUIÇÕES À GEOLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL E DE SANTA CATARINA

ANDRÉA RITTER JELINEK
CARLOS AUGUSTO SOMMER



IMAGENS DE CAPA E CONTRACAPA



Fotografia aérea do setor norte da Serra do Segredo, em Caçapava do Sul, RS, onde se destacam a Pedra do Segredo, em primeiro plano, e a Pedra da Abelha, logo à esquerda, geofórmulas esculpidas sobre conglomerados fluviais da Bacia do Camaquã. Ao fundo, alguns cerros formados por rochas metamórficas e o imponente alto de Caçapava, sobre granitoides diversos, rochas que registram diferentes momentos do Ciclo Brasileiro no sul do Brasil. A paisagem faz parte do Geoparque Caçapava Aspirante Unesco e é parcialmente inserida no Parque Natural Municipal da Pedra do Segredo. Imagem obtida por Felipe Guadagnin. Legenda de André Weissheimer de Borba e Felipe Guadagnin.



Contato entre rochas sedimentares da Bacia do Paraná e soleira de diabásio do Grupo Serra Geral. Pedreira Carollo, região de Montenegro, RS. Imagem e legenda de Carlos Augusto Sommer.

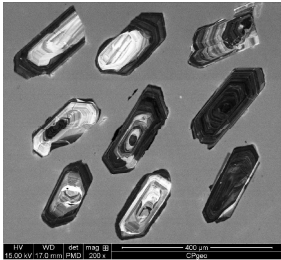


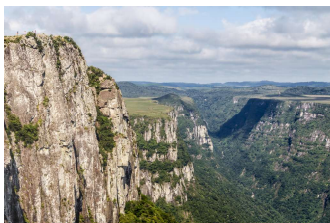
Imagem de catodoluminescência de cristais de zircão pertencentes ao Batólito de Florianópolis. Aumento de 200 vezes. Imagem e legenda de Andréa Ritter Jelinek.



Fotografia aérea oblíqua apresentando a morfologia da região correspondente ao extremo do Litoral Norte do RS, à direita observa-se a cidade de Torres/RS. Em primeiro plano observa-se a morfologia do campo de dunas localizado no Parque Estadual de Itapeva. Unidade essa localizada sobre o sistema Laguna-Barreira IV (holocênica). Logo após o baixio, na retaguarda do campo de dunas, ocorre a morfologia do sistema Laguna-Barreira III (pleistocênica). Ao fundo, com o relevo mais elevado, encontra-se a Formação Serra Geral pertencente à Bacia do Paraná. Imagem obtida por Eduardo H. R. Russo. Legenda de Eduardo Guimarães Barboza.



Minas do Camaquã, Mineração de cobre a céu aberto, Caçapava do Sul. Imagem e legenda de Carlos Augusto Sommer.



Derrames ácidos do Grupo Serra Geral, Bacia do Paraná, na região do Cânion Fortaleza, Parque Nacional da Serra Geral, Cambará do Sul, RS. Imagem licenciada de Depositphotos. Legenda de Carlos Augusto Sommer.



PUBLICAÇÃO ESPECIAL DO NÚCLEO RS/SC DA
SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA

**CONTRIBUIÇÕES À GEOLOGIA
DO RIO GRANDE DO SUL E
DE SANTA CATARINA**

Editores

Andréa Ritter Jelinek
Carlos Augusto Sommer



Porto Alegre, RS, 2021.

É proibida a reprodução total ou parcial desta obra, sem autorização expressa dos autores ou da editora. A violação importará nas providências judiciais previstas no artigo 102, da Lei nº 9.610/1998, sem prejuízo da responsabilidade criminal. Os textos deste livro são de responsabilidade de seus autores.

ISBN E-book: 978-65-89013-03-7

Edição: 1ª

Ano: 2021

Editora Compasso Lugar Cultura

Responsável André Suertegaray Rossato

Porto Alegre - RS - Brasil

Telefones (51) 984269928

compassolugarcultura@gmail.com

www.compassolugarcultura.com

Editores:

Andréa Ritter Jelinek

Carlos Augusto Sommer

Diagramador: Gabriel Zambom

Revisão de Texto: Gustavo Saldivar

Conselho Editorial Compasso Lugar Cultura

Álvaro Heidrich

Carlos Henrique Aigner

Cláudia Luíza Zeferino Pires

Dakir Larara Machado da Silva

Dilermando Cattaneo da Silveira

Dirce Maria Antunes Suertegaray

Helena Copetti Callai

Jaeme Luiz Callai

João Osvaldo Rodrigues Nunes

Laurindo Antonio Guasselli

Maíra Suertegaray Rossato

Nelson Rego

Roberto Verdum

Rosa Maria Vieira Medeiros

Sinthia Batista

Realização

Sociedade Brasileira de Geologia

Diretoria Núcleo RS/SC:

Diretora Presidente: Andréa Ritter Jelinek

Diretor Vice-Presidente: Carlos Augusto Sommer

Diretor Secretário: Lucas Debatin Vieira

Diretor Financeiro: Breno Leitão Weichel

Diretora de Programação Técnico-Científica: Rosemary Hoff

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

J47c

Jelinek, Andréa Ritter.

Contribuições à Geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina /Andréa Ritter Jelinek e Carlos Augusto Sommer, organização – Sociedade Brasileira de Geologia - Porto Alegre : Compasso Lugar-Cultura, 2021.

504 p., il. col.

ISBN E-book: 978-65-89013-03-7

<https://doi.org/10.29327/537860>

1. Geologia 2.Sociedade Brasileira de Geologia 3. Coletâneas de textos I. Jelinek, Andréa Ritter II. Sommer, Carlos Augusto III. Título

CDD 551

CDU 551.1/.4

Bibliotecária Responsável: Catarina Strapação Guedes Vianna CRB-10/2469

Índices para catálogo sistemático:

1. Geologia 551

Depósitos de ágata e de opala no estado do Rio Grande do Sul

Cassiana Roberta Lizzoni **Michelin***, Lauren da Cunha **Duarte**, Pedro Luiz **Juchem**,
Tania Mara Martini de **Brum**, Ana Maria Pimentel **Mizusaki**

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

* autor correspondente: cassiana.michelin@ufrgs.br

1 INTRODUÇÃO

As variedades de minerais silicosos são utilizadas e apreciadas pela humanidade há centenas de anos. A ágata e a opala, devido à sua vasta aplicação e versatilidade gemológica, estão entre estes minerais e são classificadas como variedades de sílica microcristalina, que ocorrem nas rochas vulcânicas cretácicas da Formação Serra Geral, na Bacia do Paraná (Juchem, 1999; Duarte, 2008; Hartmann *et al.*, 2012; Michelin, 2014). A ágata é uma variedade de calcidônia bandada, cujas bandas se dispõem, de forma concêntrica ou paralela, no interior de cavidades presentes nas rochas vulcânicas básicas, denominadas geodos. A opala pode ocorrer nesses geodos, associada à ágata, mas também é observada em fraturas, como cimento, e ao longo de estruturas de fluxo nas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (Brum & Juchem, 2014). Destaca-se que essas variedades também podem ser encontradas nos geodos, associadas com ametista, não, só, no Rio Grande do Sul, mas, também, nos estados do Paraná e de Santa Catarina, porém em quantidades que inviabilizam a sua extração, diferente do que acontece no Distrito Mineiro de Ametista do Sul (RS), em que não é incomum o aproveitamento de ágata, associada à ametista.

A ágata e a opala, juntamente com a ametista, compreendem importantes materiais gemológicos na região sul do Brasil e são muito valorizadas para exportação, devido à variedade de tamanhos e de formas e, principalmente, em função do conhecimento avançado sobre seu beneficiamento.

Aspectos sobre a origem de formação dos geodos da Formação Serra Geral vêm sendo discutidos, desde Leinz, em 1949. Como a ametista representa o maior volume de extração, a maioria dos trabalhos têm apresentado enfoque nesse mineral (Gomes, 1996; Scopel, 1997; Ju-

chem, 1999; Duarte, 2008; Hartman *et al.*, 2014). Estudos sobre a ágata e sobre a opala vêm sendo desenvolvidos (Heemann, 1997; Augustin, 2004; Heemann, 2005; Michelin *et al.*, 2013; Michelin, 2014), mas é unânime que a ágata e a ametista têm gêneses distintas (Duarte, 2008; Michelin, 2014)

A opala, considerada, inicialmente, como uma substância amorfa, teve suas características estruturais estabelecidas em estudos realizados com difração de raios-X (DRX). Os estudos de Jones *et al.* (1964), com base em critérios de difração de raios-X, mostraram que a estrutura da opala, na realidade, varia de amorfa a microcristalina. Em 1971, o estudo pioneiro de Jones & Segnit reconheceu três fases de sílica hidratada, de baixa temperatura: opala amorfa (opala-A); α -cristobalita, com empilhamento acentuado de α -tridimita (opala-CT); e α -cristobalita ordenada, com empilhamento mais restrito de α -tridimita (opala-C).

Este capítulo propõe uma revisão das principais características geológicas, mineralógicas, químicas e isotópicas da ágata e da opala que ocorrem no RS. Além disso, serão apresentadas hipóteses para a gênese dos depósitos. O uso gemológico da ágata compreende etapas e processos de beneficiamento, com a finalidade de comercialização nos mercados externo e interno. Estudos acerca dos processos de beneficiamento são essenciais, para o avanço da comercialização desses materiais, e estes serão feitos, ao final deste capítulo.

2 MINERAÇÃO DE ÁGATA E DE OPALA NO RIO GRANDE DO SUL

O Brasil é uma das principais províncias gemológicas do mundo, conforme Webster (1983), e se destaca pelo volume e pela qualidade da produção e da exportação das gemas. Por estimativa de 2019 do Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos

(IBGM) e considerando o volume exportado, em toneladas, com exceção do diamante, do rubi e da esmeralda, o Brasil está posicionado no 2º lugar do *ranking* internacional dos maiores fornecedores de pedras coradas.

No cenário brasileiro, o Rio Grande do Sul exportou cerca de 82.000.000 t de materiais gemológicos, em 2017 e em 2018 (IBGM, 2019). Salienta-se que estes valores representam, quase na sua totalidade, minerais enriquecidos em sílica, como ágata e ametista. Nos últimos anos, a comercialização no mercado interno também demonstra um considerável aumento (Batisti & Tatsch, 2012).

A mineração e a tradição gemológica da ágata, da opala e da ametista no estado do Rio Grande do Sul pode ser acompanhada em duas regiões bem estudadas e conhecidas: o Distrito Mineiro de Ametista do Sul (DMAS), localizado na região centro-norte, e o Distrito Mineiro de Salto do Jacuí (DMSJ), na região central do estado. Atualmente, também a região da Fronteira Sudoeste do RS vem despontando na produção e na comercialização de ágata. No estado, o início da atividade de exploração da ágata, da ametista e, posteriormente, da opala se deu por volta de 1827, quando imigrantes alemães, que dominavam técnicas de extração e de beneficiamento mineral, iniciaram mineração de geodos silicosos nas margens do rio Taquari, nas cidades de Lajeado e de Soledade, e, posteriormente, nas margens do rio Jacuí e de seus afluentes, segundo Kellermann (1990).

Como a maioria dos garimpos de ágata está localizado às margens do rio Jacuí e do rio Taquari e de seus afluentes, órgãos ambientais estaduais embargaram essa atividade, que, durante muitos anos, ocorreu de forma irregular. Esta prática fez com que a região sofresse graves problemas, não, só, ambientais, mas, também, de saúde pública e de recursos humanos. Atualmente, com a re-

gularização da atividade mineira, existem cerca de 16 garimpos ativos, segundo estimativa do Sindipedras (2020).

No DMSJ, ocorre a valorizada ágata Umbu, de cor azul escura e com elevada microporosidade, característica estrutural diferencial, pois permite que este mineral seja submetido a processos de tingimento e de tratamento térmico. Nos últimos anos, técnicas de beneficiamento combinam a ágata com outros materiais, agregando valor estético às peças produzidas com os geodos.

3 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA, MINERALÓGICA E QUÍMICA DA ÁGATA E DA OPALA DO RS

Os depósitos de ágata e de opala estão associados às rochas vulcânicas, tanto de composição ácida como básica, da Formação Serra Geral, do Cretáceo, da Bacia do Paraná. A Bacia do Paraná é uma feição geológica importante da porção centro-sul da Plataforma Sul-Americana, conforme pode ser visto na Figura 1. É uma bacia com preenchimento vulcano-sedimentar, iniciado no Siluro-Devoniano e terminado no Cretáceo, com os derrames de lavas ácidas e básicas da Formação Serra Geral (Milani, 1997). Eventualmente, esses derrames estão intercalados com os arenitos quartzosos eólicos da Formação Botucatu (Scherer, 2002). Heemann (1999) e Michelin (2014), entre outros, mostram que os arenitos da Formação Botucatu estão relacionados com a gênese e com a presença da ágata na região do DMSJ. CPRM (2020) também confirma esta associação, porém destaca a região da Fronteira Sudoeste do estado (Fig. 1) como outro polo de mineração destas variedades.

A área potencialmente produtora de ágata e de opala no RS é o Distrito Mineiro do Salto do Jacuí (DMSJ), definida e individualizada por Santos *et al.* (1998), com base nas informações disponíveis nos títulos minerá-

rios. Estes autores definem uma área de 250 km², localizada no Planalto da Serra Geral, que compreende os municípios de Salto do Jacuí, de Campos Borges, de Fortaleza dos Valos, de Segredo, de Sobradinho, de Espumoso e de Arroio do Tigre (Fig. 1).

No DMSJ, os geodos, contendo ágata e opala, são extraídos dos derrames de rochas vulcânicas, que, em geral, estão muito intemperizados, e, por isto, são de fácil desagregação (Fig. 2A-2B). O nível mineralizado pode, por vezes, ser escavado com relativa facilidade, utilizando-se tratores de esteira e, em alguns casos, os geodos podem ser extraídos de maneira manual.

O derrame mineralizado possui uma zona vesículo-amigdaloidal, na qual são encontrados os geodos de ágata, associados à opala; este derrame basáltico tem uma complexa relação com outros derrames ácidos e com *intertraps* arenosos. Michelin (2014) descreve a relação entre lava e sedimento e propõe a seguinte sequência estratigráfica, para a área do DMSJ, da base para o topo: derrame dacítico, com espessura em torno de 20 m, cinza escuro, com alterações incipientes, com presença de geodos preenchidos por opala e por quartzo macrocristalino e, mais raramente, por ágata. Diques de arenito são característicos da base do derrame e fraturas, preenchidas por sedimentos, ocorrem no topo; derrame basáltico, com espessura de 25 m, cinza avermelhado, com geodos preenchidos, sequencialmente, por calcedônia, por ágata e por quartzo macrocristalino e, raramente, por calcita fraturas abundantes, preenchidas por calcita e por material argiloso. Não são observados geodos preenchidos com ágata nesse derrame. É o derrame potencialmente mineralizado, destacando-se diques de arenito e porções brechadas na base; e derrame dacítico, com aproximadamente 25-29 m de espessura, cinza escuro, intensamente alterado, quando comparado ao basáltico mineralizado.

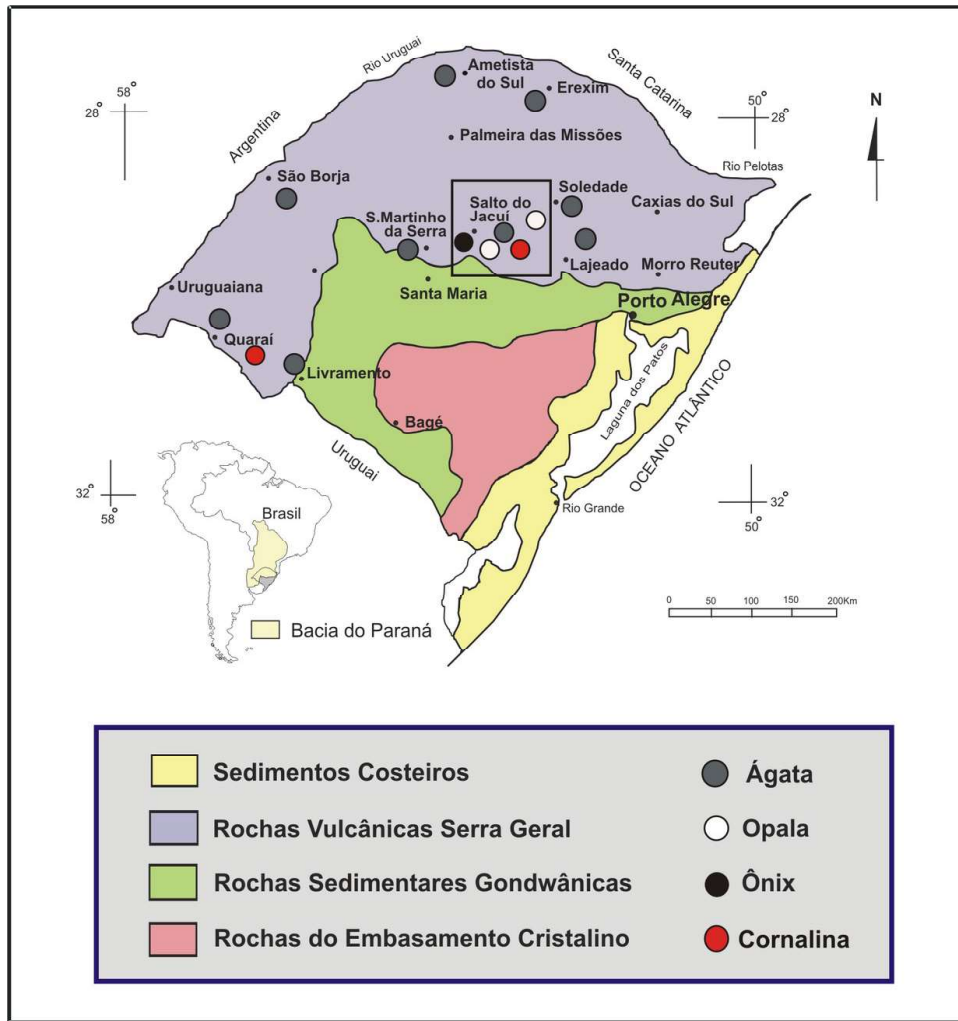


Figura 1 – Localização das principais ocorrências de ágata e de opala no estado do Rio Grande do Sul (a partir de Juchem, 1999).

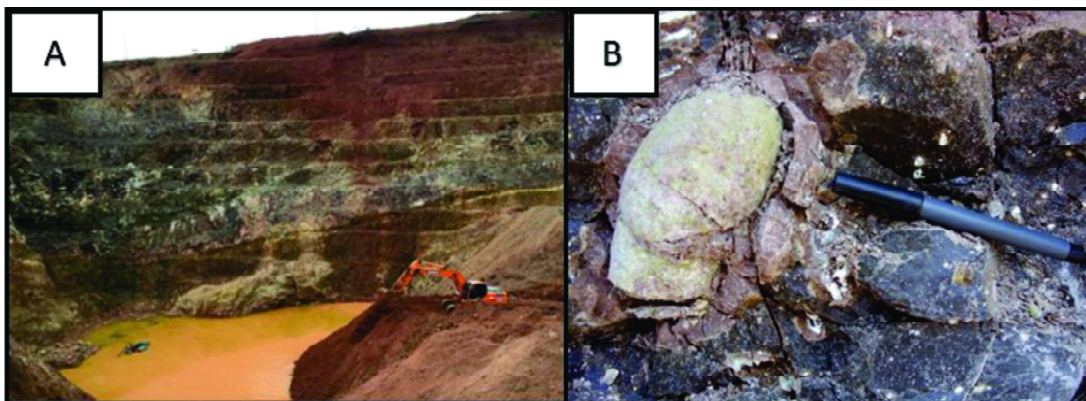


Figura 2 - Aspectos gerais da ocorrência dos geodos: A) Garimpo na região do DMSJ. Intercalação de derrames ácidos e básicos e feições de interação entre lava e sedimento; e B) Detalhe da rocha hospedeira (dacito inferior) e do geodo, em que se nota a camada de, aproximadamente, 3 cm de argilominerais, que fazem o contato do geodo com o dacito.

Os basaltos portadores dos geodos de ágata são, predominantemente, glomeroporfíricos, com fenocristais de plagioclásios e com piroxênios imersos em uma fase vítrea intersticial, rica em cristálitos de plagioclásio e de piroxênio. As microfaturas e as vesículas são feições comuns. Os dacitos têm matriz predominantemente vítrea, com alguns cristálitos de feldspato alcalino, de plagioclásio e de quartzo, e piroxênios são observados, de maneira subordinada. As microfaturas e as vesículas são relativamente raras, quando comparadas às rochas vulcânicas básicas. Característica comum e representativa dos dacitos é a corrosão das bordas dos piroxênios e dos plagioclásios. A intensa dissolução da matriz vítrea intersticial nesta unidade é um ponto de interesse para a formação da ágata. As análises químicas dos derrames descritos indicam rochas ácidas e básicas, cujos teores de SiO_2 variam de 50,60% a 69,13%; teores, estes, que, quando plotados em diagramas químicos, indicam uma composição basáltica e dacítica. O teor de TiO_2 varia de 1,82% a 1,86%, para os basaltos, e de 0,67% a 0,91%, para os dacitos.

De maneira geral, as rochas portadoras de opala são afaníticas e semivítreas, com cores cinza a cinza escuro e castanho avermelhado, apresentando-se, sempre, muito alteradas. Podem apresentar textura vesicular, sendo que estas vesículas centimétricas estão parcialmente preenchidas por calcedônia e por quartzo. Ao microscópio petrográfico, são identificados microfenocristais de plagioclásio (labradorita), de piroxênio (augita) e de minerais opacos (magnetita e ilmenita) imersos em uma matriz semivítrea. Na matriz, ocorrem micrólitos de plagioclásio e de piroxênio e cristálitos aciculares, por vezes, dispostos em arranjos radiados a esferulíticos. É comum a ocorrência de fraturas preenchidas por quartzo macrocristalino, por quartzo microcristalino granular e fibroso (calcedônia) e, por vezes, por opala.

Os geodos apresentam uma grande variedade de tamanhos e de formas e são preenchidos por minerais predominantemente silicosos, conforme pode ser visualizado na Figura 3. Brum *et al.* (1994) e Agostini (1998) descrevem detalhadamente as variedades de preenchimentos dos geodos. Michelin *et al.* (2013) observam que, de uma forma geral, os geodos do DMSJ possuem a seguinte sequência de preenchimento, da borda para o centro: calcedônia, opala, ágata, quartzo macrocristalino e, em alguns geodos, cristais de calcita. A ágata e a opala são as fases mais comuns e mais importantes. Em alguns geodos, com bordas menos espessas de ágata, ocorre quartzo macrocristalino (ametista e quartzo incolor). Os geodos preenchidos com ágata apresentam, de forma geral, quatro tipos: 1) aqueles totalmente preenchidos, com alternância de uma camada espessa de ágata (até 6 cm) com uma camada de quartzo macrocristalino (2-5 cm) (Fig. 3A). Nesta variedade de preenchimento, também é comum a presença de opala. É o tipo dominante na região e a ágata do tipo Umbu ocorre, associada com este padrão de preenchimento; 2) uma segunda situação, em que, na porção mais externa, há uma camada milimétrica de ágata, seguida por uma camada mais espessa (até 15 cm) de quartzo macrocristalino, com a porção central do geodo sem preenchimento (Fig. 3E); 3) geodos totalmente preenchidos por ágata Umbu; e 4) geodos, contendo opala e, raramente, calcita, associados a uma fina camada de ágata (Fig. 4D).

A opala encontrada no RS é sempre microcristalina, dos tipos opala-CT e opala-C. Entre as variedades, algumas se destacam pela qualidade gemológica, em especial, a opala vermelha a laranja (opala de fogo) e a opala azul. Além dessas, outras variedades podem ser usadas como gema, atingindo valores expressivos nos mercados nacional e internacional de gemas.

No RS, a opala ocorre em agregados

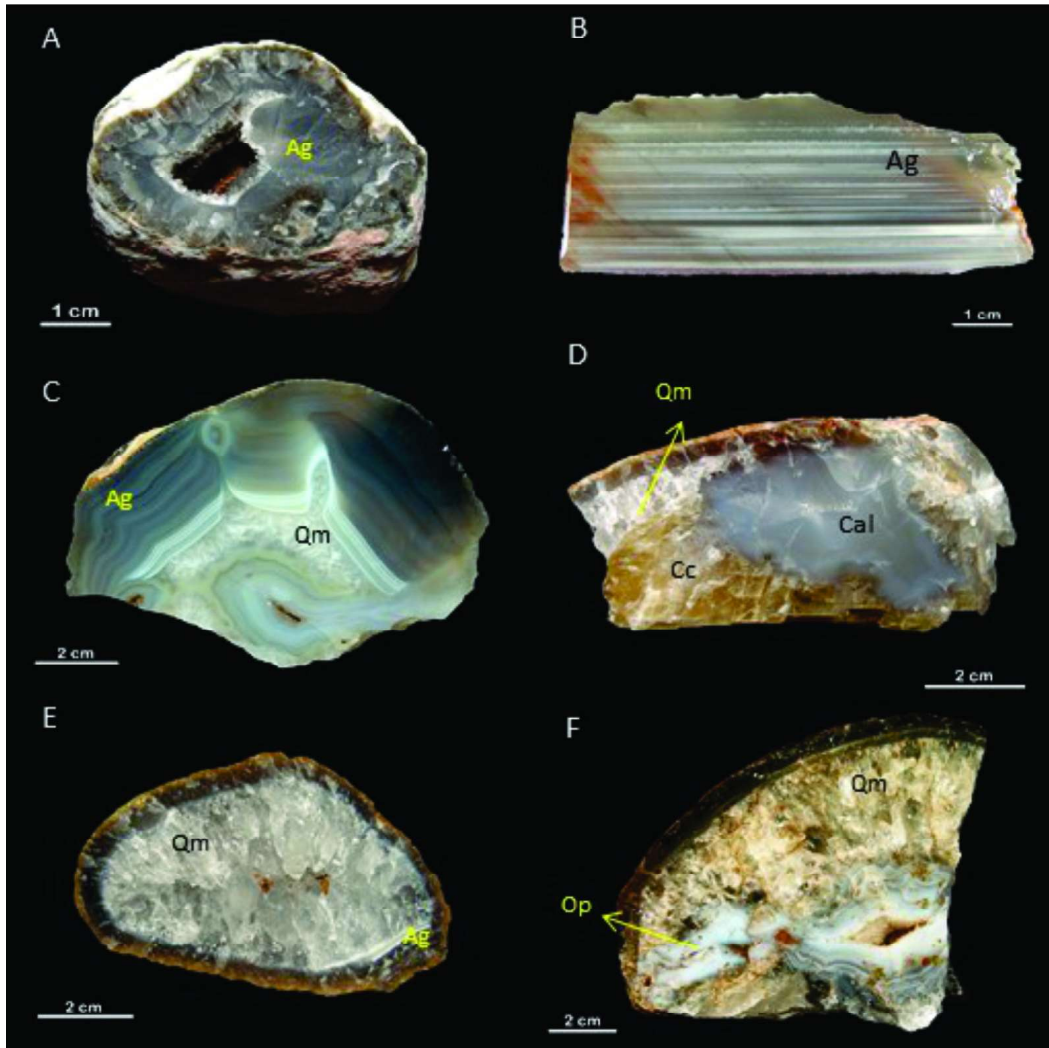


Figura 3 – Exemplos dos diferentes tipos de preenchimentos dos geodos: A) Geodo com preenchimento parcial de ágata e com fina camada quartzo incolor (sem bandamento aparente); B) Fragmento de geodo com ágata bandada, com canais de percolação de fluido, com intercalação de níveis de ágata e com níveis de quartzo macrocristalino; C) Fragmento de geodo com bandamento concêntrico de ágata e com níveis de quartzo macrocristalino; D) Fragmento de geodo preenchido por calcedônia, por calcita e por quartzo macrocristalino; E) Detalhe da predominância de quartzo macrocristalino como preenchimento de geodo F) Fragmento de geodo com fina camada de calcedônia, com quartzo macrocristalino, com opala e com ágata (legenda: ágata (Ag); quartzo macrocristalino (Qm); opala (Op); e calcita (Cc).

maciços ou colomorfos, com cores variadas – incolor, branco, branco azulado, rosa, amarelo, azul, azul acinzentado, castanho, preto e em diferentes tonalidades de laranja e de vermelho –, caracterizando a variedade “opala de fogo” (Fig. 4A). Eventualmente, amostras de opala amarela, laranja e vermelha apresentam um leve jogo de cores e foi identificada, também, opalescência em amostras de opala incolor, amarela e laranja. O brilho é vítreo a resinoso e pode ser transparente a translúcido e, eventualmente, opa-

co. A fratura é conchoidal a irregular, quebrando em lascas cortantes e, em algumas amostras, podem ser identificadas fraturas por desidratação. A densidade é sempre baixa, variando entre 1,95 e 2,25, e a dureza, medida na escala de Mohs, varia entre 5,5 e 6,5.

O bandamento característico da ágata pode ser observado ao microscópio, pois as bandas são formadas pela intercalação de agregados criptocristalinos de quartzo (Fig. 5A) e de agregados fibrosos de

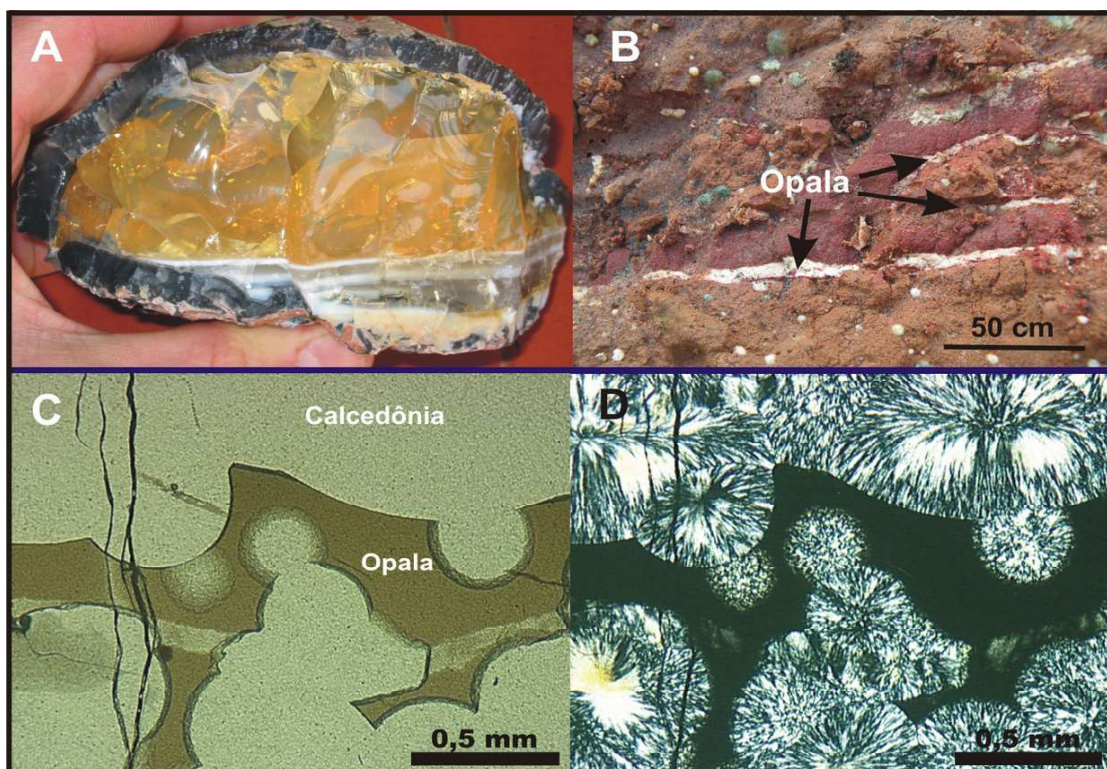


Figura 4 – Modos de ocorrência e características microscópicas da opala do RS: A) Opala amarela, associada à ágata, preenchendo totalmente um geodo; B) Opala branca leitosa, depositada em fraturas da rocha hospedeira; C) Veios de opala, em meio à calcedônia; e D) Mesma lâmina em LP, exibindo o caráter isótropo da opala e a calcedônia, constituída por esferulitos de quartzo microcristalino fibroso (a partir de Brum & Juchem, 2014).

calcedônia (Fig. 5B). Os agregados fibrosos se caracterizam pela orientação, pois os seus eixos principais são alongados, ortogonais ao padrão de bandamento e orientados em direção ao centro dos geodos. O quartzo microcristalino apresenta uma textura granular, com grãos de dimensões inferiores a 20 μm . Diversos autores mostram que a ágata tem um grande número de microporos, com diâmetros da ordem de 0,1 μm , usualmente preenchidos por água (Midgley, 1951; Folk & Weaver, 1952; Frondel, 1962; Heaney *et al.*, 1994; Hurlbut & Switzre, 1980).

A opala, ao microscópio petrográfico, apresenta um comportamento isótropo a fracamente anisótropo, o que evidencia sua estrutura microcristalina (Fig. 4C-4D). Ao polariscópio e ao refratômetro, a opala exibe um comportamento isótropo, no entanto o índice de refração varia nas diferentes amostras, exibindo valores entre 1,439 e 1,475.

A composição química da ágata do DMSJ apresenta valores predominantes de SiO_2 (92,52% a 97,95%). Marcantes são os valores de LOI (perda ao fogo), que variam de 0,4% a 4,9%. Percebe-se uma correlação entre os teores de LOI e de SiO_2 . Observa-se que a ágata com menor teor de SiO_2 apresenta, não, só, os maiores valores para LOI, mas, também, as maiores concentrações de impurezas, sob a forma de elementos-traço e maiores, conforme sugerido por Constantina & Moxon (2010). Além disso, as amostras de ágata extraídas de diferentes geodos, de uma maneira geral, mostram variações significativas nos conteúdos de Al, de Fe, de Cu, de Ni e de Ba. De uma forma geral, os valores para o Fe_2O_3 e para o Al_2O_3 nas amostras analisadas podem ser considerados relativamente elevados, quando comparados aos dos outros óxidos.

As análises químicas da opala do RS

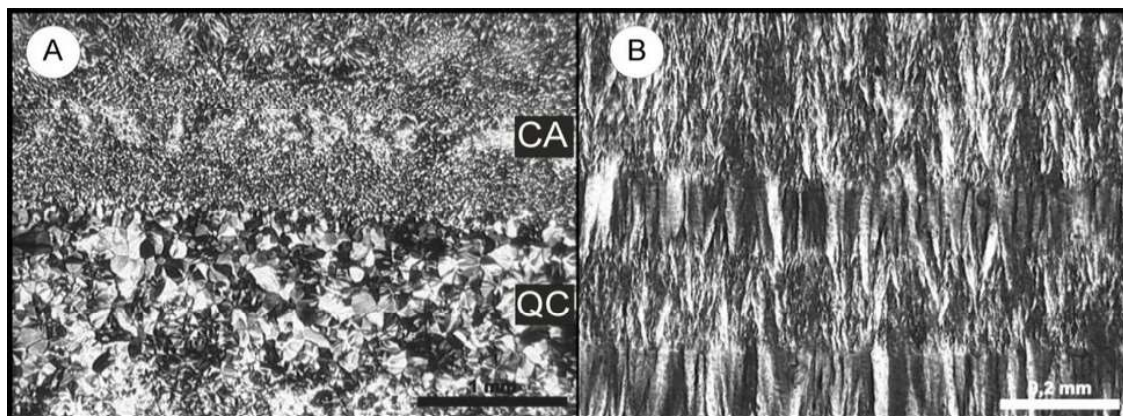


Figura 5 – Fotomicrografias da ágata: A) Agregados criptocristalinos de quartzo (QC) e agregados fibrosos orientados (CA) (LP, 25X); e B) Agregados fibrosos de calcedônia (LP, 50X).

mostram variações no teor de sílica entre 92% e 98% nas amostras analisadas e foram identificados, também, teores variados de Al_2O_3 , de CaO, de Na_2O , de K_2O , de Fe_2O_3 , de TiO_2 e de MgO. A perda ao fogo medida variou entre 0,9% e 6,0%, observando-se que, quanto maior o teor de sílica, menor é a perda ao fogo.

As análises isotópicas constituem importantes ferramentas, para a inferência da temperatura e dos processos de mineralização de minerais silicosos. Nesse sentido, foram compilados os dados de Juchem (1999), de Duarte (2008) e de Michelin (2014), que obtiveram resultados de análises isotópicas de oxigênio em ágata ($\delta^{18}O$), que estão expressos na Tabela 1. Os autores, a partir do cálculo de temperatura, chegaram à conclusão de que, tanto a ágata associada a geodos de ametista, nas regiões do Alto Uruguai e de Quaraí, quanto a ágata de preenchimento exclusivo no DMSJ cristalizam, a temperaturas baixas (média de 27,88 °C).

4 MODELOS GENÉTICOS

Com base na análise integrada de observações de campo e de laboratório, são propostos modelos de formação dos depósitos de ágata, associados à opala. Sabe-se que a gênese destes depósitos é complexa e que é

um tema que vem sendo discutido, mundialmente (Moxon, 2009; Dumańska-Słowika *et al.*, 2019; Powolnya *et al.*, 2019; Gotze, 2020).

Muitas hipóteses já foram discutidas, a partir de estudos de parâmetros, como a temperatura de formação e a fonte de sílica que os teriam originado. Estas ideias postulam, desde uma possível origem magmática, a alta temperatura (Godovikov *et al.*, 1987; Blankenburg, 1988; Moxon, 2006), até processos pós-magmáticos, de baixa temperatura (Juchem, 1999; Gilg *et al.*, 2003; Duarte, 2008; Michelin *et al.*, 2013).

Strieder & Heemann (2006) postulam que a gênese dos geodos está relacionada com a fusão dos arenitos eólicos da Formação Botucatu pelas lavas basálticas da Formação Serra Geral. Os autores descrevem xenólitos de arenito nas lavas vesiculares basálticas, diques de arenito, que cortam os derrames, e a relação destes com os geodos.

Ao estudarem as mineralizações de ametista na região de Ametista do Sul (RS) e algumas amostras do DMSJ, com análises de inclusões fluidas e com estudos geoquímicos e isotópicos, Gilg *et al.* (2003) inferem, a respeito das fases dos fluidos, propondo um modelo genético para a formação destas mineralizações. Este modelo contempla dois estágios de formação e de preenchimento

Tabela 1 – Resultados de análises isotópicas de oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$) em ágata (a partir de Juchem (1999), de Duarte (2008) e de Michelin (2014)).

Juchem (1999)	Duarte (2008)	Michelin (2014)
$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}(\text{‰})$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}(\text{‰})$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}(\text{‰})$
+29,9	+30,7	+30,51
+29,7	+24,1	+26,38
+29,5	+31,5	+26,50
+28,4	+24,0	+25,60
+29,7	+29,6	+24,08
+29,7	+29,5	+21,41
+28,0	+28,6	
+30,1	+32,1	
+29,7	+22,6	
+29,4	+25,0	
	+25,4	
	+29,0	

das cavidades: o primeiro estágio magmático é responsável pela geração das cavidades denominadas protogeodos e um estágio posterior é responsável pelo preenchimento destas cavidades, a temperatura mais baixa.

Para Michelin (2014), parte da fonte da sílica é atribuída à matriz vítrea dos dacitos e é associada à percolação de águas meteoricas, possivelmente, de caráter alcalino. A temperatura ambiente das águas é evidenciada pelas temperaturas de precipitação da ágata, que se situam em torno de 28 °C, de acordo com cálculos, envolvendo razões isotópicas de oxigênio. Para a autora, a migração dos fluidos silicosos mineralizantes ocorre, a partir das fraturas, das microfaturas e das vesículas, descritas nos derrames ácidos e básicos, que hospedam as mineralizações. As feições sedimentares descritas por Michelin (em prep.) (diques de arenito, fraturas preenchidas por sedimentos, brechas, *intertraps*, regiões interdunas e geodos de siltitos argilosos) perfazem um sistema permo-poroso, capaz de facilitar a migração dos fluidos, até sua precipitação, no interior dos geodos. Ainda, não se descarta a hipótese de que a contribuição da água não seja, apenas, meteorica superficial, mas que haja uma participação, em menor escala e locali-

zada, da água contida nas regiões em que o nível freático aflora (regiões interdunas). Como evidência de uma possível contribuição, por parte do lençol freático, tem-se os diques de arenito, que, para sua formação, necessitam de fluidização da areia e de temperaturas na faixa de 65 °C, medida obtida para exemplares de ágata do DMSJ em análises isotópicas.

O comportamento da sílica em um sistema de baixa temperatura pode ser interpretado como um sistema de baixa solubilidade em água. A solubilidade, em geral, depende da temperatura (100-140 mg/l, a 20 °C). O pH também influencia o processo e se sabe que o ácido ortossilícico $\text{Si}(\text{OH})_4$ se apresenta de forma solúvel a um pH de 1 a 9 e, a um pH alcalino, o silício tende a ficar mais dissolvido (Dietzel, 2000).

Segundo Michelin (2014), as heterogeneidades, em termos de distribuição das mineralizações de sílica e de posicionamento dos polimorfos (opala, calcedônia, ágata e quartzo macrocristalino) no derrame portador, estão associadas à distribuição irregular da porosidade e à permeabilidade (tanto nas rochas sedimentares como nas vulcânicas). O crescimento dos diferentes polimorfos no interior dos geodos se dá, a partir de uma

solução supersaturada em sílica. Com a precipitação dos íons contidos neste fluido, a tendência é de que os átomos se arranjam de uma maneira organizada, caracterizando, então, o estado sólido. Formam-se, então, pontos de nucleação, desencadeando o crescimento do cristal. Desta maneira, propõe-se a seguinte sequência de cristalização, para o preenchimento dos geodos do DMSJ: opala – calcedônia – ágata – quartzo macrocristalino.

5 APROVEITAMENTO GEMOLÓGICO

A ágata é um dos materiais gemológicos mais versáteis do Rio Grande do Sul. A configuração mineralógica dos geodos, que, por vezes, são totalmente preenchidos, permite usos diversificados. O corte dos geodos em chapas, associado aos processos de tingimento, com exploração estética das diferentes cores das bandas, favorece à seleção da ágata para diversos produtos.

Um dos principais e mais antigos usos é o seu beneficiamento por glíptica, que são pequenas esculturas em relevo, em que afloram as diferentes cores, formando desenhos. Os materiais que possuem intercalação de bandas de calcedônia (cinza) e com bandas de opala (branca) são os mais valorizados. A região de Idar-Oberstein, na Alemanha, tem tradição nesta prática e, atualmente, importa o material do RS, pois suas reservas foram exauridas. Pesquisas acadêmicas são desenvolvidas, para que este material possa ser beneficiado no Rio Grande do Sul (Bisinella, 2014; Kindlein *et al.*, 2020). A elaboração de camafeus com perfil humano, obtida por escaneamento tridimensional (Fig. 5A), foi feita em opala branca do RS (Tessmann, 2009). A opala branca ainda é pouco utilizada, pois, diferentemente da ágata, sua comercialização em forma de chapas não é viável, pois é muito quebradiça. Então, uma das opções de uso é a lapidação lisa, do

tipo cabochão (Fig. 5B). A opala branca (opala-CT) pode ser lapidada, normalmente. Já a opala translúcida, que possui cores esteticamente interessantes (amarelo claro, leitosa, entre outras), precisa ser cuidadosamente manuseada para fins de lapidação, pois, se ocorrer aumento significativo de temperatura, causado pelo atrito com os materiais abrasivos e de polimento, pode desenvolver trincas, com o passar do tempo.

O processo de gravação a laser na ágata foi detalhadamente estudado por Cidade (2012) e por Cidade *et al.* (2018). O efeito da energia do laser CO₂ na superfície do material de coloração branca (Fig. 5D) gera contraste e, assim, podem ser feitos desenhos e grafismos. A ágata entra em estado de fusão, pela interação com o laser, e é rapidamente resfriada, tendo, como resultante, material amorfo (Fig. 5C). Neste processo de fusão/solidificação, são geradas cavidades micro-métricas (Fig. 5E) e, pelo rápido resfriamento do material, tem-se a geração de uma porosidade secundária, que pode abrigar microcápsulas com quaisquer preenchimentos (Duarte *et al.*, 2011). Microcápsulas são muito utilizadas em inúmeros produtos, atualmente, e, na ágata, microcápsulas, contendo corante fluorescente e, também, substâncias aromáticas, têm sido inseridas na porosidade secundária (Fig. 5F).

O corte da ágata em chapas pode ter espessuras variadas, dependendo da finalidade do uso. As disponíveis no mercado possuem espessuras aproximadas de 2 mm e permitem o corte por jato d'água, que corta o material, por meio de um jato d'água abrasivo (normalmente, adicionado de granada), e que consegue reproduzir trajetos elaborados em *softwares* do tipo *Computer-Aided Design* (CAD), em coordenadas X-Y, formando desenhos vazados, com inúmeras aplicações (Barp, 2009; Silveira, 2011). Chapas de maior espessura, com 6 mm, podem ser utilizadas para o corte de anéis. Este processo permite

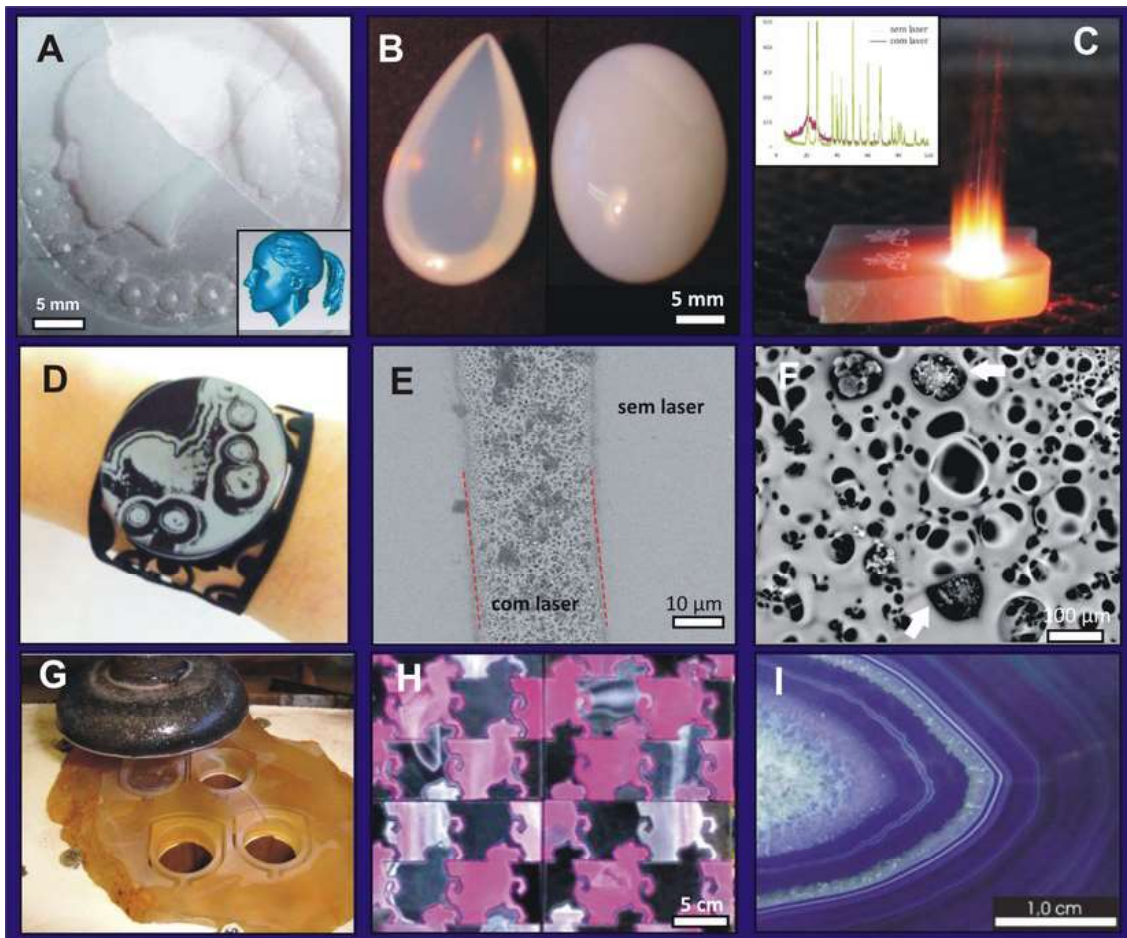


Figura 6 – Beneficiamento de ágata e de opala: A) Escultura em relevo, feita por usinagem CNC, a partir do modelo, obtido por digitalização tridimensional de perfil humano (detalhe); B) Opala translúcida e opala branca em lapidação lisa, do tipo cabochão; C) laser, interagindo com a ágata e, no detalhe, difratograma de raios-X, indicando o antes e o depois da ação do laser; D) Bracelete com ágata originalmente preta, gravada a laser (porções brancas); E) Imagem eletrônica de varredura, mostrando a definição das zonas gravadas e não gravadas a laser; F) Microporosidade secundária, gerada pela gravação a laser, indicando microcápsulas aromáticas alojadas na porosidade (setas); G) Processo de corte por jato d'água, com o corte de quatro anéis, feito em chapa de ágata; H) Corte modular em ágata tingida de rosa e de preto, para aproveitamento de resíduos; e I) Chapa de ágata tingida, indicando porções, que respondem diferentemente ao tingimento, e pequena banda de opala (seta).

espessuras de parede de aro de apenas 2 mm (Fig. 5G), em projetos que levam em consideração a ergonomia das mãos. Chapas menos espessas, ou, mesmo, chapas quebradas, podem ser recortadas em moldes encaixáveis (Fig. 5H). Esta é uma solução de projeto que contempla pequenos fragmentos, que, unidos, podem recobrir superfícies de grandes dimensões, como paredes e partes de mobiliário, por exemplo. Também, cabe ressaltar que um único projeto CAD pode ser utilizado para o recorte de inúmeras peças (Silveira, 2011).

Os processos de beneficiamento da ágata, principalmente, aqueles referentes ao tingimento, são pontos de interesse, já que, devido às suas propriedades microestruturais, este mineral aceita muito bem tais processos (Tubino, 1998; Sampaio & Tubino, 1999; Pizzolato *et al.*, 2002), que tornam a ágata mais valorizada, comercialmente. Os métodos clássicos foram trazidos pelos alemães, no século XIX, e aplicados na ágata do Rio Grande do Sul, desde o início do século XX. As peças de ágata geralmente são imersas em uma solução, que contém íons metálicos

ou açúcar, os quais, após impregnarem nos microporos, são submetidos a uma reação química, com a finalidade de convertê-los em um composto colorido e insolúvel, como proposto por Knecht (1957).

A mudança de cor da ágata decorre da impregnação, por corantes orgânicos e inorgânicos, da microporosidade característica e da sua resistência ao calor e aos ácidos. A variação da microporosidade nas bandas faz com que o tingimento ocorra de forma irregular, pois algumas bandas são mais facilmente impregnadas pelo corante do que outras, tornando as bandas mais evidente pelo contraste de cores (Fig. 5I). Como a solução tingidora penetra pouco no mineral, o tingimento costuma ser feito, após a peça ser cortada e desbastada, para facilitar a penetração do corante (Branco & Gil, 2000). Estima-se que cerca de 40% dos exemplares de ágata comercializados no estado passem por este processo de tingimento. No entanto, este índice ainda é inferior à média mundial, considerada superior a 50% (Branco & Gil, 2000).

6 CONCLUSÕES

O Rio Grande do Sul apresenta um grande potencial, como produtor de ágata e de opala, com depósitos, associados às rochas vulcânicas ácidas da Formação Serra Geral, da Bacia do Paraná. Esses depósitos, que são explorados até hoje, rendem um volume apreciável de material, representando uma nova fonte de divisas para as regiões produtoras.

As características geológicas, mineralógicas e geoquímicas apontam para uma origem de baixa temperatura para esses depósitos, posterior ao vulcanismo Serra Geral. Os modos de ocorrência em rochas vulcânicas (em geodos, em estruturas de fluxo, em fraturas e em brechas cimentadas) são características geológicas importantes, para o

estabelecimento de critérios de prospecção de novos depósitos econômicos.

O beneficiamento de opala e de ágata mostra uma alternativa promissora para estudos mais aprofundados em *design* e fornece um aporte de renda para as regiões do estado produtoras destes materiais gemológicos.

REFERÊNCIAS

Agostini, I. M. 1998. Ágata do Rio Grande do Sul. Brasília, DNPM, 272p. (Série Difusão Tecnológica, 5)

Augustin, A. H. 2004. Geologia e mineralogia dos depósitos de opala da região do Salto do Jacuí, RS, Brasil. Porto Alegre, 77p. Monografia de Conclusão do Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Bard, D. R. A. 2009. Design e materiais: contribuição ao estudo do processo de corte de ágata por jato d'água em formas complexas. Porto Alegre, 95p. Programa de Pós-graduação em Design, Escola de Engenharia, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Batisti, V. S. & Tatsch, A. L. 2012. O Arranjo Produtivo Local (APL) gaúcho de gemas e joias: estruturas produtiva e comercial, arranjos institucional e educacional e relações interorganizacionais. Ensaio FEE, Porto Alegre, 33(2): 513-538.

Bisinella, R. C. 2014. Design de gemas: Fresadora pantográfica para glíptica em ágata. Porto Alegre, 117p. Programa de Pós-graduação em Design, Escola de Engenharia, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Blankenburg, H. J. 1988. Agate. Dt. Verl. Grundstoffind, Leipzig, 321p.

Bossi, J. & Caggiano, W. 1974. Contribución a la geología de los yacimientos de amatista del Departamento de Artigas (Uruguay). In:

- CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., Porto Alegre. Anais... Porto Alegre, SBG, v. 3, p. 301-318.
- Branco, P. M. & Gil, C. A. A. 2000. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CPRM, escala 1:1.000.000.
- Brum, T. M. M. & Juchem, P. L. 2014. Opala no Rio Grande do Sul. In: Hinrichs, R. Técnicas instrumentais não destrutivas aplicadas a gemas do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, IGEO/UFRGS, p. 27-43.
- Brum, T. M. M., Juchem, P. L. & Fischer, A. C. 1994. Padrões de preenchimento da ágata do Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38., 1994, Balneário Camboriú. Boletim de Resumos Expandidos. . . Balneário Camboriú, SBG, v. 1, p. 201-202.
- Cidade, M. K. 2012. Caracterização e padronização do processo de gravação a laser em ágata aplicado ao design de joias. Porto Alegre, 172p. Programa de Pós-graduação em Design, Escola de Engenharia, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Cidade, M. K., Palombini, F. L., Duarte, L. C., Paciornik, S. 2018. Investigation of the thermal microstructural effects of CO₂ laser engraving on agate via X-ray microtomography. *Optics and Laser Technology*, 104: 56-64.
- Constantina, C. & Moxon, T. 2010. Agates from Gurasada, southern Apuseni Mountains Romania: an XRD and termogravimetric study. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 5(2): 89-99.
- CPRM. Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. 2005. Mapa geológico do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, CPRM/MME, escala 1:750.000.
- Dietzel, M. 2000. Dissolution of silicates and the stability of polycyclic acid. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 64: 3275-3281.
- Duarte, L. C., Rocha, T. L. A. C., Roldo, L., Kindlein Jr, W., Cidade, M. C. K. & Pedrotti Jr, S. L. 2011. Design de produto para a ágata: aplicação de microcápsulas fluorescentes em superfícies gravadas a laser. *Design e tecnologia*, 1(2): 114-118.
- Duarte, L. C. 2008. Evolução geológica, geoquímica e isotópica das mineralizações de geodos com ametista, Artigas, República Oriental do Uruguai. Porto Alegre, 167p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Dumańska-Słowik, M., Powolny, T., Sikorska-Jaworowska, M., Gaweł, A., Poloński, L. K. & Kogut, L. 2018. Characteristics and origin of agates from Płóczki Górne (Lower Silesia, Poland): A combined microscopic, micro-Raman, and cathodoluminescence study. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular spectroscopy*, 192(5): 6-15.
- Folk, R. L. & Weaver, C. E. 1952. Texture and composition of chert. *American Journal of Science*, 250: 498-510.
- Fronde, C. 1962. The system of mineralogy of Dana, J. D. New York, John Wiley, 334p.
- Gilg, H. A., Morteani, G., Kostitsyn, Y., Gatter, I. & Strieder, A. J. 2003. Genesis of amethyst geodes in basaltic rocks of the Serra Geral formation (Ametista do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil): a fluid inclusion, REE, oxygen, carbon, and Sr isotope study on basalt, quartz, and calcite. *Mineralium deposita: international journal of geology, mineralogy and geochemistry of mineral deposits*, 38(8): 1009-1025.
- Godovikov, A. A., Ripinen, O. I. & Motorin, S. G. 1987. Agates. Moscow, Nedra, 367p.
- Gomes, M. E. B. 1996. Mecanismos de resfriamento, estruturação e processos pós-magmáticos em basaltos da Bacia do Paraná - Região de Frederico Westphalen (RS), Brasil. Porto Alegre, 197p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- Götze, J., Möckel, R. & Yuanming, P. 2020. Mineralogy, geochemistry and genesis of agate - A Review. *Minerals*, 10(11): 1037.
- Hartmann, L. A., Duarte, L. C., Massone, H. J., Michelin, C. R. L., Rosenstengel, L. M., Bergmann, M., Theye, T., Pertille, J., Arena, K. R., Duarte, S. K., Pinto, V. M., Barboza, E. G., Rosa, M. L. C. C. & Wildner, W. 2012. Sequential opening and filling of cavities forming vesicles, amygdalae and giant amethyst geodes in lavas from the southern Parana volcanic province, Brazil and Uruguay. *International Geology Review*, 54(1): 1-14.
- Hartmann, L. A. 2014. Geologia da riqueza do Rio Grande do Sul em geodos de ametista e ágata. In: Hinrichs, R. (Org.). *Técnicas instrumentais não destrutivas aplicadas a gemas do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, IG/UFRGS, p. 15-26.
- Heaney, P. J., Veblen, D. R. & Post, J. E. 1994. Structural disparities between chalcedony and macrocrystalline quartz. *American Mineralogist*, 79: 452-460.
- Heemann, R. 1997. Geologia, controles e guias prospectivos para depósitos de ágata na região do Salto do Jacuí. Porto Alegre, 99p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e dos Materiais, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Heemann, R. 2005. Modelagem estrutural e tridimensional para a prospecção e avaliação dos depósitos de ágata do distrito mineiro de Salto do Jacuí (RS). Porto Alegre, 150p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Heemann, R. & Strieder, A. J. 1999. Caracterização geológica das seqüências vulcânicas na região de Salto do Jacuí (RS-Brasil). In: *Simpósio sobre Vulcanismo e Ambientes Associados*, 1, 1999, Gramado. *Anais... Gramado*, SBG, p. 7.
- Henriques, H. S., Soares, M. M. (Coords.). *Políticas e Ações para a Cadeia Produtiva de Gemas e Jóias / Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos*. Brasília, Brisa, 2005, 116p. Disponível em <http://ibgm.com.br>. Acesso em: 18 nov. 2020.
- Hurlbut Jr., C. S. & Switzer, G. S. 1980. *Gemologia*. Barcelona, Omega S. A., 251p.
- Ipar, L., Becker Jr., R., Zibetti, F. & Lima, C. E. 2019. Estudo da etapa de perfuração em ágata no processo de jato de água abrasiva (AWJ). *Revista CIATEC-UPF*, 11(1): 55-69.
- Jones, J. B., Sanders, J. V. & Segnit, E. R. 1964. Structure of opal. *Nature*, 204(4962): 990-991.
- Jones, J. B. & Segnit, E. R. 1971. The nature of opal I. Nomenclature and constituent phases. *Journal of the Geological Society of Australia*, 18(1): 57-68.
- Juchem, P. L. 1999. Mineralogia, geologia e gênese dos depósitos de ametista da Região do Alto Uruguai, Rio Grande do Sul. São Paulo, 225p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Kellerman, C. F. 1990. Ágata em Salto do Jacuí. Ocorrência e extração - aspectos ambientais e sócio - econômicos. *Geoplanejamento*, Salto do Jacuí, 72p.
- Kindlein Júnior, W., Gomes, L. H. S., Duarte, L. C. & Tessmann, C. S. Processo de beneficiamento de materiais gemológicos através de usinagem CNC. Depositante: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. BR nº PI 0906564-4. Depósito: 2 dez. 2009. Concessão: 29 set. 2020.
- Knecht, T. 1957. Coloração artificial das ágatas. *Revista da Associação Brasileira de Gemologia*, 2(7): 1-9.
- Leinz, V. 1949. Contribuição à geologia dos derrames basálticos do Sul do Brasil. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras*. São Paulo, Universidade de São Paulo, v.

3, n. 5, 61p.

Michelin, C. R. L., Mizusaki, A. M. P., Ferreira, V., Brum, T. M. M. & Hartmann, L. A. 2013. Ágata associada ao magmatismo do Cretáceo da Bacia do Paraná, sul do Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 40(2): 129-139.

Michelin, C. R. L. 2014. Ágata do distrito mineiro de Salto do Jacuí (Rio Grande do Sul, Brasil): uma caracterização com base em técnicas estratigráficas, petrográficas, geoquímicas e isotópicas. Porto Alegre, 161p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Midgley, H. G. 1951. Chalcedony and flint. *Geological Magazine*, 88: 179-184.

Milani, E. J. 1997. Evolução Tectono-Estratigráfica da Bacia do Paraná e seu Relacionamento com a Geodinâmica Fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental. Porto Alegre, 255p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Moxon, T. & Reed, S. J. B. 2006. Agate and chalcedony from igneous and sedimentary hosts aged from 13 to 3480 Ma: a cathodoluminescence study. *Mineralogical Magazine*, 70(5): 485-498.

Moxon, T. 2017. A re-examination of water in agate and its bearing on the agate genesis enigma. *Mineralogical Magazine*, 81(5): 1223-1244.

Pizzolato, T. M., Carissimi, E., Machado, E. L. & Schneider, I. A. H. 2002. Colour removal with NaClO of dye wastewater from an agate-processing plant in Rio Grande do Sul. *International Journal of Mineral Processing*, 65: 203-211.

Powolnya, T., Dumańska-Słowika, M., Sikorska-Jaworowskab, M. & Wójcik-Baniaa, M. 2019. Agate mineralization in spilitized Permian volcanics from "Borówno" quarry

(Lower Silesia, Poland) – microtextural, mineralogical, and geochemical constraints. *Ore Geology Reviews*, 114(1): 103130.

Reimann, C. & Caritat, P. 1998. Chemical elements in the environment: factsheets for the geochemist and environmental scientist. Berlin, Springer-Verlag, 398p.

Sampaio, C. H. & Tubino, L. C. B. 1999. Estudo morfológico da ágata em bruto e sua influência no processo de tingimento industrial em bruto. *Acta Geológica Leopoldense*, 20(8): 43-48.

Santos, E. L., Maciel, L. C. & Filho, J. A. Z. 1998. Distritos Mineiros do Estado do Rio Grande do Sul. Brasília, DNPM, 35p.

Scherer, C. M. S. 2002. Preservation of eolian genetic units by lava flows in the Lower Cretaceous of the Paraná Basin, southern Brazil. *Sedimentology*, 49: 97-116.

Strieder, A. J. & Heemann, R. 2006. Structural constraints on Paraná basalt volcanism and their implications on agate geode mineralization (Salto do Jacuí, RS, Brazil). *Pesquisas em Geociências*, 33: 37-50.

Scopel, R. M. 1997. Estudo dos derrames basálticos portadores de ametistas da Região de Ametista do Sul, RS- Brasil. Porto Alegre, 156p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Silva, R., Petter, C. O. & Schneider, I. A. H. 2007. Avaliação da perda da coloração artificial de ágatas. *Revista da Escola de Minas*, 60(3): 477-482.

Silveira, F. L. 2011. Uso de usinagem por jato de água, usinagem por controle numérico computadorizado e corte a laser no design de superfícies tácteis a partir de padrões modulares encaixáveis em ágata e cedro. Porto Alegre, 153p. Programa de Pós-graduação em Design, Escola de Engenharia, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Voltar ao Sumário

Contribuições à Geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina

SINDIPEDRAS. Sindicato das Indústrias de Joalheria, Mineração, Lapidação, Beneficiamento e Transformação de Pedras Preciosas do Rio Grande do Sul. Várias [...]. Disponível em: <http://www.sindipedras.com.br>. Acesso em: 10 out. 2020.

Tessmann, C. S. 2009. Importância do binômio Design e Engenharia no Beneficiamento de rejeito mineral de opala e ágata na produção de camafeus por usinagem CNC. Porto Alegre, 109p. Programa de Pós-graduação em Design, Escola de Engenharia, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Tubino, L. C. B. 1998. Tratamento industrial da ágata em bruto no estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 177 p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Webster, R. 1983. Gems-their sources, descriptions, and identification. 4. ed. London, Butterworths, 1006p.