

PADRONIZAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE TRATAMENTO TERMOQUÍMICO A PARTIR DE RODAMINA-B PARA ÁGATAS DO RIO GRANDE DO SUL

STANDARDIZATION AND OPTIMIZATION OF THERMOCHEMICAL TREATMENT FROM RODAMINE-B FOR AGATE GRANDE DO SUL

Cristiane Ericksson¹, Irineu Antonio Schadach de Brum²

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Tecnologia, Laboratório de Processamento Mineral - LAPROM, Av. Bento Gonçalves, Campus do Vale, 90650-001 – Porto Alegre – RS – Brasil.
E-mail: cristianeericksson@gmail.com

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Tecnologia, Laboratório de Processamento Mineral - LAPROM Av. Bento Gonçalves, Campus do Vale, 90650-001 – Porto Alegre – RS – Brasil.
E-mail: irineu.brum@ufrgs.br

RESUMO

A ágata do sul do Brasil, apresenta colorações pouco interessantes ou salientes, sendo predominante os tons acinzentados. Tais qualidades, foram fatores determinantes para o início do processo de tingimento de ágata do Rio Grande do Sul, no século XVIII. Atualmente, o segmento mineral, apresenta carências relacionadas a tecnologias e processos de produção, além de infraestruturas inadequadas, resultando em prejuízo para as comunidades produtoras. Nesse cenário, a pesquisa se estrutura para avaliar técnicas operacionais viáveis para o setor, objetivando a melhoria do valor agregado às gemas beneficiadas e qualidade da cor. Para o desenvolvimento do tratamento de ágatas, o sistema foi replicado, padronizado e otimizado no Laboratório LAPROM da UFRGS e Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul. A amostragem foi classificada em quatro padrões de deposição e analisada em espectrofotômetro em três etapas distintas. Ao término, se tem a comparação dos resultados do tingimento otimizado e o industrial, com as curvas de distribuição espectral medidas antes e após o tratamento termoquímico da ágata. Com o sistema otimizado, foi possível reduzir custos operacionais, tempo de energia envolvida no sistema, além de manter e elevar a qualidade da cor, sendo possível estabelecer relação com aspectos quanti e qualitativos dos reagentes utilizados.

Palavras-chave: ágata, tingimento, tratamento de gemas, beneficiamento mineral.

ABSTRACT

The agate of the south of Brazil, presents not much interesting or salient colorations, being predominant the grayish tones. These qualities were determining factors for the beginning of the agate dyeing process in Rio Grande do Sul, in the 18th century. Currently, the mineral segment presents deficiencies related to technologies and production processes, as well as inadequate infrastructures, resulting in loss to the producing communities. In this scenario, the research is structured to evaluate viable operational techniques for the sector, aiming to improve the value added to the gems benefited and color quality. For the development of the black treatment, the system was replicated, standardized and optimized in the LAPROM Laboratory of the UFRGS and Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul. The sampling was classified in four standards and spectrophotometer analyzed. In conclusion, is compared the optimized and conventional dyeing results, with the spectral distribution curves measured before and after the thermochemical treatment of the agate. With the optimized system, it was possible to reduce operating costs, energy time involved in the system, maintain color quality and relate to the proportion of reagents used.

Keywords: agate, dyeing, gem treatment, mineral processing.

1. INTRODUÇÃO

As ágatas do Rio Grande do Sul se caracterizam por formatos, cores e tamanhos diferentes das alemãs, apresentando cores mais acinzentadas e tamanhos que podem tomar proporções variadas. E ao longo das décadas, o setor mineral riograndense tornou-se um dos maiores produtores de ágatas e ametistas, com capacidade de abastecimento do mercado internacional (Tubino, 1998), fato esse que perdura até os tempos atuais.

E, atualmente, a inexistência de acompanhamento técnico no processo de beneficiamento de ágata, agregado aos métodos utilizados na fase de tingimento, promove baixo índice econômico e elevados custos operacionais no setor mineral (Ericksson, 2017).

Conforme analogia de Schumann (1985), pode interpretar que a cor é o resultado produzido pela vibração magnética de determinados comprimentos de onda. Porém, na percepção do olho humano, ocorre a detecção de comprimentos de onda em torno de 4000Å a 7000Å. Desta forma, a cor real medida em equipamentos específicos é diferente da cor percebida pelo olho humano, pois a cor se torna uma sensação na percepção humana. É importante salientar que, conforme ratificado por Lopes (2009), a iluminação interfere na curva de reflectância, assim, torna-se fundamental explicitar o iluminante utilizado para a obtenção dos resultados avaliados. Desta forma, um determinado pode apresentar alteração de cor, conforme a fonte de luz que está submetido.

A curva de distribuição de refletância espectral, representa a quantidade de energia refletida pela superfície por comprimento de onda do espectro visível, sendo que o eixo das abcissas Y, indica a quantidade de energia (refletância %) e o eixo das ordenadas X os valores de comprimento de onda, conforme Figura 1.

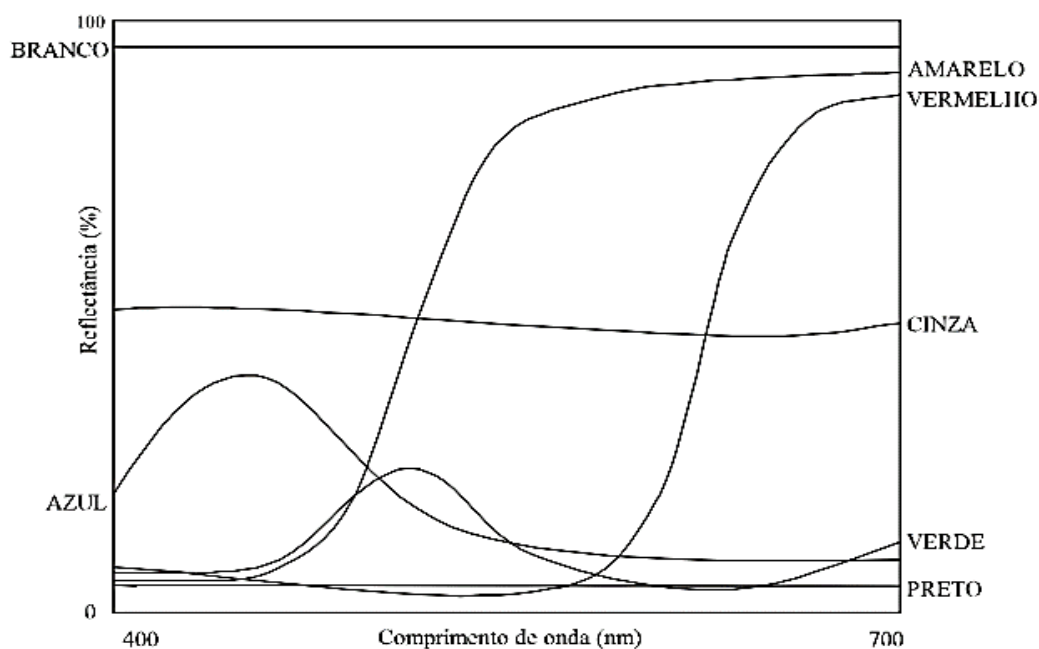


Figura 1 - Espectro de reflectâncias de determinados objetos opacos e coloridos, na faixa do comprimento de onda do visível. Fonte: Billmeyer e Saltzman (1966).

Ao subtrair do branco a cor azul, resultando assim, no amarelo, com uso de filtro ou pigmento. Assim como, ao remover o verde do branco, resulta na cor magenta e ambas removidas, se obtém o vermelho, conforme ilustração (a) da figura abaixo. Considerando que, a sobreposição das curvas de reflectância da cor magenta e amarela, resultam na curva de distribuição espectral do vermelho (b), da Figura 2.

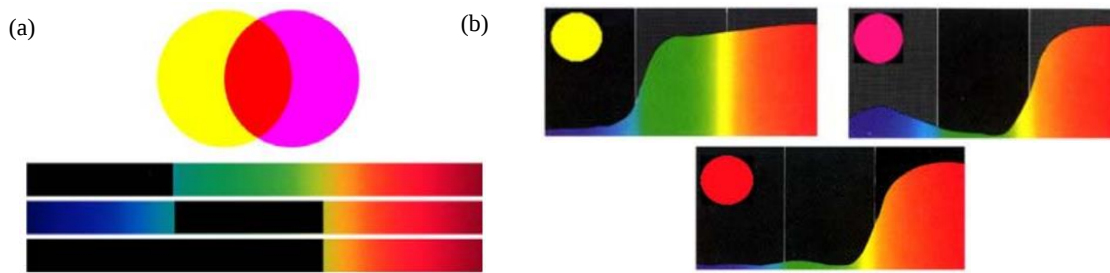


Figura 2 - Sistema subtrativo obtida quando os espectros azul e verde são filtrados (a). Curvas de reflectância para o amarelo, magenta e vermelho (b). Fonte: Adaptado de Lopes (2009, p. 34).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Amostragem

A seleção das amostras ocorre de forma a não ser considerada a origem destas pela lavra, sendo utilizadas na pesquisa ágatas de diversas lavras e de regiões distintas do estado do Rio Grande do Sul. Os geodos foram laminados em serra poli corte para fornecer amostras com as características necessárias, no formato de chapas, com espessuras que variam, em média, de 3 a 4 milímetros. Realiza-se classificação prévia de ágatas, adotando nomenclatura usual, empregada pelo segmento mineral local. Assim, as amostras foram classificadas em quatro categorias, nominadas como ágata “vidrada”, ágata de “massa”, ágata “com sal” e ágata “bandada”.

Cada amostra de ágata recebe uma numeração, com gravação a laser, para identificação da categoria e demarcação espacial da face superficial para ser medido o comprimento de onda, por um círculo com diâmetro de 6 mm.

Posteriormente, ocorre a confecção de máscaras para cada uma das amostras produzidas, a fim de preservar o ponto de leitura espectrofotométrica. Para cada amostra, foi marcado dois pontos de medidas, para avaliação em duplicata do comportamento da ágata. Em seguida, forma-se grupos (conjuntos) de amostras, sendo que cada um destes é composto por uma amostra de ágata da categoria vidrada, bandada, de sal e de massa, totalizando 4 amostras por conjunto.

Na Tabela 1, é possível identificar as amostras usadas para o estudo de caso da presente pesquisa, as marcações, a categoria e processo de coloração artificial em que foram submetidas.

2.2. Tingimento industrial (convencional)

Todas as amostras, submetidas ao processo de tingimento artificial pelo método convencional, foram tingidas por empresa local, dentro do respectivo estabelecimento que realiza o beneficiamento mineral com tratamento de ágatas. As ágatas são submetidas a imersão em solução tingidora rosa, a base de corantes orgânicos, sendo usado possivelmente a Rodamina B ou associações desta. Inicialmente, a solução é preparada a partir da dissolução de anilina (corante) em álcool combustível, na proporção de 0,5:15. Permanecem nesta solução sob aquecimento contínuo, em banho maria, por período que varia de cinco a sete dias (120-168 horas), com temperatura estimada entre 60 a 80°C. Em função da evaporação do solvente sob aquecimento, ocorre a reposição deste para manter o nível mínimo necessário da imersão total das peças. Posteriormente, são lavadas com água em abundância e seguem para o processo de lixamento e polimento das peças.

Tabela 1 - Informações das amostras submetidas ao tingimento em rosa, com corante orgânico.

Coloração Artificial com corante orgânico	Amostras		
	Categoria	Quantidade de chapas/amostras	Pontos avaliados Identificação (<i>laser</i>)
Rosa (Tingimento industrial)	Vidrada	1	114V1, 114V2
	Bandada	1	114B1, 114B2
	Sal	1	114S1, 114S2
	Massa	1	114M1, 114M2
Rosa (Padronização)	Vidrada	5	SI
	Bandada	5	SI
	Sal	5	SI
	Massa	5	SI
Rosa (Concentração 1)	Vidrada	1	17V1, 17V2
	Bandada	1	17B1, 17B2
	Sal	1	17S1, 17S2
	Massa	1	17M1, 17M2
Rosa (Concentração 2)	Vidrada	1	18V1, 18V2
	Bandada	1	18B1, 18B2
	Sal	1	18S1, 18S2
	Massa	1	18M1, 18M2
Rosa (Concentração 3)	Vidrada	1	19V1, 19V2
	Bandada	1	19B1, 19B2
	Sal	1	19S1, 19S2
	Massa	1	19M1, 19M2
Rosa (Concentração 4)	Vidrada	1	5V1, 5V2
	Bandada	1	5B1, 5B2
	Sal	1	5S1, 5S2
	Massa	1	5M1, 5M2
Rosa (Concentração 5)	Vidrada	1	110V1, 110V2
	Bandada	1	110B1, 110B2
	Sal	1	110S1, 110S2
	Massa	1	110M1, 110M2

SI – Sem identificação

2.3. Padronização – Determinação da Fórmula Padrão

Para desenvolver o tratamento termoquímico de ágatas, utiliza-se corantes orgânicos, comumente nominados de anilinas. Assim, para obtenção da cor rosa, é utilizado o corante Rodamina-B na relação mássica soluto/solvente de 3,3:100 para constituição da solução aquosa. A seguir, a Figura 3, ilustra o registro da solução preparada para o tingimento padronizado para obtenção de ágatas tingidas em rosa.

Após, as amostras são imersas nesta solução e acondicionadas em recipientes plásticos, hermeticamente fechados. Os recipientes são armazenados dentro do tanque de tingimento para proceder com aquecimento, conforme Figura 4.

As amostras são mantidas em aquecimento por um período de 8 horas ininterruptas em temperatura constante de 60 °C. Contudo, torna-se necessário o prévio aquecimento da água contida no tanque até que seja alcançada a temperatura desejada, para posterior contagem do intervalo de tempo de 8 horas. O procedimento descrito é repetido por 5 dias (120 horas) consecutivos,

totalizando 40 horas de aquecimento contínuo a 60 °C e 120 horas de imersão das gemas nas soluções tingidoras.

Decorrido o período, as amostras são removidas da solução tingidora. Neste caso, os recipientes plásticos são transferidos para o segundo compartimento do tanque de lavagem, onde é realizado o primeiro banho, sendo usado o mesmo solvente da dissolução do pigmento, ou seja, álcool.

Em seguida, as gemas são transferidas para outro recipiente previamente limpo e higienizado, para recebimento da segunda lavagem, porém, com água em quantidade reduzida. O efluente gerado na lavagem é armazenado em bombona devidamente identificada, para estudo posterior de tratamento e reciclo.

Quanto ao álcool usado na primeira lavagem das gemas, o mesmo é recolhido em recipientes individuais por cor tingida e reutilizado para reposição do próprio solvente na solução tingidora, tendo em vista a perda volume por evaporação, quando submetida ao aquecimento. Ao término dos procedimentos, as gemas são acomodadas em papel toalha, para secagem, finalizando o processo (Figura 5).



Figura 3 - Solução tingidora.



Figura 4 - Tanque de tingimento.



Figura 5 - Amostras de ágata tingida.

2.4. Otimização

Para otimização do processo de tingimento em rosa, foram utilizados como reagentes, Rodamina-B e etanol, com identificação de quantidades mínimas necessárias, para a efetivação dos processos de tingimentos vinculados à minimização de reagente e insumos. Na Tabela 2, a seguir pode ser observado as especificações técnicas dos produtos analíticos.

Tabela 2 - Informações de reagentes. Fonte: FISPQ.

Coloração	Reagentes	
Rosa	Reagente 01: $C_{28}H_{10}ClN_2O_3$	Reagente 02: C_2H_5OH
	Descrição: Rodamina B P.A.	Descrição: Álcool etílico
	Fabricante: Dinâmica Química Cont.	Fabricante: Dinâmica Química Cont.
	Lote: 69716	Lote: 71388
	CAS: 81-88-9	CAS: 64-17-5
	ONU: -	ONU: -
	Teor: -	Teor: 66%
	PM: 479,02	PM: 46,07

Também foi utilizado pigmento comercial rosa, adquirido no comércio local, sendo este de uso geral no setor mineral regional como corantes para os tingimentos desta coloração. Tal pigmento, foi utilizado em testes preliminares que subsidiaram parâmetros e indicativos durante a replicação e padronização dos sistemas de tingimento, sendo e reutilizados no tingimento para a concentração 4 nessa etapa de otimização. O preparo das soluções tingidoras ocorre em cinco concentrações

diferentes, sendo estas preparadas nas quantidades descritas na Tabela 3. Para cada solução, foram utilizados 0,5 L de solvente.

Tabela 3 - Concentração das soluções alcoólicas.

Coloração	Concentração	Corante:álcool
Rosa	I	0,4:100
	II	0,8:100
	III	1,7:100
	IV*	3,3:100
	V	3,8:100

*Produto comercial (não analítico).

Depois de preparada cada uma das soluções, acrescenta-se as amostras de ágata para imersão por um período de sete dias (168 horas), sem aquecimento (Figura 6).



Figura 6 - Vista geral dos lotes de ágatas submetidos ao tingimento otimizado na tonalidade rosa.

As variações de temperatura ambiente foram controladas, conforme pode ser verificado na Tabela 4, contendo as máximas e mínimas medidas.

Tabela 4 - Controle de temperatura ambiente, para o tratamento em rosa.

Dia	Temperatura máxima (° C)	Temperatura mínima (° C)
1	12,7	0,3
2	18,3	2,5
3	18,3	6,6
4	20,9	9,6
5	17,9	12,6
6	14,4	7,8
7	12,8	4,7

Transcorrido o período acima, retira-se as amostras de ágatas do interior da solução tingidora, transferindo-as para outro recipiente. Na primeira lavagem, é utilizado o etanol, sendo este

reincorporado ao processo produtivo novamente como repositório de solvente evaporado. Posteriormente, é realizado a segunda lavagem, com água.

Na Figura 7, é apresentado, o fluxograma do processo de otimização para a coloração artificial rosa aplicado às gemas, para as concentrações 1, 2, 3, 4 e 5.

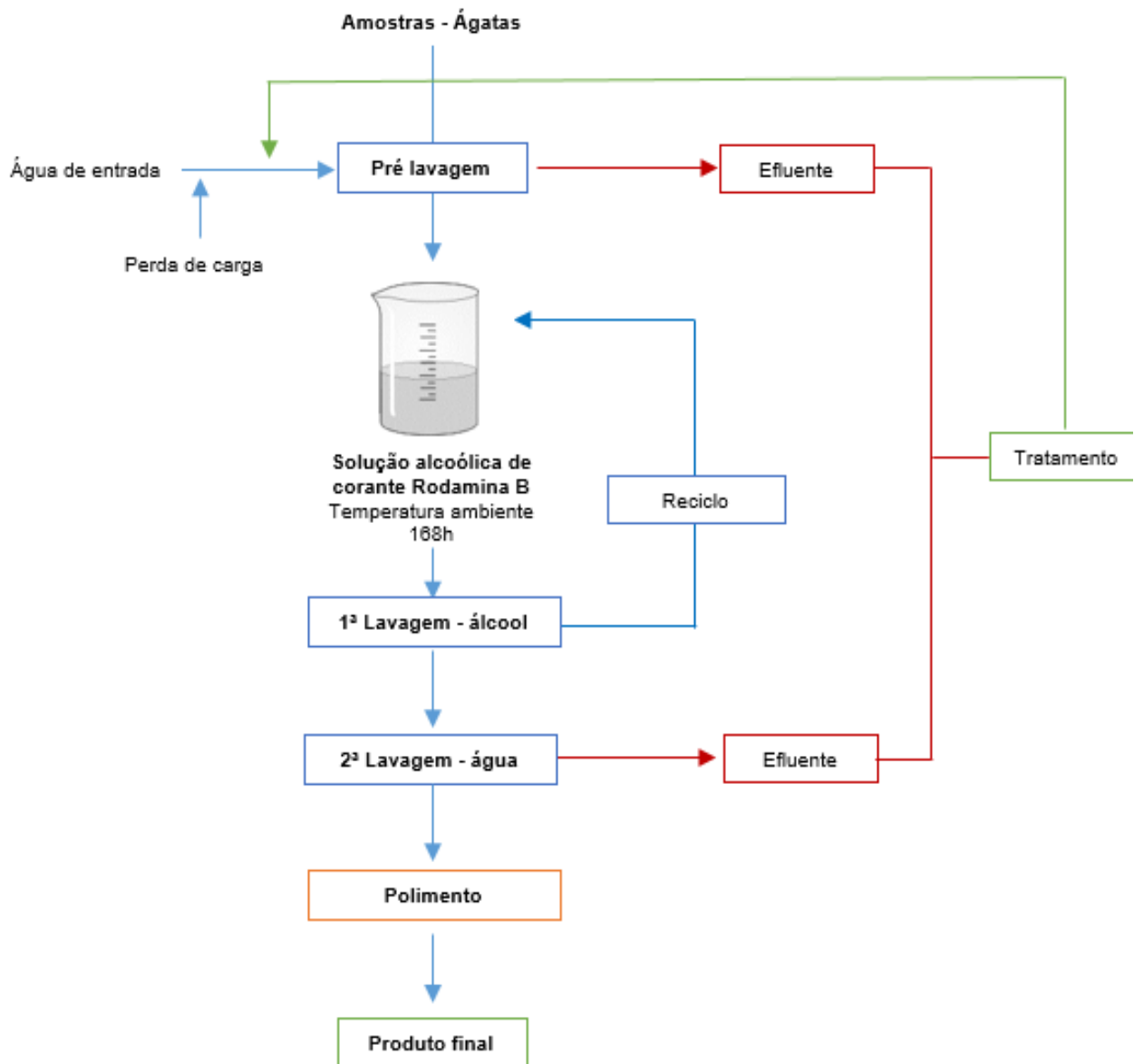


Figura 7 - Fluxograma para o processo de otimização da coloração artificial rosa para ágatas.

2.5. Análise espectrofotométrica

Todas as amostras foram submetidas à análises por espectrofotometria em três momentos distintos, sendo esses, antes do tingimento, entre o tingimento e o polimento e após o polimento. As leituras se executam com o auxílio do espectrofotômetro MINOLTA CM-2600d, com esfera de integração associada a um filtro ultravioleta. Usa-se como iluminante o D65, que representa a repartição espectral da luz do dia. A captação da reflectância simula um observador a 10°. Executa-se a calibração do aparelho no início do trabalho, tendo dois pontos de referência, o zero e o branco-padrão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante o desenvolvimento da pesquisa nas empresas locais, foi verificado que estas não possuem sistema padronizado, tampouco ocorre a quantificação de reagentes. Assim, o beneficiamento mineral com tratamento químico e/ou térmico de gemas apresenta deficiências na qualidade final do produto, associado com a redução do valor comercial das peças tingidas, além de não se obter cores de intensidade desejada, acarretando em desperdício de mão de obra e custos inerentes ao processo. Tanto a padronização, quanto a otimização dos sistemas de tingimentos para O tratamento de ágata na pesquisa, foram balizadas pela quantificação de reagentes, a viabilidade técnica de redução de custos operacionais, considerando seus coeficientes de solubilidade e características físico-químicas dos reagentes, além da redução de energia agregada ao processo de beneficiamento.

Na padronização, a quantidade mássica de anilina foi mantida de acordo com o processo industrial, porém ajustada na otimização conforme o coeficiente de solubilidade dos reagentes. No processo otimizado, foi utilizada água de reuso no processo de lavagem das peças, enfatizando que o reciclo do efluente pode ser viável técnica e economicamente para o setor mineral.

Com a redução e/ou eliminação da energia fornecida nos processos de padronização e otimização, não foi constatado perda de eficiência no tratamento químico das gemas, sendo obtidos resultados satisfatórios e ora superiores à qualidade obtida no tingimento industrial. Assim, o processo otimizado está em consonância com a sustentabilidade industrial e a viabilidade econômica, podendo contribuir no auxílio da redução de custos operacionais. A Tabela 5, representa a compilação dos resultados obtidos em função do tempo do tratamento, com a respectiva carga horária de operação e redução de aquecimento fornecido aos processos. Ao avaliar os resultados obtidos, é possível ressaltar com maior propriedade as questões econômicas que podem ser atingidas no setor mineral com a implantação de um novo método de tingimento, conforme o desenvolvido na etapa de otimização. Desta forma, o sistema otimizado para tratamento químico e/ou termoquímico de ágatas, reduz o tempo de energia aplicada ao método, diminuindo riscos operacionais e ocupacionais, tendo ainda, predominância do quesito qualidade das cores desejadas.

Tabela 1 - Tempo total do tratamento de ágata pelo processo industrial e otimizado.

Coloração Artificial	Tingimento Industrial		Tingimento Otimizado		Redução de tempo de consumo de energia (h)	Redução de tempo (energia agregada ao processo) (%)
	Tempo total (h)	Tempo de consumo de energia (h)	Tempo total (h)	Tempo de consumo de energia (h)		
Rosa (Rodamina-B)	120	120	178	-	120	100

As Figuras 8 a 17, representam as amostras submetidas ao tingimento em rosa otimizado em laboratório, a partir de corante orgânico, para as cinco concentrações diferentes. As concentrações 1, 2, 3 e 5 são a partir de solução alcoólica de Rodamina-B e a concentração 4 de produto comercial, sem especificação de corante.



Figura 8 - Amostras de lâminas de ágata com numeração 17, da categoria “vidrada” (17V1 e 17V2), seguida da categoria “bandada” (17B1 e 17B2), “sal” (17S1e 17S2) e “massa” (17M1 e 17M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento em rosa orgânico, para a concentração 1.



Figura 9 - Amostras de lâminas de ágata com numeração 17, da categoria “vidrada” (17V1 e 17V2), seguida da categoria “bandada” (17B1 e 17B2), “sal” (17S1e 17S2) e “massa” (17M1 e 17M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 1, após polimento das peças.



Figura 10 - Amostras de lâminas de ágata com numeração 18, da categoria “vidrada” (18V1 e 18V2), seguida da categoria “bandada” (18B1 e 18B2), “sal” (18S1e 18S2) e “massa” (18M1 e 18M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento em rosa orgânico, para a concentração 2.



Figura 11 - Amostras de lâminas de ágata com numeração 18, da categoria “vidrada” (18V1 e 18V2), seguida da categoria “bandada” (18B1 e 18B2), “sal” (18S1e 18S2) e “massa” (18M1 e 18M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 2, após polimento das peças.



Figura 12 - Amostras de lâminas de ágata com numeração 19, da categoria “vidrada” (19V1 e 19V2), seguida da categoria “bandada” (19B1 e 19B2), “sal” (19S1e 19S2) e “massa” (19M1 e 19M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 3, antes do tingimento.

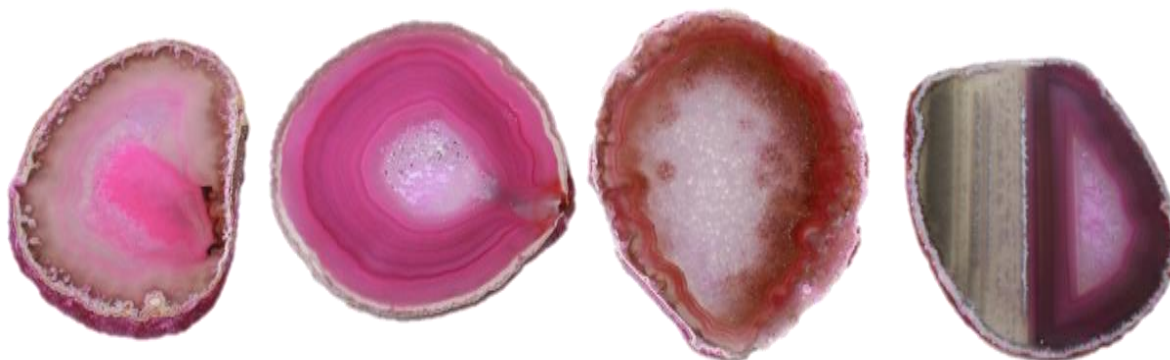


Figura 13 - Amostras de lâminas de ágata com numeração 19, da categoria “vidrada” (19V1 e 19V2), seguida da categoria “bandada” (19B1 e 19B2), “sal” (19S1e 19S2) e “massa” (19M1 e 19M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 3, após polimento das peças.



Figura 14 - Amostras de lâminas de ágata com numeração 5, da categoria “vidrada” (5V1 e 5V2), seguida da categoria “bandada” (5B1 e 5B2), “sal” (5S1e 5S2) e “massa” (5M1 e 5M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 4, antes do tingimento.



Figura 15 - Amostras de lâminas de ágata com numeração 5, da categoria “vidrada” (5V1 e 5V2), seguida da categoria “bandada” (5B1 e 5B2), “sal” (5S1e 5S2) e “massa” (5M1 e 5M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 4, após polimento das peças.



Figura 16 - Amostras de lâminas de ágata com numeração 110, da categoria “vidrada” (110V1 e 110V2), seguida da categoria “bandada” (110B1 e 110B2), “sal” (110S1 e 110S2) e “massa” (110M1 e 110M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 5, antes do tingimento.

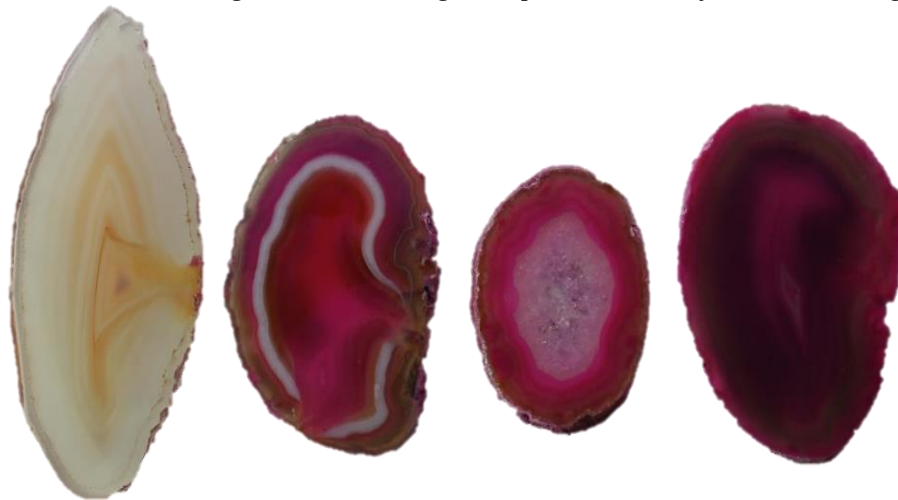


Figura 17 - Amostras de lâminas de ágata com numeração 110, da categoria “vidrada” (110V1 e 110V2), seguida da categoria “bandada” (110B1 e 110B2), “sal” (110S1 e 110S2) e “massa” (110M1 e 110M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 5, após polimento das peças.

Ao avaliar a cor como uma sensação, os melhores resultados para a coloração artificial rosa, foi atribuído para a categoria bandada e massa submetidas à concentração 5. Embora as amostras submetidas à concentração 4 apresentam resultado visual semelhante aos da concentração 5, porém, os comprimentos de onda são bem distintos ao comparar tais concentrações.

Neste sentido é importante salientar que a solução tingidora da concentração 4 foi elaborada a partir de corante adquirido no comércio local, sendo este o mesmo usado pelo setor mineral da região. O produto não apresenta especificação técnica sobre a composição ou pureza, podendo se deduzir que não se trata de um puro analítico, em função do valor em que é comercializado e falta de informações técnicas. Desta forma, o produto pode apresentar impurezas químicas e/ou associações de corantes que tendem a interferir no comprimento de onda da cor, como foi constatado nas representações gráficas acima.

A seguir, o resultado obtido pelo tingimento convencional local para as amostras de ágatas submetidas à coloração rosa, a partir de corante comercial, nas Figuras 18 e 19.



Figura 18 - Amostras de lâminas de ágata com numeração 114, da categoria “vidrada” (114V1 e 114V2), seguida da categoria “bandada” (114B1 e 114B2), “sal” (114S1 e 114S2) e “massa” (114M1 e 114M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento convencional em rosa, a base de corante orgânico.



Figura 19 - Amostras de lâminas de ágata com numeração 114, da categoria “vidrada” (114V1 e 114V2), seguida da categoria “bandada” (114B1 e 114B2), “sal” (114S1 e 114S2) e “massa” (114M1 e 114M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento convencional em rosa, a base de corante orgânico, após polimento.

As figuras acima, representam as amostras submetidas ao tingimento industrial, o qual se esperava ter resultado semelhante ao obtido nas amostras da concentração 4, considerando que o produto e suas proporções seriam iguais ou, no mínimo, semelhantes. Ademais, estas amostras foram tingidas com aquecimento, o que, em teoria, confere maior impregnação da cor em função da dilatação dos poros da gema, conforme resultados obtidos por Tubino (1998). No entanto, o mesmo não foi constatado.

Na representação gráfica a seguir (Figura 20), é possível verificar as curvas de reflectância para cada comprimento de onda das amostras submetidas ao processo otimizado de tingimento rosa e o processo industrial, ambos a partir de corantes orgânicos. Ao avaliar o comportamento do comprimento de onda em função e reflectância foi observado que a curva mais relevante para a cor é para a média das amostras tingidas em rosa na concentração 5 (proporção mássica de 0,038:1 na relação soluto/solvente), para categorias bandada (M BAN [] 5) e massa (M MAS [] 5). Genericamente, o processo de tingimento industrial apresentou comprimentos de onda semelhantes aos das concentrações 3 e 4, dependendo da categoria das amostras.

Em nenhum dos produtos comercializados, destinadas à coloração artificial de ágatas foi possível identificar a composição química e a concentração dos reagentes e/ou produto, hora por falta de rastreio do fornecedor/fabricante, hora por falta de informações no rótulo do produto.

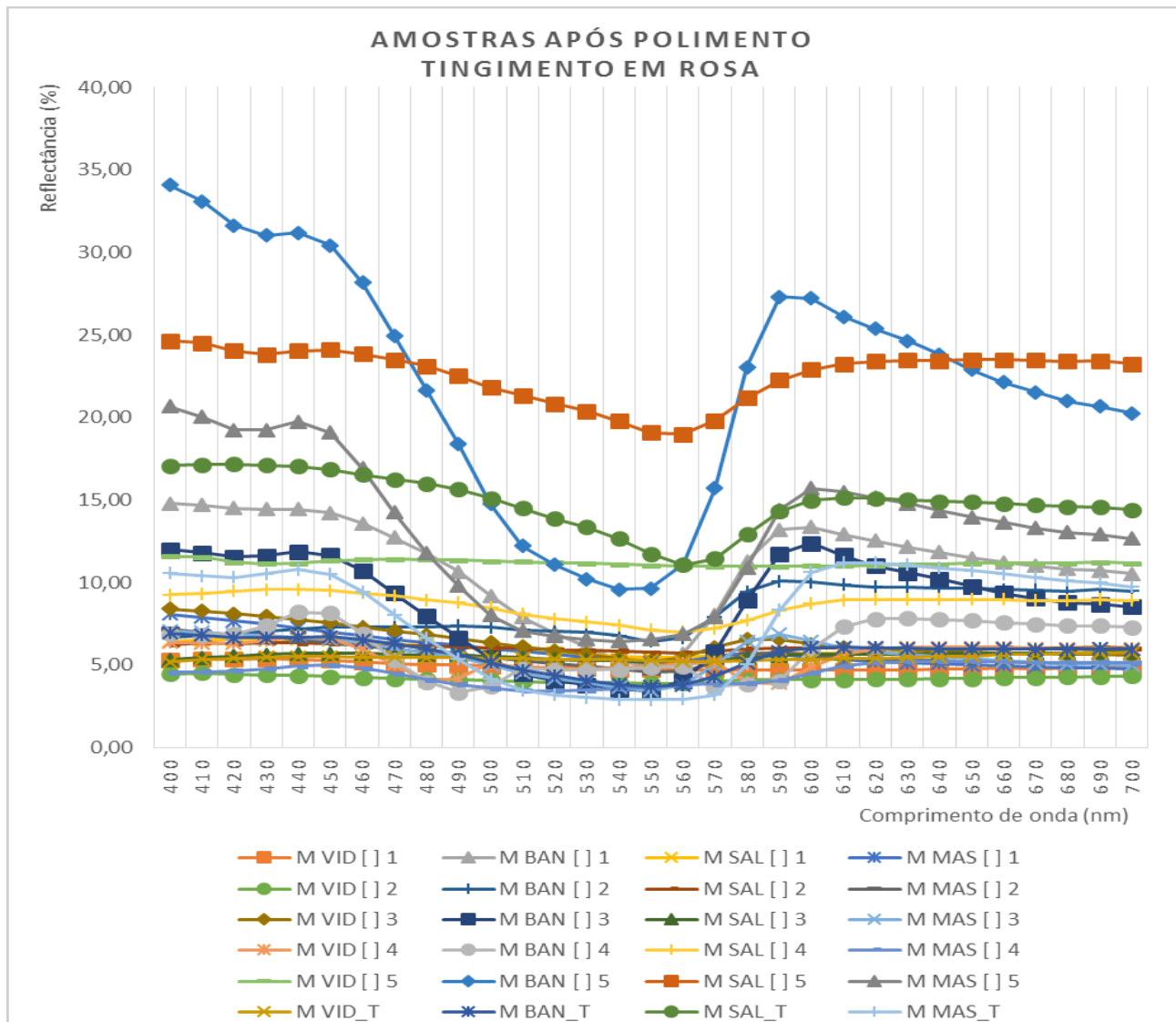


Figura 20 - Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento em rosa, a base de corante orgânico para as concentrações 1, 2, 3, 4 e 5 e ao sistema de tingimento convencional. Medidas realizadas após polimento das peças tingidas. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID [] 4, média da categoria vidrada submetida à concentração 4. M BAN [] 4, média da categoria bandada submetida à concentração 4. M SAL [] 4, média da categoria sal submetida à concentração 4. M MAS [] 4, média da categoria massa submetida à concentração 4. M VID [] 5, média da categoria vidrada submetida à concentração 5. M BAN [] 5, média da categoria bandada submetida à concentração 5. M SAL [] 5, média da categoria sal submetida à concentração 5. M MAS [] 5, média da categoria massa submetida à concentração 5. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T, média da categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional.

4. CONCLUSÃO

A partir do estudo em questão, pode ser apontado como relevante o avanço no que tange os processos e métodos de tratamento químico e termoquímico de gemas, considerando os resultados obtidos na otimização do processo de tingimento e a evolução na linha da pesquisa desenvolvida. Assim, se elenca as principais conclusões do trabalho:

- A modalidade industrial para tratamento termoquímico de ágata é variada, sem controle ou gerenciamento de temperatura, tampouco os sistemas de aquecimento permanecem em temperatura constante durante o intervalo de tempo em que estão submetidas à etapa de imersão, principalmente naquelas que usam sistema de aquecimento por queima de madeira.

- Durante a padronização e a otimização dos métodos de tingimento foi possível delinear que os tempos de aquecimentos poderiam ser reduzidos quase na sua totalidade e, na otimização, foram eliminados. Assim, se obteve economia de energia agregada ao tratamento de ágata.

- Ao final do processo de otimização, é possível determinar o tom desejado para a cor analisada, seguindo com a respectiva formulação para o tratamento. Não obstante, ocorre a correlação da qualidade das peças tingidas, podendo ser definido um padrão de cor e categorias que aceitam essa coloração com a respectiva concentração. Foi possível estabelecer relações entre qualidade de cor, categorias de ágata e quantidade de reagentes a serem utilizadas para um padrão mínimo de coloração em cada tratamento químico e/ou termoquímico desenvolvido.

- Em relação as categorias de amostras, pode ser constatado que a ágata com “sal” não apresenta alteração significativa de cor para os diferentes sistemas de tratamento. Para a categoria vidrada, o comportamento foi variado, ora aceitando a coloração, ora não.

- As melhores categorias para serem submetidas ao tratamento são as classificadas como ágata bandada (padrão com bandas concêntricas e/ou plano paralelas) e ágata de massa (padrão homogêneo).

- A classificação prévia das gemas, antes do tingimento, é fundamental para reduzir custos operacionais, tendo em vista que os melhores resultados são para a categoria massa e bandada.

- O tratamento otimizado de ágata, comprova que pode ser realizado com redução ou eliminação dos tempos de aquecimento, sem perder a qualidade da cor, estando em consonância com políticas sustentáveis e redução de custos operacionais no setor mineral.

5. REFERÊNCIAS

BILLMEYER, F. W.; CAMPBELL, E. D.; MARCUS, R. T. Comparative Performance of Color-Measuring Instruments; Second Report. Reprinted from APPLIED OPTICS, Vol. 13, page 1510, June 1974 – Copyright by the Optical Society of America, 1974.

BILLMEYER, F. W.; ALESSI, P. J. Assessment of Color-Measurements Objective Textile Acceptability Judgement. United States Army. Natick, Massachusetts – March 1979.

BILLMEYER, F. W.; ALESSI, P. J. Assessment of Color-Measuring Instruments, by John Wiley & Sons, Inc. Volume 6, Number 4, Winter 1981.

ERICKSSOM, C. Estudo de caso, replicação, padronização e otimização de técnicas de tratamento de gemas - Processos de tingimento de ágata do Rio Grande do Sul. 2017. 201 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGE3M). Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Escola de Engenharia. Porto Alegre, 2017.

ERICKSSON, C.; BRUM, I. A. S. (2017). Estudo de caso, padronização e otimização da coloração artificial em preto para ágatas do Rio Grande do Sul. In: Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul. Ações aplicadas à cadeia produtiva de gemas e joias do Rio Grande do Sul. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Instituto de Geociências. Porto Alegre: IGEO/UFRGS. 2017, 7, 60-72.

LOPES, L. C. Controle metrológico da cor aplicado à estamperia digital de materiais têxteis. 2009. 142 f. Dissertação (Mestrado em Metrologia). Programa de Pós Graduação em Metrologia. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2009.

SCHUMANN, Walter. *Gemas do Mundo*. 3. ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1985.

TUBINO, LUIZ CARLOS B. Tratamento industrial da ágata em bruto no Estado do Rio grande do Sul. 177 f. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia UFRGS, Porto Alegre, 1998.