



**ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

Dissertação de mestrado

**DESIGN DE JOIAS E SELEÇÃO DE MATERIAIS: SIMULAÇÃO DO
EFEITO AVENTURINA UTILIZANDO POLÍMERO E PARTÍCULAS
MINERAIS**

Marina Wilm

Porto Alegre

2015



**ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

Marina Wilm

**DESIGN DE JOIAS E SELEÇÃO DE MATERIAIS: SIMULAÇÃO DO
EFEITO AVENTURINA UTILIZANDO POLÍMERO E PARTÍCULAS
MINERAIS**

Defesa de dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design - ênfase em Design e Tecnologia - como requisito para obtenção do título de Mestre em Design pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Luiz Juchem.

Porto Alegre

2015

Marina Wilm

**DESIGN DE JOIAS E SELEÇÃO DE MATERIAIS: SIMULAÇÃO DO EFEITO
AVENTURINA UTILIZANDO POLÍMERO E PARTÍCULAS MINERAIS**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada como requisito para obtenção do título de Mestre em Design, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 30 de janeiro de 2015.

Prof. Dr. Fábio Teixeira

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

BANCA EXAMINADORA:

Prof.^a Dr.^a Liane Roldo
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Prof.^a Dr.^a Cristiane Krause Santin
Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Prof. Dr. Maciel Donato
Universidade de Passo Fundo- UPF

Prof. Dr. Pedro Luiz Juchem (Orientador)
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

CIP - Catalogação na Publicação

Wilm, Marina

Design de Joias e Seleção de materiais: simulação do efeito aventurina utilizando polímero e partículas minerais. / Marina Wilm. -- 2015.
136 f.

Orientador: Pedro Luiz Juchem.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2015.

1. Design de joias. 2. Seleção de Materiais. 3. Aventurina. 4. Fragmentos Minerais. 5. Polímero. I. Juchem, Pedro Luiz, orient. II. Título.

*Ao meu melhor amigo:
Maurício Bartz de Moura,
Saudade eterna, meu príncipe!*

Agradecimentos

Diversas pessoas contribuíram para a realização dessa pesquisa, este espaço é dedicado à todas elas, porém alguns foram fundamentais para a realização deste trabalho, por prestarem ensinamentos que vão muito além dos adquiridos pela ciência.

Primeiramente, agradeço ao meu amigo Pedro Luiz Juchem, orientador em todos os aspectos da minha vida na pós-graduação, conhecimentos que vão muito além do âmbito acadêmico. Com o Pedro pude aprender que não basta ensinar e orientar, a função do educador vai além e está relacionada à características humanas, obrigado portanto, pelos momentos de incentivo e empatia.

Aos professores e colegas que auxiliaram com suas contribuições, conversas e apoio nos mais diversos temas ao longo do meu mestrado:

Aos físicos Daniel Santos Souza e Marcelo Pereira,

Aos engenheiros Liane Roldo, Annelise Alves e Carlos Raimundo Frick.

Aos colegas designers Andresa Richetti, Uda Flávia Souza, Rodolfo Rolim Dalla Costa, Rosimeri Franck Pichler, Viviane Pestano e Wagner Rossi.

Aos membros de equipe dos laboratórios onde esta pesquisa foi realizada: Laboratório de Design e Seleção de Materiais, Laboratório de Gemologia, Laboratório de Geoquímica, Laboratório de Materiais Cerâmicos, Laboratório de Física Óptica e à CAPES pelo auxílio financeiro concedido.

Aos meus meninos, minha "família Summers", amigos da capital que me apoiaram e incentivaram fazendo com que pudesse estar em casa durante a minha estadia em Porto Alegre: Renato, Roger, Davi e Maurício, vocês são realmente especiais.

Por fim, agradeço ao meu namorado César e à minha família pelo apoio e paciência nos momentos mais difíceis, sem vocês nada disso seria possível. Vocês são a minha base e a minha motivação diária, muito obrigada!

Esta pesquisa trata do desenvolvimento de um material compósito que apresente ou evidencie o efeito aventurina e apresenta sugestões de sua aplicação em joalheria. O efeito aventurina, ou aventurescencia, é uma propriedade óptica que pode ocorrer em alguns minerais transparentes a translúcidos, como o quartzo e o feldspato, caracterizado pela presença de inclusões de minerais lamelares brilhantes, que produzem reflexos metálicos intensos e cintilantes. A escolha desse tema foi motivada pela necessidade de criar uma cultura de inovação e diferenciação no design de joias. Após uma caracterização inicial dos minerais que apresentam efeito aventurina, realizou-se a seleção de materiais de baixo custo e de fácil elaboração e que pudessem reproduzir as características ópticas desse efeito. Essa etapa resultou no desenvolvimento de um compósito formulado a partir de uma matriz polimérica de resina poliéster com inclusões de partículas de biotita e muscovita. Por meio da análise das amostras iniciais pode-se concluir que a muscovita reproduziu melhor o efeito aventurina, uma vez que manteve a sua reflexão na interação com o filme de poliéster. Já a biotita não manteve a reflexão com a interação do meio, o que não descarta a possibilidade de utilizá-la para outros fins que não os de reprodução dessa propriedade. Após a padronização do tamanho e da composição das amostras de resina poliéster com muscovita, foram realizados testes de refletância, absorção de água e de envelhecimento acelerado, para avaliar se o material gerado pode ser utilizado em joalheria. De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que o efeito aventurina pôde ser reproduzido com os materiais selecionados e há viabilidade de aplicação desse compósito em joalheria.

Palavras-chave: Design de joias, Seleção de Materiais, Aventurina, Fragmentos Minerais, Polímero.

Abstract

This research is about the development of a composite material in order to simulate the aventurine effect, with suggestions for its use in jewelry. The aventurine effect, or aventurescence, is an optical property that can occur in transparent to translucent minerals, like quartz and feldspar, which has inclusions of platy bright minerals that produce strong and shimmering metallic reflections. The selection of this research theme has as reason the need to create a culture of innovation and differentiation in the jewelry design. After a characterization of the minerals with aventurine effect, were selected low-cost and easy-made materials that may reproduce the optical characteristics of aventurescence. After these steps, it was decided to develop a composite made from a polymeric matrix of polyester resin with inclusions of particles of muscovite and biotite. The analysis of the first composite proof samples show that muscovite may reproduce better the aventurine effect, since it retained its reflection in interactions with the polyester film. Biotite did not show a good reflection effect, which does not rule out the possibility of using these composite for other purposes than reproduction of his property. After a standardization of the size and composition of the samples of polyester resin with muscovite, some tests like reflectance, water absorption and accelerating ageing were carried out, in order to evaluate if this material can be used in jewelry. According to these results, it can be concluded that the aventurine effect can be reproduced with the selected materials and that is possible to use this composite in jewelry.

Key-words: Jewellery Design, Material Selection, Aventurine, Mineral Particles, Polymer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Inter-relações da ciência e tecnologia dos materiais com foco na indústria.	7
Figura 2: Relação entre materiais e design na fase projetual.....	9
Figura 3: 'Menu' de materiais de engenharia.....	11
Figura 4: Materiais compósitos utilizados como painéis decorativos	12
Figura 5: Representação da formação de um centro mero ativo que irá se repetir originando um polímero.....	13
Figura 6: Subdivisões dos tipos de poliéster termofixos e termoplásticos na classe dos plastômeros	14
Figura 7: Reação de polimerização por condensação de um poliéster	15
Figura 8: Hábito e clivagem das micas.....	18
Figura 9: Variáveis do movimento ondulatório de uma onda eletromagnética	24
Figura 10: Espectro eletromagnético, indicando o intervalo de comprimento de onda (m e nm) e a frequência (Hz).....	25
Figura 11: Reflexão e refração da luz	26
Figura 12: Luz incidente apresentando reflexão difusa em superfície rugosa e reflexão especular em uma porção da superfície mais plana	27
Figura 13: Transmissão da luz em discos de óxido de alumínio	30
Figura 14: Efeito aventurina	31
Figura 15: Funções estética, prática e simbólica do produto na relação usuário/produto	33
Figura 16: O produto como meio de comunicação.....	33
Figura 17: Hierarquia de necessidades dos usuários na interação com produtos de acordo com níveis	34
Figura 18: Joia de autor	36
Figura 19: Uso de Materiais alternativos na joalheria.....	38
Figura 20: Etapas do procedimento metodológico utilizadas nesta pesquisa	39
Figura 21: Esquema geral de um refratômetro indicando o caminho percorrido pela luz dentro do equipamento.....	43
Figura 22: Lupa binocular estereoscópica da marca <i>Olympus</i> modelo SZX16	45
Figura 23: Amostra do tipo cabochão observada na lupa estereoscópica	47
Figura 24: Esquema do processo de fabricação das amostras em camadas	47

Figura 25: Amostras elaboradas para o ensaio de refletância	50
Figura 26: Multi-machine <i>Lapidart</i>	51
Figura 27: <i>Cary 7000 Universal Measurement Spectrophotometer</i>	52
Figura 28: Amostras elaboradas para teste de absorção de água	53
Figura 29: Tela de programação de parâmetros da câmara climática MA 835/UR da marca <i>Marconi</i>	55
Figura 30: Amostras devidamente identificadas e inseridas no interior da câmara climática	55
Figura 31: Fotomicrografias da amostra de “feldspato aventurina”, obtidas ao microscópio petrográfico.	60
Figura 32: Fotomicrografias de lâminas delgadas da imitação da pedra do sol vistas ao microscópio petrográfico e ao microscópio metalográfico	61
Figura 33: Diagrama índice de refração x transparência, indicando diversos tipos de materiais.....	62
Figura 34: Análise à lupa estereoscópica.....	64
Figura 35: Imagem obtida na lupa estereoscópica da muscovita fragmentada indicando as regiões de maior reflexão.....	65
Figura 36: Amostras de compósito com biotita observadas a olho nu	66
Figura 37: Interferência na refletância da biotita quando agregada ao filme de poliéster em diferentes meios.....	67
Figura 38: Amostras de compósito com muscovita, fracionadas e lamelares	67
Figura 39: Amostras de compósito com muscovita	68
Figura 40: Gráfico %R em função do comprimento de onda, em uma leitura preliminar sem o uso da esfera integradora e com o uso da esfera.....	67
Figura 41: Gráfico de porcentagem de refletância em função do comprimento de onda (nm): leitura da amostra 1 no espectrofotômetro.....	71
Figura 42: Gráficos indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda em diferentes regiões da amostra que contém lamelas de muscovita próximas da superfície	71
Figura 43: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda em amostra translúcida com muscovita próxima e afastada da superfície.....	72
Figura 44: Gráficos indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda em amostra opaca de cor marrom.....	73

Figura 45: Gráficos indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda em amostra opaca com muscovita próxima da superfície	73
Figura 46: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda em amostra opaca de cor azul com muscovita afastada da superfície.....	74
Figura 47: Gráficos indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda em amostra opaca de cor azul com muscovita afastada da superfície.....	75
Figura 48: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda em amostra opaca de cor azul marinho.....	75
Figura 49: Representação geométrica do sistema óptico ideal em filme fino.....	76
Figura 50: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda na amostra 1 (confeccionada com fragmentos de biotita) inicialmente e após o ensaio de envelhecimento.	77
Figura 51: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda na amostra 2 (translúcida confeccionada com lâminas de muscovita próximas da superfície) inicialmente e após o ensaio de envelhecimento....	78
Figura 52: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda na amostra 1 (confeccionada com fragmentos de biotita) antes e após o ensaio de envelhecimento.....	86
Figura 53: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda na amostra 2 (translúcida confeccionada com lâminas de muscovita próximas da superfície) antes e após o ensaio de envelhecimento	87
Figura 54: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda na amostra 3 (translúcida, confeccionada com lâminas de muscovita distantes da superfície) antes e após o ensaio de envelhecimento.	87
Figura 55: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda na amostra 4 (opaca na cor marrom, confeccionada com lâminas de muscovita distantes da superfície) antes e após o ensaio de envelhecimento	88
Figura 56: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda na amostra 5 (opaca na cor azul, confeccionada com lâminas de muscovita próximas da superfície) antes e após o ensaio de envelhecimento	89

Figura 57: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda na amostra 6 (opaca na cor azul, confeccionada com lâminas de muscovita distantes da superfície) antes e após o ensaio de envelhecimento	90
Figura 58: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda na amostra 7 (opaca na cor bege, confeccionada com lâminas de muscovita distantes da superfície) antes e após o ensaio de envelhecimento	90
Figura 59: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda na amostra 8 (opaca na cor azul marinho, confeccionada com lâminas de muscovita distantes da superfície) antes e após o ensaio de envelhecimento	91
Figura 60: Painel do estilo de vida	92
Figura 61: Painel de expressão do produto.....	93
Figura 62: Painel do tema visual	93
Figura 63: Confeção das amostras em formatos diversos	94
Figura 64: Imagens de referência da cultura indígena - adornos indígenas e cerâmica marajoara.....	95
Figura 65: Geração de alternativas de colares e bracelete	96
Figura 66: Geração de alternativas de outras peças.....	97
Figura 67: Peça escolhida finalizada.....	98
Figura 68: Desenho técnico gerado no <i>sowtware Rhinoceros</i> , para confecção da joia.....	99

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1: Tipos de resinas poliéster insaturadas e suas principais características..	16
Quadro 2: Propriedades mecânicas e ópticas dos materiais utilizados.....	19
Quadro 3: Escala de dureza de Mohs	20
Tabela 1: Critérios de seleção da matriz e da fase dispersa do material compósito ...	8
Tabela 2: Valores aferidos de massa do material úmido e massa do material seco no ensaio curto (2h) e a porcentagem de absorção de cada amostra	81
Tabela 3: Valores aferidos de massa do material úmido e massa do material seco no ensaio longo (24h) e a porcentagem de absorção de cada amostra.....	81
Tabela 4: Médias de porcentagens de absorção da água por material e por formato.....	83

SUMÁRIO

Agradecimentos	vi
Resumo.....	vii
Abstract.....	viii
Lista de Figuras.....	ix
Lista de Quadros e Tabelas	xiii
Sumário.....	xvi
Capítulo 1 - INTRODUÇÃO.....	1
Capítulo 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1 DESIGN E SELEÇÃO DE MATERIAIS	5
2.1.1 Materiais compósitos.....	10
2.1.2 A matriz	12
2.1.3 A fase dispersa.....	17
2.1.4 Propriedades físicas e mecânicas dos materiais.....	20
2.1.5 Degradação de polímeros	21
2.2 FENÔMENOS E PROPRIEDADES ÓPTICAS	23
2.2.1 Luz.....	24
2.2.2 Reflexão especular, reflexão difusa e refração	25
2.2.3 Índice de refração.....	27
2.2.4 Absorção da luz e cor.....	28
2.2.5 Refletância	29
2.2.6 Transparência, translucidez e opacidade	29
2.2.7 Efeito aventurina	30
2.3 DESIGN DE PRODUTO E JOIAS	32
2.3.1 Estética e percepção visual dos produtos	32
2.3.2 Joia de arte e identidade	36
Capítulo 3 - MÉTODO DA PESQUISA.....	39
3.1 SELEÇÃO DE MATERIAS	40
3.1.1 Caracterização inicial dos materiais existentes no mercado	40
3.1.2 Seleção da matriz e da fase dispersa	43

3.1.3 Caracterização dos minerais selecionados	44
3.1.4 Preparação das amostras do compósito	45
3.2 ENSAIOS	48
3.2.1 Ensaio de refletância	48
3.2.2 Ensaio de absorção de água	53
3.2.3 Ensaio de envelhecimento acelerado	54
3.3 PROJETO DE JOIAS	56
3.3.1 Desenvolvimento de estilo	56
3.3.2 Geração de alternativas	56
3.3.3 Modelagem tridimensional	56
Capítulo 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.1 SELEÇÃO DE MATERIAIS	58
4.1.1 Caracterização inicial	58
4.1.2 Seleção da matriz e da fase dispersa	61
4.1.3 Caracterização dos minerais selecionados	63
4.1.4 Preparação das amostras do compósito	65
4.2 ENSAIOS	69
4.2.1 Ensaio de refletância	69
4.2.2 Ensaio de absorção de água	79
4.2.3 Ensaio de envelhecimento acelerado	84
4.3 PROJETO DE JOIAS	92
4.3.1 Desenvolvimento de estilo	92
4.3.2 Geração de alternativas	93
4.3.3 Modelagem tridimensional	98
Capítulo 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
REFERÊNCIAS	102
ANEXO A - Características e propriedades do poliéster	108
ANEXO B - Ficha técnica da resina poliéster	111
ANEXO C - Ficha técnica do catalisador	114
ANEXO D - Ficha técnica dos pigmentos	118
ANEXO E - O que é índice UV?	120

INTRODUÇÃO

Criado pelos hominídeos africanos, o meio tecnológico e a adaptação ao meio, constituem os fatores determinantes na diferenciação do homem do restante da natureza. Sem dúvida, a partir do momento em que o homem pré-histórico aprendeu a lascar grosseiramente a pedra, começou também a criar de forma mais consciente a sua tecnologia, tornando-se mais inteligente, fato esse que o possibilitou dominar a natureza. Portanto, a história da humanidade é marcada por um progresso constante, sendo caracterizado pelo início do domínio do homem pré-histórico sobre os utensílios e pela busca da eficácia sempre mais apurada para fins cada vez mais complexos (UNESCO, 2010).

Desde os tempos mais remotos, o homem modifica o meio natural por meio da manipulação de materiais e desenvolve novas tecnologias de confecção de utensílios. Os primeiros hominídeos utilizavam materiais naturais e, somente depois de os misturarem a outras substâncias e dominarem processos de tratamento térmico, é que novos materiais foram surgindo. Com isso, as civilizações antigas foram designadas pelo nível de seus desenvolvimentos com relação aos materiais, como por exemplo, Idade da Pedra e Idade do Bronze (CALLISTER, 2008).

De acordo com Luft (2000, p.447), "material é aquilo que se refere à matéria, é a substância formadora das coisas". Sendo o design a ciência da determinação, e esta determinação realizada por meio da apresentação compreendida de forma geral e abstrata (BÜRDEK, 2006), tais conceitos relacionam-se na elaboração de um produto, cuja forma é dada sempre com o uso dos materiais. Um produto é tudo aquilo que possa ser oferecido a um mercado para atenção, aquisição, uso ou consumo e que possa satisfazer a um desejo ou necessidade (ARMSTRONG e KOTLER, 2004). Portanto, qualquer objeto de criação do designer, enquanto produto, deve atentar para a resolução de problemas atendendo às relações do homem com seu ambiente técnico, no que se refere às suas necessidades físicas e psíquicas e o faz com auxílio da seleção de materiais.

O valor estético de um objeto é dado não só pelos elementos de sua composição como também pelo valor simbólico atribuído a ele, o que está intimamente associado ao material utilizado e à percepção induzida por ele. Os fenômenos ópticos, de uma maneira geral são pouco compreendidos pela população

em geral e são por vezes interpretados em uma atmosfera mística e curiosa que poderia exercer uma percepção capaz de atrair a atenção visual de quem os observa, em particular com a utilização de fenômenos ópticos incomuns, como o efeito aventurina, fazendo com que o observador mistifique a sua compreensão.

A cultura de inovação abriu precedentes para uma ampla gama de novas técnicas a serem utilizadas no processo de produção joalheiro; entretanto, pouco se tem modificado na seleção de materiais nesse ramo, que ainda utiliza em sua maioria materiais considerados "nobres" em sua concepção. Com isso, pretende-se com este trabalho difundir o uso de materiais alternativos a serem utilizados na joalheria, por meio da sinergia possível entre design e ciência de materiais.

A delimitação do tema do trabalho perpassa pelo estudo do efeito aventurina, seleção de materiais capazes de simular tal efeito, criação de material compósito e aplicação do material em joalheria. Sabe-se que o poliéster é utilizado em joalheria e as micas são utilizadas como carga em matrizes poliméricas, porém, não há até então, registros acadêmicos da utilização concomitante de tais materiais com a função proposta por este estudo, que é a simulação de um efeito óptico natural na elaboração de um compósito aplicado em joalheria.

De caráter teórico-experimental, a escolha do tema justifica-se pela observação de uma necessidade de introduzir uma cultura de inovação e diferenciação no design de joias, promovendo a sinergia entre ciência dos materiais e o design de produto. Além disso, a possibilidade de pesquisar outras áreas e aplicá-las em joalheria, é capaz de ampliar a utilização de materiais e técnicas não usuais nesse ramo, contribuindo dessa forma para um projeto inovador e mais competitivo.

O objetivo geral desse trabalho é elaborar um material compósito capaz de simular o efeito óptico aventurina e que atenda a pré-requisitos de baixo custo utilizando minerais de ocorrência abundante, por uma questão de facilidade de produção, visando a sua aplicação em design de joias.

Os objetivos específicos são:

- Testar as propriedades deste compósito visando avaliar quais seriam os minerais e polímeros capazes de reproduzir esse fenômeno e a possibilidade de utilização desse material em joalheria.

- Promover a utilização de materiais alternativos em joias por meio da interdisciplinaridade entre o design e a ciência de materiais, utilizando conhecimentos científicos na elaboração de um conceito diferenciado em joalheria.

- Agregar valor a materiais alternativos e difundir um novo conceito em joalheria.

- Produzir joias com auxílio de novas tecnologias.

- Utilizar conhecimentos científicos de física óptica como base na criação de conceitos aplicáveis em joalheria.

- Despertar e atrair a atenção visual com a aplicação desse conceito.

- Favorecer a reflexão e o espírito crítico do observador a cerca dos fenômenos utilizados.

O problema da pesquisa reside na escolha de materiais capazes de simular o efeito óptico aventurina e que estes sejam passíveis de utilização em joalheria. Portanto, é importante salientar que os pré-requisitos de projeto são essenciais para essa etapa e servem como critério de seleção: transparência, índice de refração e facilidade de moldagem da matriz, além de menor custo e disponibilidade do material.

O título do trabalho "Design de Joias e Seleção de Materiais: simulação do efeito óptico aventurina utilizando polímero e partículas minerais" sugere que tal pesquisa é realizada com foco na seleção de materiais partindo do estudo do fenômeno óptico aventurina, utilizando conhecimentos científicos na elaboração de novas configurações de materiais.

Para este trabalho, os capítulos foram distribuídos entre:

Fundamentação teórica (Capítulo 2) - aborda as relações existentes entre materiais e design e nesse contexto é importante destacar a seleção de materiais e definições de compósitos. Tipos de resinas poliésteres e micas, propriedades físicas e mecânicas de materiais, bem como o estudo dos fenômenos e propriedades ópticas envolvidas no efeito aventurina, também são abordados neste capítulo. Por fim, o design de produto e joias complementam a fundamentação teórica necessária para que se possa discutir os resultados obtidos na aplicação da metodologia.

Metodologia (Capítulo 3) - o método de pesquisa adotado segue três etapas. A primeira etapa consiste na seleção de materiais, a segunda é a realização de ensaios e a terceira e última é a elaboração do projeto de joias. As decisões a cerca da metodologia adotada são todas discutidas nesse capítulo.

Resultados e discussão (Capítulo 4) - neste capítulo são apresentados os dados obtidos e discutidos os resultados quanto à aplicação das tecnologias utilizadas na elaboração e aplicação do material compósito.

Considerações finais (Capítulo 5) - no último capítulo, são descritas as conclusões a cerca do trabalho e propostos novos estudos futuros, a partir dos resultados obtidos nesta pesquisa.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica deste trabalho abrange os tópicos necessários para que se possa discutir os resultados obtidos na aplicação da metodologia. Para isso, realizou-se uma revisão bibliográfica das relações existentes entre materiais e design, com foco na seleção de materiais e definições de compósitos, bem como um estudo a cerca dos tipos de resina poliéster insaturadas (matriz do compósito) e das micas utilizadas como fase dispersa (biotita e muscovita). Além disso, propriedades físicas e mecânicas de materiais, estudo dos fenômenos e propriedades ópticas envolvidas no efeito aventurina, processos de degradação polimérica, design de produto e joias também são abordados neste capítulo.

2.1 DESIGN E SELEÇÃO DE MATERIAIS

Nos dias atuais, o mundo industrializado é uma prova do desenvolvimento tecnológico que nos cerca. Conforme Baxter (2000, p.1), o surgimento constante de novas tecnologias faz com que o tempo de desenvolvimento e lançamento de novos produtos seja reduzido, possibilitando o surgimento de uma cultura de inovação. Com isso, do ponto de vista mercadológico, as empresas precisam cada vez mais introduzir inovações para não perder a sua fatia no mercado consumidor para empresas mais agressivas. Assim, o sucesso de um produto é resultado de uma boa execução de projeto, tanto técnico quanto criativo, sendo os materiais utilizados fundamentais para se alcançar a funcionalidade, a usabilidade e a satisfação desse produto pelo usuário (ASHBY e JOHNSON, 2003).

A vida de um produto envolve uma série de atividades e processos que consomem energia e recursos para serem transformados e consumidos. Para mapear o ciclo de vida do produto, os processos são divididos em: pré-produção, produção, distribuição, utilização e eliminação. A pré-produção envolve a aquisição da matéria-prima e seu transporte até o local de manufatura. A fase de produção envolve a manufatura, a montagem e a finalização do produto. A distribuição compreende a embalagem, o transporte até o ponto de venda e a venda. Em seguida, sendo o produto consumido, tem-se a fase de utilização, e, quando descartado, tornando-se um resíduo, o que compreende a última fase do ciclo de vida, a sua eliminação (VEZZOLI e MANZINI, 2008).

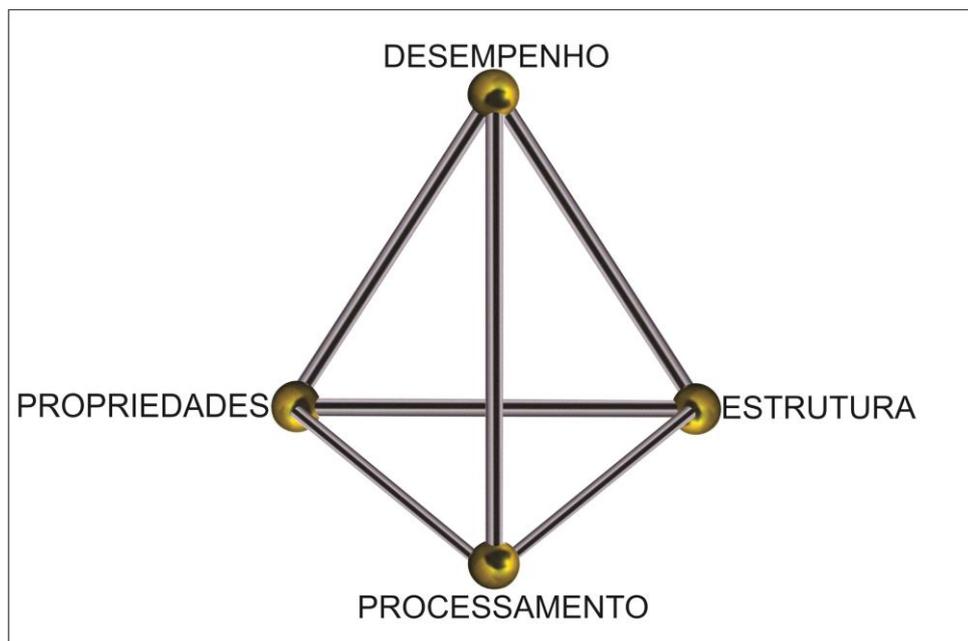
O que antigamente era uma simples escolha limitada pela oferta de materiais e tecnologias disponíveis, agora envolve maior complexidade. Um avanço na compreensão de materiais é, frequentemente, o precursor da progressão escalonada de novas tecnologias (CALLISTER, 2008) e ainda, segundo Waterman (1991, *apud* KINDLEIN, 2009, p.86) "estima-se que temos que lidar com aproximadamente sessenta mil materiais disponíveis no mercado" e, com isso, a seleção de materiais torna-se, muitas vezes, uma etapa difícil a ser realizada pelos designers.

De acordo com Baxter (2000, p.247), durante o processo de criação de um novo produto, na etapa de especificações para fabricação, são detalhados os materiais, máquinas e ferramentas a serem utilizados, bem como os acabamentos necessários. Portanto, a seleção de materiais consiste em uma importante etapa do projeto de produto e, para realizá-la, o designer deve conhecer o estudo científico de materiais - denominado ciência dos materiais - onde é possível compreender as origens fundamentais dos materiais com o intuito de manipulá-las por meio da engenharia de materiais. Com isso é possível produzir determinada propriedade investigando as relações existentes entre ela e a estrutura do material (CALLISTER, 2008).

A Figura 1 ilustra as relações possíveis envolvendo a ciência dos materiais e as tecnologias disponíveis para a manipulação dos materiais. Trata-se de um tetraedro cujos vértices representam os fatores e parâmetros mais importantes que engenheiros de materiais e designers devem compreender para que possam realizar uma seleção capaz de conferir o melhor desempenho possível do material, a fim de atingir determinado requisito.

No vértice superior dela está o "desempenho", que considerado sozinho não é tão importante quando planejado juntamente com o custo de determinado material. Os outros vértices (processamento, estrutura e propriedade) também estão interligados e afetam essa relação desempenho/custo. A estrutura de um material pode ser classificada como atômica, cristalina, microestrutural e macroestrutural e, dependendo das características dessa estrutura, define-se as suas propriedades, sejam químicas, físicas ou mecânicas. O processamento é a etapa em que o material adquire a forma, pois por meio da manipulação da sua estrutura, é possível modificá-lo e às vezes, inclusive, melhorar suas propriedades (ASKELAND *et al*, 2010).

Figura 1: Tetraedro de inter-relações da ciência e tecnologia dos materiais com foco na indústria, mostrando as características de processamento, estrutura e propriedades, capazes de modificar o desempenho de um material.



Fonte: Askeland *et al*, 2010.

Entretanto, é importante ressaltar que todas estas características tangíveis não são suficientes para que se possa selecionar o material mais adequado para cada tipo de projeto. É necessário, ainda, que se compreenda que em um projeto de produto muitos requisitos devem ser atendidos, e estes estão além dos exclusivamente técnicos. As características intangíveis de um material (a beleza, o bem, a ética) são contextualizadas e não mensuráveis, dependentes de certas particularidades do processo de percepção. Assim, essas características também devem ser consideradas, visto que são importantes tanto para atribuir significados quanto para imprimir características intrínsecas capazes de construir uma identidade ao material e, conseqüentemente, ao produto elaborado (AGUILAR *et al.*, 2010).

Para essa pesquisa a seleção de materiais para a matriz é focada nos critérios de facilidade de fabricação, baixo custo e ter como características a transparência e índice de refração similares aos da imitação da pedra do sol, para a seleção da fase dispersa, busca-se baixo custo, abundância de material, índice de refração superior ao da matriz selecionada e preferência por materiais naturais (a fim de obter o efeito aventurina próximo do natural). Tais critérios são expostos na Tabela 1:

Tabela 1: Critérios de seleção da matriz e da fase dispersa do material compósito.

Critérios	Matriz	Fase dispersa
Custo	X	X
Abundância		X
Características necessárias:		
Índice de refração	X	X
Transparência	X	
Naturalidade		X
Facilidade de fabricação	X	

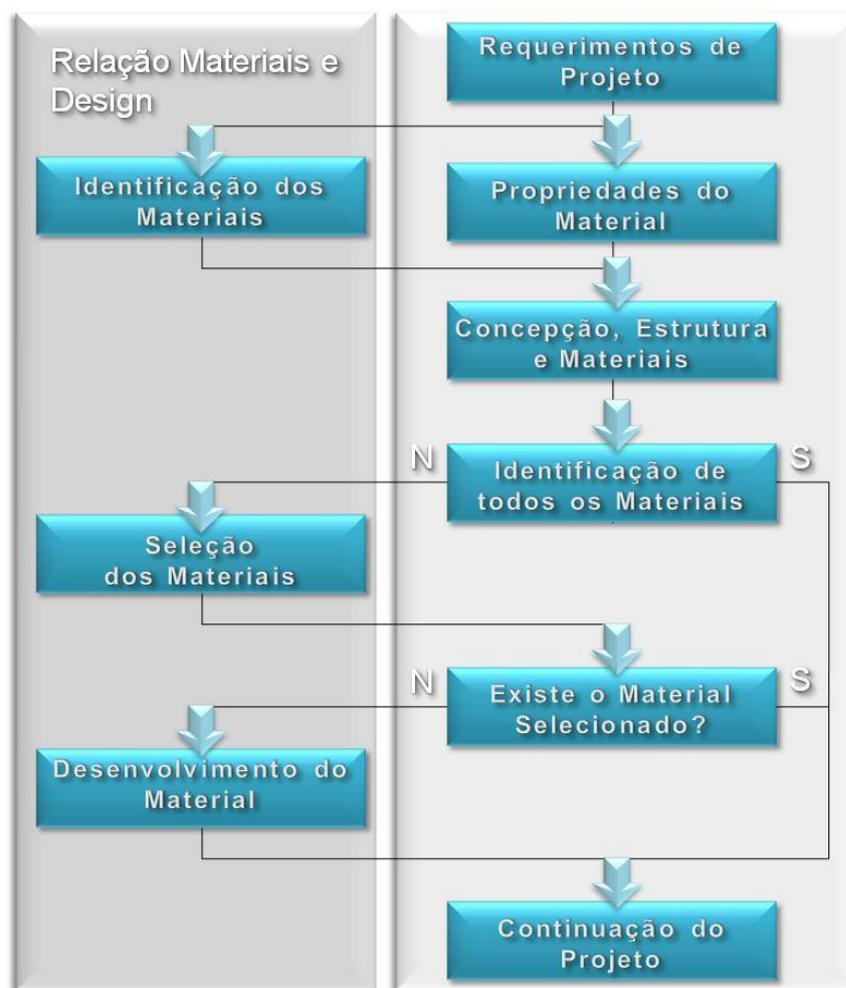
Nesse sentido, o design e a ciência de materiais são ramos diversos do saber que se apoiam de forma interdisciplinar, buscando, por meio da tecnologia, desenvolver produtos que possam melhor atender às necessidades de seu consumidor. Para isso, é importante ressaltar que a configuração de um produto não resulta apenas nas propostas estéticas do designer industrial, mas também, fortemente do uso de materiais e processos de fabricação econômicos. Com isso, um dos critérios mais importantes da produção industrial é o uso econômico dos materiais mais adequados (LÖBACH, 2000).

De acordo com Aguilar *et al.* (2010, p.106), existem duas grandes dificuldades do processo de design na etapa de seleção de materiais. A primeira seria associar suas características, propriedades e imagem às demandas objetivas do problema a ser resolvido pelo projeto de produto. A segunda seria ponderar e hierarquizar essas imagens associadas, visto que estas nem sempre são compatíveis entre si. Por fim, os materiais selecionados irão influenciar na forma como o produto será percebido e farão, portanto, parte de sua identidade percebida que, convém ressaltar, varia no espaço-tempo, podendo ser reavaliada em função de novas experiências que passam pela vivência com as novas realidades.

Conforme Ashby *et al.* (2007, p.2), uma inovação em design, do ponto de vista dos materiais, inclui explorar criativamente as propriedades oferecidas por eles. No entanto, o conhecimento a cerca dos materiais e processos nem sempre é uma área ensinada com ênfase para os designers industriais, que acabam, por vezes, não obtendo conhecimento compreensível de uma base de materiais e de possibilidades de fabricação, limitando suas escolhas na etapa de seleção e/ou realizando uma escolha equivocada (LESKO, 2004).

Alguns autores dissertam sobre a importância de favorecer a intercomunicação entre designers e engenheiros durante as etapas de desenvolvimento de produtos. Segundo Deng e Edwards (2007, p.134) é possível reconhecer a importância da identificação e seleção de materiais para a engenharia e resolver problemas de projeto. Os autores demonstram esta premissa indicando as relações entre materiais e design nas diversas etapas de desenvolvimento de novos produtos, como mostra a Figura 2.

Figura 2: Relação entre materiais e design na fase projetual.



Fonte: Deng; Edwards, 2007.

Após hierarquizar os requisitos do projeto, deve-se avaliar as propriedades dos materiais que atendem a tais requisitos, o que consiste na etapa de identificação dos materiais. Feito isso, deve-se conhecer a concepção e estrutura dos materiais a fim de possibilitar uma maior identificação de toda a gama de materiais disponíveis e, posteriormente, avançar para a etapa de seleção que indicará qual é o material

ideal para atender aos requisitos iniciais de projeto. Caso o material não exista, o esquema prevê o desenvolvimento de um novo material visando à continuidade do projeto de produto.

De acordo com Ashby (1999, p.1), durante o processo de seleção de materiais, o engenheiro ou designer deve considerar inicialmente todas as possibilidades de materiais disponíveis, visto que as opções são diversas. No entanto, conforme o projeto vai evoluindo e as especificações tornam-se mais claras, surgem novos critérios de seleção que tornam a lista de materiais disponíveis cada vez menor. O nível de detalhamento aumenta e dados mais precisos são necessários e são nas etapas finais de elaboração de um novo produto que as especificidades do material aumentam significativamente, podendo restar apenas um que atenda a tais requisitos. Portanto, a seleção de materiais inclui o conhecimento dos grupos, subgrupos e conjuntos nos quais os materiais são classificados e subdivididos.

Ashby (1999, p.2) reitera a informação de que designers e engenheiros deveriam trabalhar de forma conjunta ao ressaltar a importância de considerar características estéticas e intangíveis nas etapas de seleção de materiais, afirmando que tais aspectos são, muitas vezes, negligenciados pelos engenheiros.

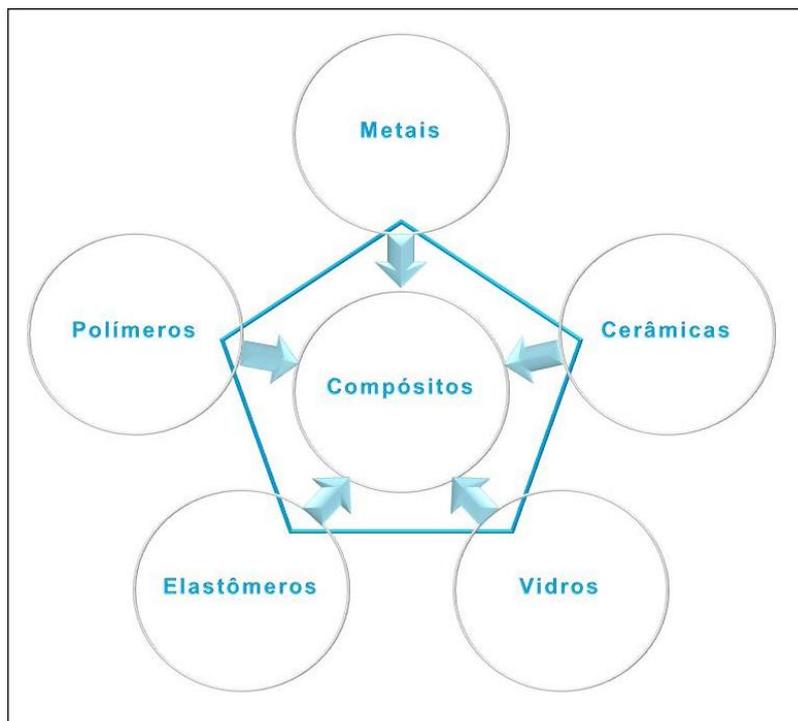
2.1.1 Materiais compósitos

Os materiais são divididos em classes onde há características comuns nas suas propriedades, no seu tipo de processamento e/ou no seu uso. Tais classes são exibidas na Figura 3, mostrando as divisões e intersecções entre eles e no centro da Figura está a classe dos materiais compósitos.

É muito importante que o designer conheça essas divisões e possa compreender que novos materiais criam oportunidades para a inovação, para novos produtos, e para avanço evolutivo dos produtos existentes, além de possibilitar, muitas vezes, um melhor desempenho a baixo custo (ASHBY, 1989).

Materiais compósitos são uma combinação de dois ou mais componentes dos tipos fundamentais de materiais (dispostos nos vértices do pentágono na Figura 3) a fim de unir as propriedades atraentes de cada componente (SHACKELFORD, 2008), formados pela união de fases diferentes, cuja finalidade de produção é a possibilidade de agregar propriedades distintas de cada componente em um mesmo material.

Figura 3: 'Menu' de materiais de engenharia onde cada classe possui propriedades específicas.



Fonte: Ashby, 1989.

De acordo com Callister (2008, p.359), do ponto de vista da ciência dos materiais, outra característica importante dos compósitos é a presença de fases quimicamente diferentes e separadas por uma interface distinta.

Segundo Padilha (2000, p.21), houve uma expansão no desenvolvimento e uso de materiais compósitos na década de 1970. Indubitavelmente, conforme Lesko (2004, p. 91), tal fato ocorreu devido ao desenvolvimento dos polímeros, dos quais boa parte dos compósitos deriva, sendo estes caracterizados como um aperfeiçoamento dos produtos (com foco tecnológico e de desempenho), processos e serviços existentes.

Atualmente existem chapas de material compósito no mercado utilizadas como painéis decorativos (Fig.4), produzidas com diversos materiais intercalados: mica, flocos de ouro e fibras naturais encapsuladas em acrílico translúcido (PMMA-Polimetacrilato de metila), material com características ópticas similares à resina poliéster após a sua polimerização (BROWNELL, 2010).

Figura 4: Materiais compósitos utilizados como painéis decorativos: A) de superfície interlamelar e B) painéis de acrílico translúcido.



Fonte: Brownell, 2010.

Quando um material compósito é constituído de apenas duas fases, uma delas será a matriz e a outra será a fase dispersa. A matriz é contínua e envolve a fase dispersa, e as propriedades do compósito formado estarão intimamente relacionadas às quantidades relativas de cada fase, bem como da geometria da fase dispersa, o que inclui a forma das partículas, seu tamanho, sua distribuição e orientação. (CALLISTER, 2008).

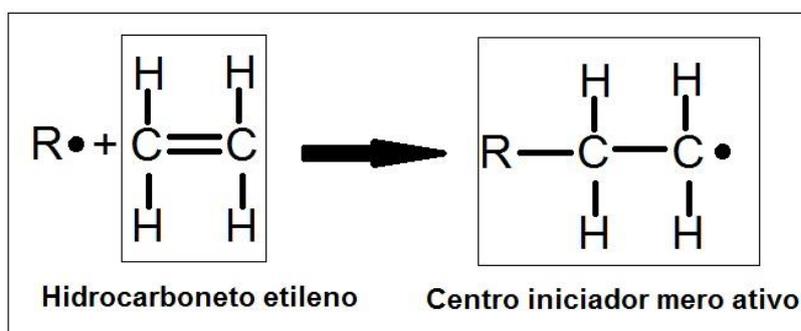
2.1.2 A matriz

A matriz utilizada na elaboração do compósito desenvolvido nesta pesquisa é constituída por um polímero. Para melhor compreender o significado de polímero, e estudar as matrizes poliméricas passíveis de serem utilizadas nesse compósito, é necessário compreender alguns conceitos básicos de química.

Diversos materiais orgânicos são compostos por hidrogênio e carbono (os chamados hidrocarbonetos), cujas ligações intramoleculares são do tipo covalente. Quando uma molécula possui ligações covalentes duplas e triplas, isso é o equivalente a dizer que cada átomo de carbono não está ligado ao número máximo de outros átomos que é possível (ou seja, quatro), caracterizando uma ligação covalente insaturada. As moléculas dos polímeros são macromoléculas cujos átomos estão ligados entre si por ligações interatômicas covalentes e são compostas por entidades estruturais básicas, conhecidas como unidades mero, que se repetem sucessivamente ao longo da cadeia, formando o chamado polímero (CALLISTER, 2008).

A formação de um polímero ocorre em um processo chamado "polimerização", representado na Figura 5. Para que esta ocorra, é necessário que haja a adição de um radical com a presença de elétron não emparelhado ($R\cdot$), que deverá reagir com um hidrocarboneto (no exemplo, o etileno) com ligação covalente insaturada. Ao romper esta ligação e ligar-se ao hidrocarboneto, ocorre a formação de um centro iniciador mero ativo, onde novas moléculas irão reagir entre si a partir do átomo de carbono que agora detém um elétron não emparelhado ($C\cdot$), originando complexas cadeias poliméricas.

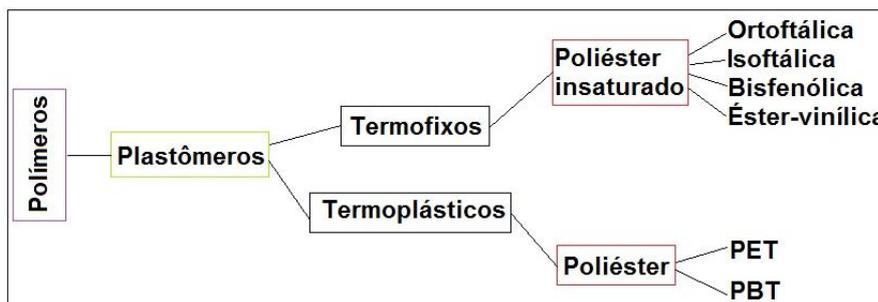
Figura 5: Representação da formação de um centro mero ativo que irá se repetir originando um polímero, a partir de um radical ($R\cdot$), que pode ser um iniciador ou catalisador, reagindo com um hidrocarboneto (nesse exemplo, o etileno).



Fonte: Callister, 2008.

O poliéster pertence a um grupo de polímeros denominados plastômeros, que podem ser do tipo termofixo (poliésteres insaturados) ou termoplástico, conforme ilustra o esquema da Figura 6. Conforme Callister (2008, p.336), os materiais termofixos tem como característica principal tornarem-se permanentemente duros quando submetidos ao calor e não amolecerem com aquecimento subsequente. No momento em que ocorre um tratamento térmico inicial, as cadeias moleculares adjacentes unem-se umas às outras por meio de ligações cruzadas covalentes, resistindo aos movimentos vibracionais e rotacionais da cadeia à temperaturas elevadas. O rompimento desse tipo de ligação cruzada só ocorre em temperaturas excessivamente altas, permitindo então, a degradação do polímero. Tais características são capazes de conferir propriedades únicas aos polímeros termofixos, que são mais duros, mais fortes e tem melhor estabilidade dimensional quando comparados aos polímeros termoplásticos.

Figura 6: Subdivisões dos tipos de poliéster termofixos e termoplásticos na classe dos plastômeros.



Fonte: Grison, 1987.

De acordo com Lesko (2004, p.122), os polímeros termoplásticos amolecem e fundem quando aquecidos e endurecem quando resfriados e são, portanto, resinas próprias para serem conformadas em processos de injeção, extrusão e outros tipos de moldagem. Diferentemente, a fabricação dos termofixos é realizada normalmente em dois estágios: primeiro há a preparação de um polímero linear (pré-polímero) na forma de um líquido de baixo peso molecular, e depois este é convertido em um sólido com ajuda de um molde (segundo estágio), obtendo um produto final duro e rígido em um processo conhecido como "cura". Tal processo ocorre durante o aquecimento ou adição de catalisadores capazes de promover alterações químicas e estruturais em nível molecular com a formação de uma estrutura com ligações cruzadas ou em rede (CALLISTER, 2008).

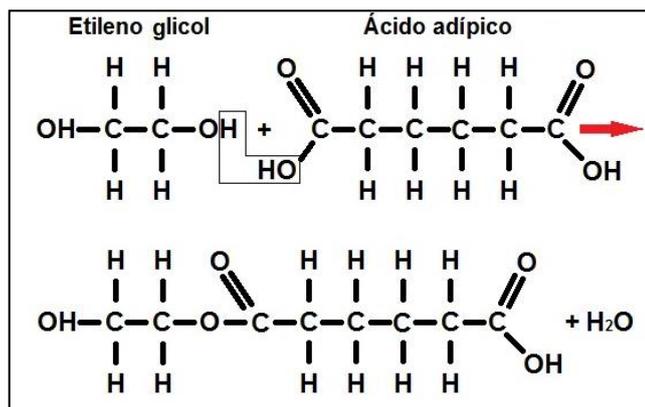
Os poliésteres termoplásticos (PET e PBT) são vendidos em forma de grânulos, ideais para moldagem em injetora e em escala indústria, necessitando de equipamentos próprios que possam garantir a temperatura ideal da matéria-prima fundida, para posterior polimerização em molde aquecido. Para esse estudo, serão considerados os poliésteres insaturados, que possuem processos de fabricação menos complexos e matéria-prima de menor custo, em conformidade com os pré-requisitos de seleção de material anteriormente citados.

Primeiramente, antes de descrever os diferentes tipos de poliésteres insaturados, algumas considerações teóricas importantes a cerca de polímeros termofixos e sólidos amorfos devem ser descritas, com intuito de embasar as discussões dos resultados deste estudo posteriormente.

O poliéster é formado por um tipo de polimerização por condensação, que consiste na formação mediante reações químicas que ocorrem etapa por etapa, onde a reação intermolecular ocorre toda vez que uma unidade mero repetida é

formada. Como exemplo, temos a reação entre o etileno glicol e o ácido adípico, produzindo uma molécula linear e tendo como subproduto a água na Figura 7. Esse tipo de reação produz, com frequência, monômeros trifuncionais capazes de formar polímeros com ligações cruzadas e em rede (GRISON, 1987 e CALLISTER, 2008).

Figura 7: Reação de polimerização por condensação de um poliéster a partir de Etileno glicol e Ácido adípico, originando um mero ativo e eliminando água.



Fonte: Callister, 2008.

No caso do poliéster insaturado, a reação de cura ocorre de forma acelerada e não há tempo suficiente para que as moléculas dispersas de forma aleatória na resina líquida se rearranjem e se alinhem umas em relação às outras, impedindo que o polímero formado possua uma estrutura cristalina ou sequer semi-cristalina, sendo portanto, um sólido amorfo. Tratando-se de cadeias longas, emaranhadas e extremamente complexas, é uma condição comum aos polímeros apresentar regiões amorfas, porém, no caso do poliéster, o sólido é totalmente amorfo.

Sendo assim, é importante ressaltar que, para polímero não cristalinos, não há como avaliar com precisão as propriedades físicas apresentadas por esses materiais (por exemplo módulo de elasticidade, condutividade elétrica), uma vez que estas são dependentes de direções cristalográficas na qual as medidas são tomadas. Esta variação das propriedades segundo a direção cristalográfica é conhecida como "anisotropia" (CALLISTER, 2008).

A fim de melhorar as propriedades do material e obter melhor desempenho no produto final, muitos aditivos podem ser adicionados na composição de uma resina poliéster. Podemos citar como exemplo: os aceleradores (compostos que abreviam o tempo de cura), os catalisadores (tornam possível a cura da resina), os inibidores (ajudam a prolongar a vida útil da resina), os estabilizadores (compostos que

impedem a rápida deterioração dos polímeros expostos aos raios ultravioletas e oxidação), as cargas (melhoram as propriedades dos polímeros e/ou tornam mais barato o seu processo de fabricação sendo utilizadas como enchimento), os pigmentos (materiais de enchimento que não se dissolvem, modificando a percepção de cor e grau de opacidade nos polímeros) (GRISON, 1987).

Os tipos de resinas poliésteres insaturadas diferem basicamente em sua composição química. O processo de polimerização é o mesmo, porém, as diferenças na composição da resina geram também diferenças na estrutura atômica do polímero e na disposição de suas cadeias, o que confere propriedades divergentes entre elas. Tais características são organizadas no Quadro 1, separadas por tipos de resinas.

Quadro 1: Tipos de resinas poliéster insaturadas e suas principais características.

Resina poliéster	Compostos utilizados	Características gerais
Ortoftálica	Ácido adípico, Ácido ftálico ou Anidro ftálico	<ul style="list-style-type: none"> - Não tem boa resistência química nem em meio ácido, nem em meio alcalino, - Suceptível ao calor e à radiação, - Não apresenta boa resistência aos solventes, - Apresenta boa transparência, - Suporta autoclave por 4h à temperatura de 120°C.
Isoftálica	Ácido isoftálico, Ácido fumárico	<ul style="list-style-type: none"> - Menos rígida que a resina ortoftálica, - Mais resistente à água que a ortoftálica, - Maior resistência mecânica que a ortoftálica, - Melhor resistência a produtos químicos em geral, - Resistente ao calor, ao ataque químico e à radiações UV.
Bisfenólica	Bisfenol, Óxido de propileno	<ul style="list-style-type: none"> - Apresenta cor marrom, - Resistência excepcional em ambientes agressivos, sobretudo em meios ácidos, - Desempenho em meios alcalinos deixa a desejar, - Resistente à ação da água, - Maior rigidez entre as resinas poliéster, - Boa resistência à oxidação e ao ataque UV, - Suporta autoclave durante 24h a 120°C.
Éster-vinílica	Bisfenol A, Eplicoridrina, Ácido metacrílico	<ul style="list-style-type: none"> - Resinas altamente reativas com excelente cura, - Maior alongamento de ruptura quando submetida à tração, - Resistência química boa em meios ácidos e alcalinos, - Alta resistência à corrosão e alta resistência mecânica.

Fonte: Grison, 1987.

Dentre os tipos de resina poliéster presentes no mercado, a ortoftálica foi a que atendeu a todos os pré-requisitos de seleção de materiais. Sendo assim, a matriz polimérica utilizada neste trabalho é à base de resina termofixa (insaturada), denominada resina poliéster ortoftálica que recebe esta denominação por possuir o ácido ortoftálico - $C_6H_4(COOH)_2$ - em sua constituição. A sua cura utiliza peróxido orgânico (nome comercial: butanox - $C_8H_{18}O_6$) como catalisador da resina poliéster líquida, o que gera uma reação química exotérmica. Possui a sua estrutura de ligações em rede amorfa com ligações cruzadas, o que impede a sua cristalização. É incolor e tem um brilho vítreo, sendo miscível em diferentes tipos de corantes ou pigmentos, com a possibilidade de torná-la colorida, optando por manter ou não sua transparência. Ademais, necessita de cuidados especiais na preparação do polímero, pois é considerada um material tóxico e inflamável (GRISON, 1987).

2.1.3 A fase dispersa (biotita e muscovita)

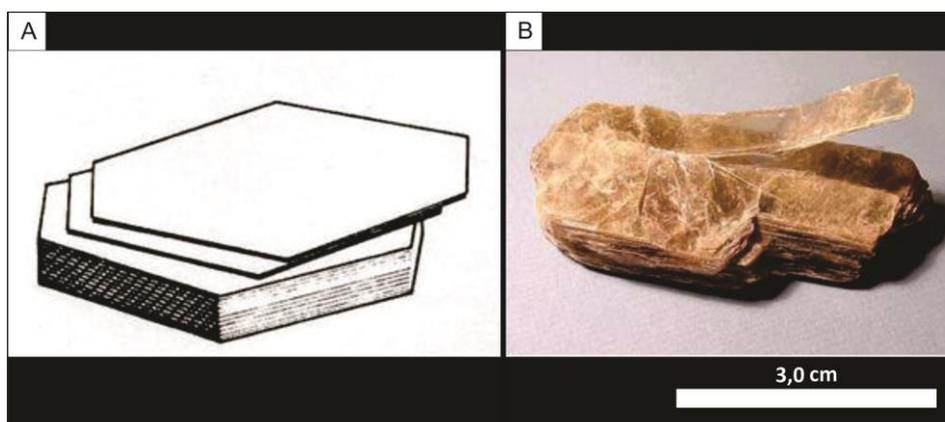
Para este trabalho, como fase dispersa utilizou-se dois minerais da família das micas, a muscovita e a biotita, a fim de reproduzir com naturalidade o efeito aventurina. Ambos possuem diversas aplicações mercadológicas e, no caso deste estudo, tais minerais foram escolhidos por atenderem aos critérios de seleção de materiais descritos anteriormente (custo, abundância, índice de refração ideal e naturalidade).

A biotita e a muscovita são minerais comuns formadores de rochas ígneas, podendo ocorrer também em rochas sedimentares e metamórficas. São silicatos que pertencem ao grupo das micas, caracterizadas por terem uma estrutura em lamelas, o que lhes confere uma propriedade diagnóstica, a clivagem perfeita em uma direção (Fig.8). A clivagem é uma propriedade que ocorre em certos minerais que possibilita o seu rompimento segundo superfícies regulares, constituída por planos de átomos que possuem uma força de ligação fraca. As micas são minerais que podem ser clivados facilmente com as mãos (KLEIN e DUTROW, 2008).

A biotita, cuja composição química é $K(MgFe)_3[Si_3O_{10}](OH)_2$ é um mineral transparente a opaco e por ser um mineral rico em ferro é geralmente encontrada em tons escuros, de castanho a preto (DEER *et al.*, 1966). Esse mineral pode apresentar modificações nas suas propriedades de acordo com variações na sua composição química, como aumento do índice de refração com a presença dos elementos Fe, Mn e Ti; outros elementos menores podem estar presentes na sua

composição, como o F, que diminui o seu índice de refração, o Ti, que lhe confere uma cor castanha avermelhada e o Fe^{3+} que lhe confere cor esverdeada (KLEIN e DUTROW, 2008).

Figura 8: Hábito e clivagem das micas: A) representação do hábito lamelar das micas causado pela sua excelente clivagem basal e B) amostra de muscovita clivada.



Fonte: Klein e Dutrow, 2008.

A muscovita, cuja composição química é $\text{KAl}_2 [\text{Al}_2 \text{Si}_3 \text{O}_{10}] (\text{OH}_2)$, difere da biotita por ser transparente à translúcida e devido à ausência de ferro (ou pode ter um teor bastante baixo desse elemento), o que lhe dá cores claras (tons de castanho a verde claro, acinzentado e até incolor) e proporciona melhores propriedades de isolamento elétrico e térmico. Essas propriedades conferem a esse mineral relativa importância industrial, com inúmeras aplicações, dentre elas o uso em cosméticos e pigmentos. Os índices de refração da muscovita aumentam com o aumento do teor de Fe e com a presença de Mn e com a diminuição do teor de Al. A muscovita com Li tem o índice de refração mais baixo, influenciadas mais pelo teor de ferro e magnésio do que da própria presença do Li (KLEIN e DUTROW, 2008).

As micas podem ser utilizadas como aditivos em matrizes poliméricas e, nesse caso são chamadas "cargas" ou "enchimento". De acordo com Grison (1987, p.34) quando adicionadas ao poliéster são consideradas cargas inertes, que comprometem as propriedades físico-mecânicas dos compósitos. Entretanto, o uso de qualquer carga desse tipo (seja a mica ou grafite, talco, caulim, carbonato de cálcio, óxido de zinco, pó de mármore, pós metálicos, amianto e etc) em matriz de poliéster justifica-se por:

- gerar menor exotermia na cura da resina;
- reduzir a retração do material;

- obter maior módulo de flexão;
- melhorar a resistência ao desgaste por abrasão; e
- reduzir o custo do produto final.

Ademais, Grison (1987, p.38) relata que as micas, como são utilizadas no enchimento de matriz de poliéster, são consideradas diluentes e que, por isso, não acrescentam nada em termos de melhoria das propriedades mecânicas do composto e podem, inclusive, serem utilizadas em dosagens mais ou menos elevadas sem interferirem sensivelmente na fluidez da resina.

Após a descrição da matriz e da fase dispersa, as propriedades mecânicas e ópticas mais importantes dos materiais utilizados no compósito elaborado por esta pesquisa podem ser observadas no Quadro 2.

Quadro 2: Propriedades mecânicas e ópticas dos materiais utilizados.

PROPRIEDADES	MUSCOVITA	BIOTITA	RESINA POLIÉSTER
DUREZA	2 - 2,25	2,5 - 3 (Mohs)	40 (dureza Barcol)
DENSIDADE	2,7 - 3 g/cm ³	2,7 - 3 g/cm ³	1,04 - 1,46 g/cm ³
BRILHO	Vítero a perláceo	Vítero a perláceo	Vítero
COR	Incolor, acinzentada, tons de castanho ou verde claro, incolor em lâmina delgada	Castanha escura à preta. Em lâmina delgada, tons de amarelo, castanho e verde	Incolor ou levemente azulada
ÍNDICE DE REFRAÇÃO	1,55 - 1,61 Aumenta com teor de Fe	1,56 - 1,69 Aumenta com o teor de Mn, Ti, Fe	1,54
DIAFANEIDADE (minerais) TRANSMITÂNCIA DA LUZ	Transparente à translúcido	Transparente à opaco	Transparente, translúcido ou opaco (quando adicionado corante)
APLICAÇÃO	Isolante térmico e elétrico (baixo teor de Fe) Fabricação de material incombustível, cosméticos	Isolante térmico e acústico	Bastante utilizado na fabricação de materiais compósitos. Baixo custo, termofixo, excelentes propriedades elétricas, resistência a solventes e estabilidade à temperaturas elevadas
CLIVAGEM	Perfeita em uma direção	Perfeita em uma direção	Ausente

Fonte: Callister, 2008 e Dana, 1970.

2.1.4 Propriedades Físicas e Mecânicas dos Materiais

Densidade

Conforme Halliday *et al.* (1996, p. 82), a definição clássica de densidade de um corpo é, "massa por unidade de volume", onde m e V são, respectivamente a massa e o volume do corpo (amostra), conforme a Equação 1:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Eq. 1}$$

A unidade padrão de densidade no Sistema Internacional é o g/cm^3 .

Dureza

Dureza é a resistência que a superfície lisa de um material oferece ao ser riscada, sulcada. Existem diferentes escalas para medir a dureza, utilizadas em diferentes ramos das investigações científicas e aplicações industriais. A escala de dureza Mohs (Quadro 3) é a mais utilizada para o reconhecimento de minerais, pela sua praticidade. Nessa escala, minerais comuns são colocados numa ordem crescente de dureza, mostrando apenas que um mineral risca o anterior ou é riscado pelo seguinte, não havendo nenhuma relação matemática entre os diferentes valores. Na escala de Mohs, a unha tem dureza em torno de 2,5; o vidro pode ter dureza entre 5,0 e 5,5 e um estilete de aço apresenta dureza em torno de 6,0 (KLEIN e DUTROW, 2008).

Quadro 3: Escala de dureza de Mohs, mostrando os valores atribuídos à dureza de diferentes minerais.

VALOR DA DUREZA	MINERAL
1	Talco
2	Gipsita
3	Calcita
4	Fluorita
5	Apatita
6	Ortoclásio
7	Quartzo
8	Topázio
9	Corindon
10	Diamante

Fonte: Klein e Dutrow, 2008.

O método de dureza Barcol é utilizado para avaliar a dureza de um material por meio da medida da resistência a penetração de uma ponta de aço forçada por um êmbolo de mola. No instrumento de medição, chamado de durômetro de Barcol, há uma escala entre 0 e 100, onde cada uma delas corresponde a uma profundidade de 0,0076 mm.

Este método de medição é usado para obter a dureza de ligas de alumínio, metais de baixa dureza, polímeros, cerâmica, borrachas e couro. Além disso, é usado para medir o nível de cura de resinas. É normatizado pela ASTM D2583 - *Standard Test Method for Indentation Hardness of Rigid Plastics by Means of a Barcol Impressor* - e pela ASTM B648 - *Standard Test Method for Indentation Hardness of Aluminum Alloys by Means of a Barcol Impressor* - (ASTM – D2583 13 a, 2013, p.1).

2.1.5 Degradação de polímeros

A degradação de polímeros é, conforme Grison (1987, p.105), "a modificação deletéria, permanente e irreversível na estrutura química da resina, que se traduz em progressivo comprometimento das propriedades físicas da mesma" e ainda, de acordo com Callister (2008, p.408), a degradação de polímeros é um processo de natureza físico-química, diferentemente das corrosões que ocorrem nos outros materiais, que tem natureza eletroquímica.

Para Grison (1987, p.40), no caso do poliéster, a degradação pode ocorrer pelas seguintes razões:

- a) oxidação, que se localiza em ligações carbono-carbono insaturadas;
- b) desintegração motivada pela absorção, permeabilidade ou ação de solvente sobre a resina;
- c) hidrólise, que é o inverso da reação de formação de resina (reação reversível);
- d) radiação UV que age sobre as ligações insaturadas;
- e) degradação térmica que promove a despolimerização; e
- f) outros agentes isolados ou combinados com os acima citados.

Inchamento ou Dissolução

Os polímeros em geral podem se deteriorar por inchamento ou dissolução. Isso ocorre sempre que há a ruptura de ligações covalentes resultantes da ação de

energia térmica, de reações químicas e de radiação, normalmente com uma concomitante redução na integridade mecânica.

Quando os polímeros estão expostos à líquidos, o líquido ou soluto se difunde para o interior e é absorvido para dentro do polímero, onde suas pequenas moléculas se ajustam e ocupam posições entre as macromoléculas do polímero, o que acaba forçando a separação destas, provocando a expansão ou "inchamento" da amostra. Esse aumento na separação das cadeias resulta na redução das forças secundárias de ligações intermoleculares e, com isso, o material torna-se mais mole e mais dúctil. O comportamento de inchamento ou dissolução também é afetado pela temperatura, bem como pelas características da estrutura molecular. Em geral, um aumento do peso molecular, o aumento dos graus de ligações cruzadas e de cristalinidade e a diminuição da temperatura, causam uma redução na taxa desses processos de deterioração (CALLISTER, 2008).

Ruptura da ligação

A ruptura da ligação é conhecida por "cisão", que é um processo de degradação causado pela ruptura de ligações das cadeias moleculares dos polímeros. Rompendo-se as cadeias, há a separação delas no ponto de cisão, bem como uma redução do peso molecular, o que modifica as propriedades físicas e químicas dos polímeros. A ruptura pode ser resultante da exposição à radiação ou ao calor, bem como de uma reação química. Quando a cisão ocorre à temperaturas elevadas, como consequência alguns polímeros apresentam reações químicas em que são produzidos componentes gasosos, na chamada degradação térmica (CALLISTER, 2008).

Intemperismo

De acordo com Grison (1987, p.40), "a umidade normal ou a chuva, os ventos, as variações de temperatura, a radiação solar e os gases atmosféricos são as principais causas determinantes do que se convencionou chamar de "intemperismo". Os primeiros sinais de deterioração de uma resina poliéster exposta a intemperismo são: mudança de cor e fissuras, que se aprofundam pela ação da água, do vento, do calor, do frio, de vibrações e outras solicitações mecânicas (GRISON, 1987).

Já conforme Callister (2008, p.410), as degradações por agentes externos são a combinação de diversos processos diferentes, mas é, principalmente o resultado de reações de oxidação, as quais são iniciadas pela radiação ultravioleta do sol. Esta radiação interage com as ligações covalentes ao longo da cadeia do polímero, causando o seu rompimento, o que resulta também na formação de algumas ligações cruzadas. A deteriorização por oxidação é uma consequência da interação química entre os átomos de oxigênio e as moléculas de polímeros.

Segundo Ashby e Johnson (2010, p.390), os polímeros e elastômeros quando expostos à luz, em especial aos raios ultravioleta (UV) e ao oxigênio, perdem força, rigidez e tenacidade, descolorem e perdem o brilho, o que pode ser combatido com aditivos, conhecidos como estabilizadores. É bastante comum o uso do absorvedor UV no poliéster, cuja função é minimizar a ação deletéria dos raios UV sobre a cadeia polimérica da resina (GRISON, 1987). Trata-se de um produto químico que absorve essa radiação e a transforma em outro tipo de energia, que não degrada o polímero.

Alguns tipos de radiação possuem energia suficiente para penetrar uma amostra de polímero e interagir com os átomos constituintes ou com seus elétrons. Caso isso ocorra, há uma reação chamada ionização, onde a radiação remove um elétron orbital de um átomo específico, o convertendo em um íon positivamente carregado. Consequentemente, uma das ligações covalentes associadas a esse átomo é quebrada, promovendo um rearranjo de átomos ou grupo de átomos naquele ponto. Essa quebra de ligação leva a uma cisão ou a formação de uma ligação cruzada no sítio de ionização, dependendo da estrutura química do polímero e também da dose de radiação o qual este foi submetido (CALLISTER, 2008).

2.2 FENÔMENOS E PROPRIEDADES ÓPTICAS

Dentro deste subitem, serão tratadas questões relativas às propriedades e fenômenos físicos e ópticos importantes para a seleção de materiais e análise do compósito elaborado nesta pesquisa. Os conceitos mais importantes abordados são: a luz, os tipos de reflexão, o índice de refração, a absorção da luz e cor, a refletância, transparência, translucidez, opacidade e o efeito aventurinada.

2.2.1 Luz

De acordo com Almeida *et al.* (2007, p.9), a luz é uma forma de energia que se propaga através de ondas eletromagnéticas retilíneas em meios homogêneos e se desloca a uma velocidade em torno de 300 mil quilômetros por segundo, sendo de alcance infinito no vácuo. No entanto, a luz também pode assumir propriedades corpusculares ao interagir com a matéria, sendo então considerada como uma forma de energia que se propaga no espaço por meio de partículas chamadas de fótons (teoria quântica da luz).

A teoria eletromagnética é utilizada para explicar o comportamento da luz nos minerais e por isso será aqui utilizada. Uma onda eletromagnética é considerada uma onda transversal, porque a sua energia (campos elétricos e magnéticos) vibra perpendicularmente à direção de propagação. Possui as seguintes variáveis (Fig.9):

λ - Comprimento de onda - distância entre duas posições consecutivas e idênticas na direção de propagação da onda. É expressa em nanômetros (nm). 1nm = 1 milionésimo de milímetro.

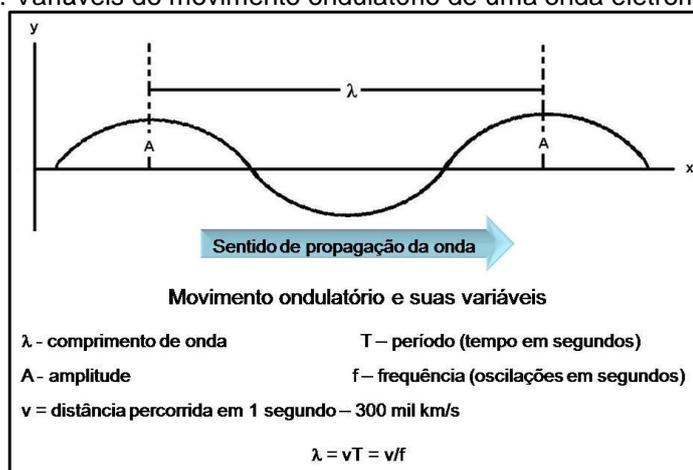
A - Amplitude – medida positiva ou negativa da magnitude da oscilação da onda. Pode ser expressa também em nanômetros.

T - Período – tempo gasto para percorrer uma distância igual a um comprimento de onda. É expressa em segundos ou milissegundos (ms). 1 ms = um milésimo de segundo.

f - Frequência – número de oscilações na unidade de tempo. É expressa em Hz (hertz). 1Hz =1 ciclo por segundo.

v - Velocidade da luz no vácuo. Aproximadamente 300.000 km/s.

Figura 9: Variáveis do movimento ondulatório de uma onda eletromagnética.

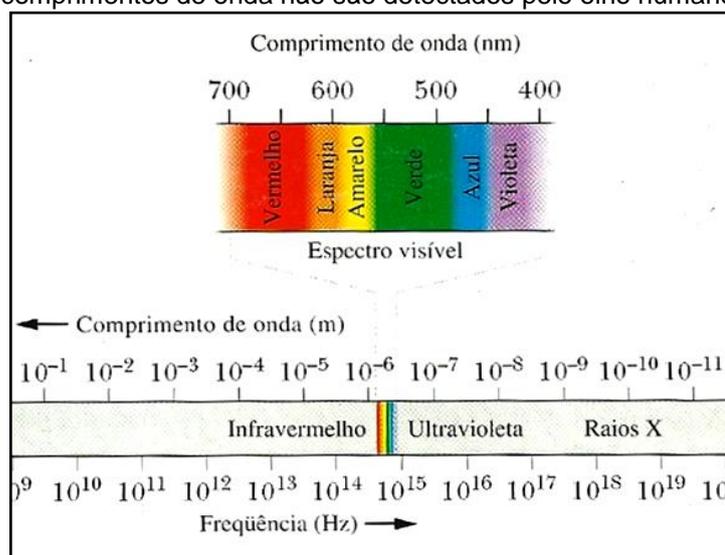


Fonte: Juchem, 2013.

Conforme Halliday *et al.* (2001, p.2) "uma onda eletromagnética é formada por campos elétricos e magnéticos variáveis e as várias frequências e comprimentos de onda possíveis de ocorrer em ondas eletromagnéticas formam um espectro, do qual uma pequena parte forma a luz visível" (Fig.10).

Segundo Unglaub (2010, p.371) "para os humanos, a luz visível é limitada à energia eletromagnética de ondas que tem uma frequência de $4,0$ a $7,5 \times 10^{14}$ ciclos por segundo e um comprimento de onda de 400 a 750 nm". De acordo com essas informações, é possível estabelecer a fração do espectro eletromagnético visível pelo olho humano (Fig.10).

Figura 10: Espectro eletromagnético, indicando o intervalo de comprimento de onda (m e nm) e a frequência (Hz), com o intervalo da luz visível para os humanos e algumas formas de energia cujos comprimentos de onda não são detectados pelo olho humano.



Fonte: Halliday *et al.*, 2003.

Segundo Youg e Freedman (2009, p.3), "conforme a lei da propagação retilínea da luz, nos meios homogêneos e transparentes a luz se propaga em linha reta". Portanto, para efeito de análise em óptica geométrica, a direção e sentido de propagação da onda luminosa serão representados por um raio, que é uma linha imaginária.

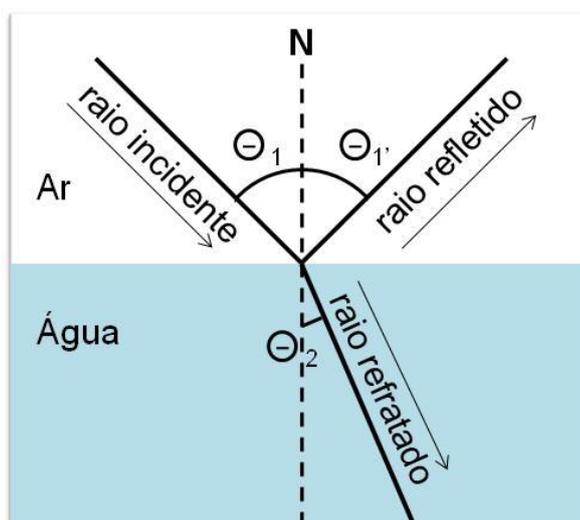
2.2.2 Reflexão especular, reflexão difusa e refração

Quando um feixe de luz atinge obliquamente uma superfície lisa separando dois meios transparentes, por exemplo, ar e vidro ou água e vidro, a luz é parcialmente refletida e parte dela penetra no outro material (é transmitida), onde

ocorre a refração. Entende-se por refração o desvio que a luz apresenta em relação à sua trajetória inicial, devido à variação de sua velocidade quando atravessa dois meios que possuem densidades diferentes (Young e Freedman, 2009).

Para exemplificar este efeito da óptica geométrica, descrevem-se as direções dos raios incidentes, refletidos e refratados (transmitidos) na interface lisa separando dois meios transparentes (por exemplo, ar e água) em relação aos ângulos que esses raios formam com a normal (N), à superfície do plano de incidência (Fig.11). Nota-se que o ângulo do raio incidente e do raio refletido com relação à normal (N) é o mesmo (Θ_1 e $\Theta_{1'}$). Já o raio refratado exibe uma direção e ângulo (Θ_2) diferentes em relação à normal, aproximando-se desta (N), porque ocorre uma diminuição da velocidade da luz quando essa passa do ar (meio menos denso) para a água (meio mais denso). Quando a luz passa de um meio mais denso para um meio menos denso, ocorre o contrário - o raio refratado se afasta da normal ao ponto de incidência N - porque há um aumento da velocidade da luz (TIPLER, 2000).

Figura 11: Reflexão e refração da luz. O ângulo do raio incidente (Θ_1) com a linha normal ao ponto de incidência (N) é igual ao ângulo dessa normal com o raio refletido ($\Theta_{1'}$). O raio de luz ao penetrar na superfície da água, sofre um desvio na sua trajetória, formando um ângulo com a linha N.



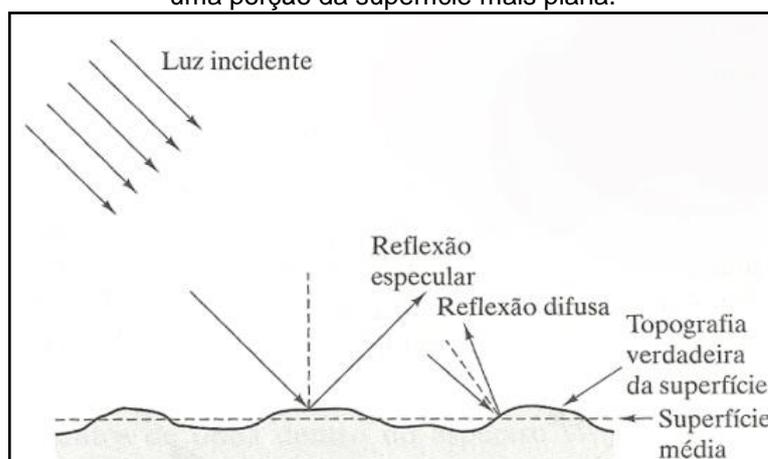
Fonte: Tipler, 2000.

Quando consideramos um feixe de luz incidente ao invés de um raio apenas, tanto uma superfície rugosa quanto uma superfície lisa exibem uma luminosidade resultante de diversos raios incidentes refletidos ao mesmo tempo. Via de regra, não

existe nenhuma superfície totalmente lisa ou rugosa, mas é possível determinar-se uma superfície média, analisando-se a sua topografia (Fig.12).

No caso de superfície rugosa, os raios refletidos são espalhados em diversas direções, ocasionando uma reflexão difusa. Com isso, obtêm-se preferencialmente uma distribuição de raios refletidos em ângulos diversos e com pouca variação de intensidade entre si. Quando a superfície em questão é uma superfície predominantemente lisa, a reflexão da luz ocorre mantendo o paralelismo do raio de incidência, tornando a representação da luminosidade mais intensa em determinado ângulo (reflexão especular). Portanto, pode-se afirmar que quanto mais lisa for a superfície do material, maior será a sua intensidade de reflexão luminosa (SHACKELFORD, 2008).

Figura 12: Luz incidente apresentando reflexão difusa em superfície rugosa e reflexão especular em uma porção da superfície mais plana.



Fonte: Shackelford, 2008.

2.2.3 Índice de refração

O índice de refração é uma propriedade óptica muito importante, uma vez que é determinante na aparência que este confere aos materiais. Um alto valor de n , associado à uma superfície média plana é capaz de conferir maior "brilho" a determinado material (SHACKELFORD, 2008).

Na Figura 11, item 2.2.2, pode-se observar que houve um desvio da trajetória do raio de luz incidente ao penetrar na água, denominado de refração. O quanto esse raio se desvia da trajetória original é definido como seu índice de refração, que é uma característica específica de cada material.

Segundo Halliday *et al.* (2003, p. 53) "índice de refração, n , para cada meio, é definido como sendo a razão entre a velocidade da luz no vácuo, c , e a velocidade da luz, v , no meio". Conforme a lei de Snell (Equação 2):

$$n = \frac{c}{v} \quad \text{Eq. 2}$$

2.2.4 Absorção da luz e cor

O fenômeno de absorção da luz ocorre em todos os tipos de materiais em diferentes intensidades. Este fenômeno ocorre sempre que os fótons presentes no raio incidente são absorvidos pelo material. Os materiais, após absorver energia, emitem radiação na faixa do espectro correspondente ao infravermelho, capaz de fornecer a transmissão de calor deste material para o meio. Isto ocorre porque o fóton é capaz de estimular os elétrons a vibrar, ocasionando um aumento de temperatura do material (YOUNG, FREEDMAN, 2009).

Conforme Serway e Jewett (2005, p.968), para cada intervalo de comprimento de onda da luz visível corresponde uma cor, indo do violeta ($\lambda \approx 4 \times 10^{-7}\text{m}$) ao vermelho ($\lambda \approx 7 \times 10^{-7}\text{m}$). Para cada comprimento de onda da luz visível existe uma cor correspondente percebida pelo olho humano, e todas as cores do arco-íris têm comprimentos de onda dentro deste intervalo de luz visível (TIPLER, 1995).

Os objetos são iluminados com luz branca, que é constituída pela superposição das cores do espectro; este feixe de luz irá incidir na superfície de um material, onde alguns comprimentos de onda serão absorvidos e outros refletidos ou transmitidos. Os raios refletidos (ou transmitidos) terão um comprimento de onda ou um conjunto de comprimentos de onda que serão detectados pelo olho humano e causarão a sensação de uma determinada cor, (MÁXIMO e ALVARENGA, 2000).

A absorção é, portanto, um fenômeno que se relaciona também com a cor. Os materiais que apresentam cores escuras tendem a absorver mais energia do espectro eletromagnético - absorvem mais os raios incidentes em uma determinada faixa de frequência e emitem outras faixas perceptíveis ao olho humano (SHACKELFORD, 2008). Se toda a luz é absorvida, o material aparece preto; se nenhum comprimento de onda é absorvido, o material é incolor; e se todos os comprimentos de onda são refletidos com a mesma intensidade, o material é branco.

2.2.5 Refletância

A refletância é uma propriedade óptica descrita pela relação entre a intensidade da luz que é refletida por uma superfície e a intensidade da luz que incide sobre ela. A refletância está relacionada com o índice de refração do material e também com a qualidade de polimento da superfície em que a luz incide.

A refletância é definida por Shackelford (2008, p. 375) como "a fração de luz refletida em tal interface e que está relacionada ao índice de refração pela fórmula de Fresnel (definida abaixo na Equação 3), sendo R a refletância e n o índice de refração do material".

$$R = \left(\frac{n - 1}{n + 1} \right)^2 \quad \text{Eq. 3}$$

Cabe salientar que materiais com alto n também são altamente refletivos.

Em mineralogia, a maior ou menor refletância da luz é descrita como brilho. O brilho dos minerais pode ser metálico (nos minerais que contém metais, como hematita - minério de ferro, e galena - minério de chumbo) e não metálico. O brilho não metálico pode ser: vítreo (como no vidro, quartzo e nas micas), adamantino (como no diamante e no zircão), sedoso (como na serpentina fibrosa), resinoso (como no talco), graxo (como na jadeíta) e nacarado (como em alguns feldspatos) (KLEIN e DUTROW, 2008).

2.2.6 Transparência, translucidez e opacidade

O grau de transmissão da luz através dos materiais é definido pelos termos transparência, translucidez e opacidade. Diz-se transparente todo aquele material cuja estrutura permita a transmissão clara da luz, como pode ser observado na amostra da esquerda na Figura 13, onde é possível ler através desta. A transparência é limitada pela natureza dos poros ou por partículas de uma segunda fase dentro de um material, que servem como centros espalhadores da luz e são, muitas vezes, adicionadas por corantes nos materiais, como pode ser observado na Figura 13, na amostra do centro, cuja imagem transmitida apresenta uma característica difusa sendo classificada como translúcida, ou seja, a luz atravessa o meio, mas não é possível uma leitura clara através da amostra. Tanto na amostra transparente como na translúcida, ocorre reflexão especular e difusa na superfície do material. Mas no caso da amostra translúcida, raios de luz refratados incidem em

partículas de segunda fase (partículas de corante não dissolvidas) e nos poros do material e podem ser novamente refletidos no seu interior e transmitidos para fora dele de forma especular ou difusa. Sempre que houver perda total da transmissão da imagem através de um material, este pode ser considerado opaco, como na amostra da direita da Figura 13 (CALLISTER, 2008).

Figura 13: Transmissão da luz em discos de óxido de alumínio.



Fonte: Callister, 2008.

Em mineralogia, a transparência, translucidez e opacidade dos minerais é conhecida também como diafanidade.

2.2.7 Efeito Aventurina

O fenômeno óptico denominado “aventurina” (também conhecido como aventurescencia) é uma propriedade óptica que pode ocorrer em alguns minerais transparentes a translúcidos, como o quartzo e o feldspato e consiste em reflexos metálicos brilhantes, por vezes com jogo de cores, produzido por inclusões de minerais lamelares (em forma de lamelas ou folhas). No caso do feldspato aventurina, também conhecido no comércio como “pedra do sol”, as inclusões são lamelas de hematita ou de goethita e no caso do quartzo aventurina, são inclusões de lamelas de fuchsite – uma variedade de muscovita com cromo e por isso tem a cor verde (SCHUMANN, 1985).

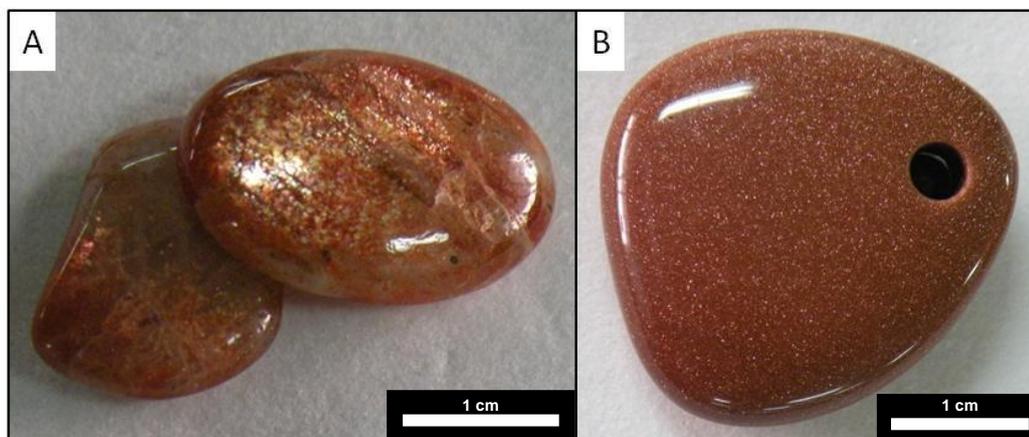
No começo do século XIX, o feldspato aventurina era raro e pouco conhecido, pois era minerado somente na Rússia e na Noruega (GIA, 2015). No entanto, o termo “aventurina” já era utilizado há muito tempo para o “vidro aventurina”, constituído por vidro com inclusões de lamelas de cobre, que hoje é utilizado no comércio como imitação da “pedra do sol” verdadeira (feldspato aventurina). A origem do nome é derivada do termo italiano “*per avventura*” que significa “por acaso”. Uma lenda (não comprovada por documentos) diz que no Século XVII,

alquimistas de Veneza teriam por acaso (*per avventura*) misturado cobre no processo de fabricação do vidro e, durante o seu resfriamento, houve a precipitação de sais de cobre que originaram o brilho especial que passou a ser conhecido como “aventurina”. Existem relatos de que os alquimistas seriam monges e, por isso, o “vidro aventurina” era conhecido também como “*monk stone*” ou “pedra dos monges” (WEBSTER, 1983; BRANCO, 2008).

O feldspato aventurina (pedra do sol) é produzido atualmente nos EUA, Rússia e Índia (GIA, 2015), mas existem também relatos de ocorrências em Madagascar, Myanmar, Sri-Lanka, Canadá, Finlândia, Tanzânia, Austrália e Brasil (WEBSTER, 1983). São desconhecidas áreas de exploração dessa gema no Brasil e os poucos relatos de sua extração encontrados na literatura, referem-se a subprodutos de extração de outras rochas, ou muitas vezes como uma curiosidade mineralógica encontrada em alguma regiões.

Observam-se na Figura 14A, duas amostras de feldspato aventurina (pedra do sol), do acervo didático do Laboratório de Gemologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Labogem - UFRGS). Segundo ficha de descrição das amostras, elas são constituídas de feldspato (plagioclásio) com inclusões orientadas de lamelas translúcidas de hematita que são as responsáveis pelo efeito aventurina. A Figura 14B ilustra o efeito aventurina reproduzido na imitação da pedra do sol, confeccionada em uma matriz de vidro com inclusões de um material metálico com cobre.

Figura 14: Efeito aventurina: A) feldspato com efeito aventurina, conhecido no mercado como "pedra do sol" e B) imitação da pedra do sol feita de vidro com inclusões metálicas a base de cobre. Amostras do Labogem-UFRGS.



Fonte: acervo do autor.

2.3 DESIGN DE PRODUTO E JOIAS

Neste tópico serão abordados itens importantes para ampliar a compreensão do design de joias como um todo. Para isso, é importante ressaltar o estudo de estética e percepção visual dos produtos, o conceito de joia de arte e a formação de identidade de joalheria contemporânea como produto nacional e que servirá de base para a última etapa do desenvolvimento deste trabalho que consiste no projeto de joias.

2.3.1 Estética e percepção visual dos produtos

Conforme Löbach (2000, p.55), nas relações estabelecidas entre o usuário e o produto classificam-se as funções de um produto em estéticas, práticas e simbólicas (Fig.15).

A função estética é, basicamente, estabelecida na relação entre o produto e seu usuário e se situa no nível dos processos sensoriais. Ela corresponde, portanto, aos aspectos psicológicos da percepção sensorial durante o uso e pode ser apreciada sem a necessidade de observar seu significado de conteúdo.

Segundo Löbach, (2000, p.59), "A função estética dos produtos é um aspecto psicológico da percepção sensorial durante o seu uso" e por isso é de suma importância que os designers compreendam as condições perceptivas do homem a fim de que possam projetar produtos de acordo com essas características e assim, otimizar as características atribuídas a ele. Essa percepção sensorial é multissensorial, uma vez que são ativados todos os sentidos do homem de forma global, sendo raramente possível uma percepção unidimensional.

A função prática é aquela em que essa relação se encerra no nível orgânico-corporal, satisfazendo necessidades fisiológicas do usuário e a função simbólica é a que se circunscreve ao nível espiritual, estabelecendo ligações com as experiências, sensações anteriores e aspectos culturais e sociais do usuário (DIAS, 2008).

Figura 15: Funções estética, prática e simbólica do produto na relação usuário/produto.

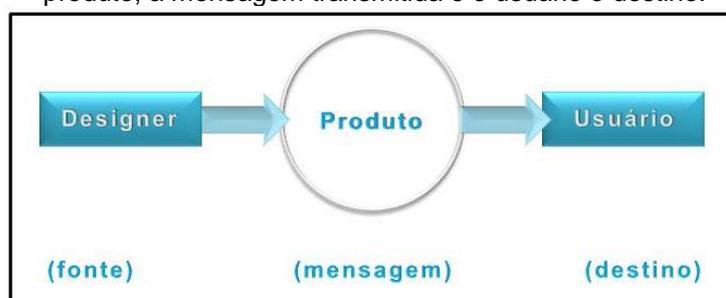


Fonte: Löbach (2000).

Com relação às funções estabelecidas ao produto, deve-se atentar para o fato de que é por meio da percepção que o usuário interage com as características tangíveis e intangíveis dos produtos e, portanto, o produto deve comunicar esses atributos a fim de cumprir com seu propósito. Sendo assim, o designer tem como principal função ser o mediador entre os produtos e as sensações perceptivas induzidas por ele nos usuários, e o faz ao configurar o ambiente artificial, considerando que o elo entre o homem e seu ambiente artificial é importante para a saúde psíquica dos humanos.

Assim, o design também pode ser interpretado como uma linguagem (Fig.16), onde o designer é a fonte capaz de expressar significados a um usuário (destino) por meio de um produto (mensagem). Obviamente, a interpretação dessa mensagem pelo usuário está relacionada a fatores sociais e culturais onde o indivíduo está inserido.

Figura 16: O produto como meio de comunicação, indicando ser o designer a fonte da informação, o produto, a mensagem transmitida e o usuário o destino.



Fonte: Crilly e Clarkson (2006).

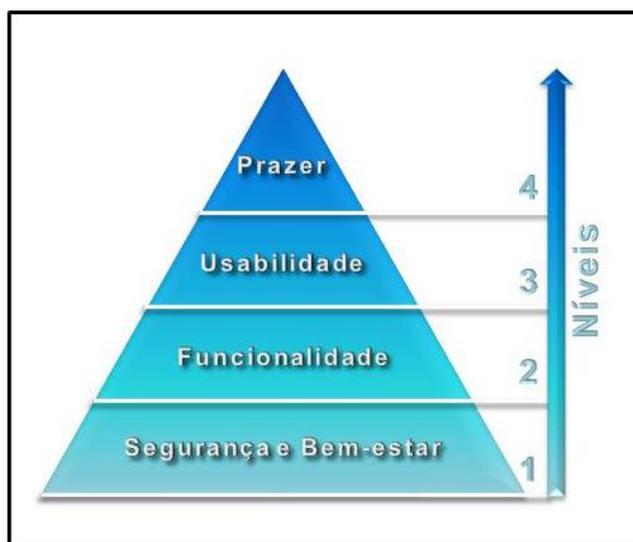
De acordo com Green e Jordan (2002, *apud* IIDA *et al.*, 2008, p. 37), existe uma hierarquia de necessidades dos usuários na interação com os produtos (Fig.17)

sendo composta por julgamentos de utilidade, facilidade de uso e funcionalidade dos objetos, mas também é expressada por opiniões atribuídas aos aspectos sensoriais.

Com isso, deduz-se que o nível de agradabilidade (prazer) que um produto ou material pode atingir relaciona-se com a percepção dos atributos estéticos, simbólicos e semânticos que são percebidos por meio das características físicas (cor, textura, som, odor, temperatura) do material, capazes de estimular reações emocionais positivas ou negativas nos indivíduos.

Embora seja o último, o quarto nível na hierarquia de necessidade dos usuários ao interagirem com os objetos (Fig.17), considera o âmbito emocional dessa interação e, de acordo com evidências empíricas, a percepção de prazer atribuída a determinados produtos é capaz de influenciar na percepção das outras dimensões apresentadas como a funcionalidade e a usabilidade deles (IIDA *et al.*, 2008).

Figura 17: Hierarquia de necessidades dos usuários na interação com produtos de acordo com níveis: nível 1 (segurança e bem-estar), nível 2 (funcionalidade), nível 3 (usabilidade) e nível 4 (prazer).



Fonte: Green e Jordan, 2002.

Esta percepção de prazer está intimamente relacionada à percepções estéticas dos objetos e com isso, é importante ressaltar que as sensações negativas ou positivas causadas nos indivíduos pelos produtos são determinantes para provocar sentimentos de aceitação ou rejeição deles. Este fator é crucial do ponto de vista mercadológico, uma vez que os produtos encontram-se em um patamar de funções praticamente no mesmo nível. Os atributos estéticos passam a ser fundamentais para a escolha do consumidor e passam a constituir um fator de decisão do comprador (LÖBACH, 2000).

Segundo Baxter (2000, p. 150), "A imagem transmitida pela aparência do produto representa o simbolismo deste e, descrever o simbolismo do produto, significa descrever os valores pessoais e sociais incorporados à aparência dele". Além disso, a forma como o produto transmite esses valores é chamada de "semântica ou significado do produto". Sendo assim, a função simbólica deriva dos aspectos estéticos do objeto e se manifesta por meio dos seus elementos, como forma, cor, tratamento de superfície e material (LÖBACH, 2000).

Baxter afirma ainda que os produtos costumam ter dois tipos de valores simbólicos. Em primeiro lugar, o produto pode transmitir certos aspectos, por si mesmo, podendo parecer robusto, pesado, durável ou frágil, delicado ou perecível; em segundo lugar, o produto pode simbolizar certos traços pessoais do seu usuário, inclusive tornar-se símbolo de status e, portanto, descrever o simbolismo do produto significa descrever os valores pessoais e sociais incorporados à aparência deste (BAXTER, 2000).

Nas etapas do planejamento de produto descritas por Baxter (2000, p.151), o autor as enumera para que se possa alcançar objetivos estéticos e sugere que sejam corrigidas tão logo se perceba que não serão cumpridos os objetivos iniciais. Isso demonstra a relevância do desenvolvimento do estilo para o sucesso do projeto em si e ele o divide em três:

- Pesquisar os condicionantes de estilo;
- Explorar a semântica e o simbolismo do produto; e
- Produzir um objetivo para o estilo, baseando-se em documentos anteriores de planejamento do produto.

Para este trabalho é importante compreender que explorar a semântica e o simbolismo do produto, considerando valores pessoais e sociais do consumidor e a visão do estilo do produto (requisitos de simbolismo), bem como as funções básicas do produto e a diferenciação funcional (requisitos da função do produto), são problemas que devem ser considerados na elaboração ou seleção de materiais, uma vez que irão conferir identidade ao material ou produto concebido sendo fatores determinantes para o sucesso de um produto ou material no mercado. Com isso, planejar o estilo de um produto pode representar uma especificação de oportunidade de inovação dentro do projeto.

Todos esses conceitos são importantes para que se possa compreender que a necessidade de inserir e comunicar atributos intangíveis nos bens de produção industrial exigem que o design se relacione de forma transversal também com áreas que compõe o âmbito do comportamento humano além das áreas objetivas e exatas, a fim de que se possa considerar fatores como valor de estima e qualidade percebida na concepção de artefatos industriais (MORAES, 2008).

2.3.2 Joia de arte e identidade

De acordo com Corbetta (2007, p.85), a joia de arte (Fig.18) é a que pode ser criada por um designer ou artista segundo a sua própria visão de harmonia e beleza. Visando um bom design que seja atemporal, o artista elabora a peça sem a preocupação se a joia está ou não inserida em uma tendência. Sendo assim, não haveria exagero em se afirmar que a joia de arte pode ser considerada um bem durável.

Figura 18: Joia de autor: A, C e D: colares de Roxana Galli e B: colar de Fernando Flexa.



Fonte: Sciacco, 2014.

Conforme Machado (2012, p.96), é possível estabelecer uma relação diferenciada do tempo com a joalheria:

"O tempo é o maior aliado da joalheria - milenar na formação dos materiais de sua fabricação e excepcional na execução das joias - ele corre na contramão do mercado das efemeridades descartáveis. O tempo é o valor mais precioso da joalheria; seu argumento de sua excepcionalidade. Por isso, os únicos objetos suspensos da dinâmica do descarte corriqueiro da moda. É sempre bom lembrar que uma joia nunca vira lixo."

Além da atemporalidade desejada no design de joias, e à sua simbologia associada a um bem eterno, na joalheria moderna é importante que cada peça seja única e que possa refletir o estilo de seu criador. Este fato abre espaço para que a criação possa ocorrer de forma ousada, em busca de novas formas e desenhos, onde exerce destaque um forte apelo ao "feito à mão". Nesse contexto, há a busca das duas partes envolvidas (criador e consumidor) pela afirmação de sua individualidade, o que contribui para que haja um rompimento das regras no desenvolvimento de produtos, favorecendo a mistura de materiais e apetrechos inseridos (MONTANARINI, 2012).

Analisando o cenário nacional de joalheria contemporânea, as grandes fabricas têm investido em designers com experiência e formação de qualidade, para que estes possam aplicar seus conhecimentos em processo de produção e novos materiais, associados ao talento dos profissionais e à ousadia dos desenhos no projeto de joias, a fim de obter sucesso no mercado globalizado (HENRIQUES, 2012).

Da mesma forma, a globalização leva ao enfraquecimento da identidade coletiva, contribuindo para a evolução da uniformização. Por outro lado, o hibridismo e a integração regional contribuem à uma diferenciação nos produtos, agindo de forma integradora (NIEMEYER, 2010). Sendo assim, é importante ressaltar que a atividade de design que impulsiona a inovação tem que ser facilitada pelos designers (KRUCKEN, 2008).

Ampliando o leque de materiais a serem utilizados na joalheria, novas tecnologias podem ser empregadas na elaboração das peças, no processo de produção e tratamento das superfícies, por exemplo. Obviamente, novos materiais podem conferir características originais e diferenciadas ao projeto de joia.

Henriques (2012, p.108), afirma que com o crescente processo de globalização, pouco a pouco as diferenças culturais entre os produtos foram diminuindo. No entanto, observa-se um fenômeno mercadológico de valorização da identidade local, associada à imagem positiva onde a joia foi produzida.

Tal opinião é compactuada pelos estudos de Lia Krucken, onde o conceito de design territorial é visto como aquilo que constitui a riqueza dele, podendo ser analisado a partir de elementos como a imagem e percepção do território e a cultura e identidade deste (KRUCKEN, 2009).

O valor artístico das joias deve ser considerado acima de tudo e a sua criação deve ocorrer com liberdade de expressão, onde o único objetivo é atingir harmonia e beleza. Tal liberdade é capaz de conferir peças onde o valor do material não é o mais importante, pois a expressividade do artista criador não se limita aos materiais usuais, uma vez que a função da joia é ornar o corpo (Fig.19).

Figura 19: Materiais alternativos na joalheria: pingente e bracelete confeccionados em metal e lã por Paula Mourão.



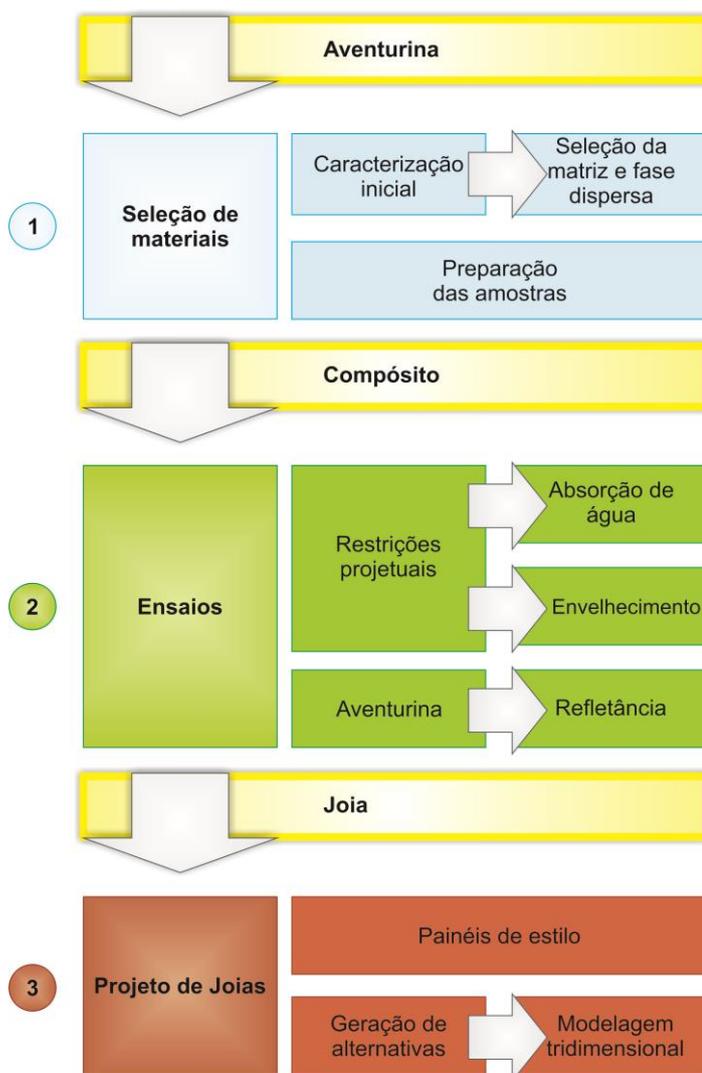
Fonte: Mourão, 2015.

MÉTODO DA PESQUISA

Partindo do conceito de aventurina como inspiração para a elaboração de um compósito a ser aplicado em joias, foram tomadas decisões que serão discutidas em maiores detalhes neste capítulo.

A primeira etapa dessa pesquisa consistiu na seleção dos materiais utilizados na elaboração do compósito, seguida da realização de ensaios de laboratório para determinar as propriedades do material produzido. A terceira e última etapa foi a elaboração de um projeto de joias utilizando amostras do compósito elaborado como material gemológico. Um esquema mostrando as etapas de desenvolvimento dessa pesquisa pode ser visto na Figura 20.

Figura 20: Etapas do procedimento metodológico utilizadas nesta pesquisa.



Fonte: acervo do autor.

3.1 SELEÇÃO DE MATERIAIS

Nesta etapa da metodologia da pesquisa serão explicados os processos adotados para selecionar os materiais utilizados, visando a simulação do efeito aventurina na elaboração do material compósito.

3.1.1 Caracterização inicial dos materiais existentes no mercado

Essa etapa consistiu em fazer um reconhecimento e caracterização dos materiais gemológicos com efeito aventurina que existem no mercado de gemas: o feldspato aventurina (a pedra do sol “verdadeira”) e uma imitação desse material feita com vidro, comercializada também com o nome de pedra do sol. Amostras desses materiais foram cedidas para análise pelo Laboratório de Gemologia (Labogem) da UFRGS.

Para realizar a análise, foram confeccionadas lâminas delgadas das amostras, que foram desgastadas até a espessura de 30 µm com carborundum (carbeto de silício) em diferentes granulometrias e polidas com óxido de alumínio para obtenção de superfícies especulares nas inclusões metálicas. Nessa espessura, a grande maioria dos minerais formadores de rochas ficam transparentes ou translúcidos, o que permite sua análise com luz transmitida.

A análise e obtenção das fotomicrografias dessas amostras, foram feitas utilizando-se um microscópio óptico marca *Zeiss Axio Imager*, do Departamento de Mineralogia e Petrologia do Instituto de Geociências da UFRGS. Esse equipamento pode ser operado de duas maneiras: como um microscópio petrográfico (com luz transmitida) para descrição e identificação de minerais formadores de rochas, e como um microscópio metalográfico (luz refletida), para descrição e identificação de materiais ou minerais metálicos. As fotomicrografias foram obtidas com uma câmera modelo *AxioCam MRc* da marca *Zeiss* acoplada ao microscópio, que por sua vez está ligado a um computador que opera com o programa *Snap 2550 Zen lite*, ano 2012 para gerenciar a obtenção e a qualidade das imagens.

As principais características ópticas dos minerais e o princípio de funcionamento dos microscópios ópticos utilizados para identificar minerais, rochas e minérios são descritos com detalhe em livros clássicos como Phillips (1971), Craig & Vaughan (1994) e Klein & Dutrow (2008). A seguir apresenta-se um resumo dessas

propriedades e da descrição dos microscópios petrográfico e metalográfico, para permitir o entendimento das características descritas dos materiais analisados.

Os microscópios petrográficos e metalográficos utilizados para pesquisa em Geologia operam com luz polarizada, o que permite descrever não só a morfologia e características físicas de um mineral (como clivagem, fraturas, inclusões, etc.), mas também identificar propriedades ópticas relacionadas à sua estrutura cristalina e que são fundamentais para a identificação das diferentes espécies minerais.

Nos microscópios petrográficos (que operam com luz transmitida), a luz que penetra no mineral que está sendo examinado sobre uma platina giratória é polarizada¹ (direção N-S) e as observações feitas dessa maneira são chamadas de “observações à luz natural” (LN). Com esse dispositivo, é possível observar pleocroísmo em certos minerais, que é a variação de cor conforme a direção em que essa luz polarizada se desloca dentro do mineral. Os minerais anisótipos² desdobram esse feixe de luz em dois feixes também polarizados, com velocidades de propagação diferentes e com planos de polarização perpendiculares entre si. Esses feixes de luz são então direcionados para um segundo polarizador (analisador), que polariza a luz em uma direção perpendicular à direção do primeiro polarizador (E-O) e as observações feitas com esse dispositivo são chamadas de “observações à luz polarizada” (LP).

Ocorrem então dois fenômenos: a) quando a direção de polarização de um dos feixes de luz emitidos pelo mineral anisótropo coincidir com a direção do polarizador (N-S), o outro feixe de luz é eliminado e o mineral só transmite luz na direção N-S, que não passa pelo analisador (pois este só deixa passar luz polarizada na direção E-O) e o mineral fica preto (extinto); essa posição se repete a cada 90 graus. b) quando as direções de polarização dos feixes de luz emitidos pelo mineral estiverem em outras posições que não coincidam com a direção N-S, parte da luz passa pelo polarizador E-O e o que os olhos do observador captam é a interferência dos comprimentos de onda de cada um dos feixes de luz, que por

1 Os campos eletromagnéticos que compõem um feixe de luz vibram em todas as direções perpendiculares à sua direção de propagação. A luz é polarizada ou plano polarizada, quando essa vibração ocorre em uma só direção.

2 Minerais anisótipos para a luz são aqueles que têm a propriedade de desdobrar um feixe de luz que os atravessa (polarizada ou não) em dois feixes de luz polarizada, com velocidades diferentes e com planos de polarização perpendiculares entre si. Os minerais isotópicos para a luz são aqueles que não conseguem polarizar a luz e transmitem um feixe de luz (polarizada ou não) sempre com a mesma velocidade em qualquer direção.

terem velocidades diferentes, tem também comprimentos de onda diferentes e conseqüentemente transmitem, cada um, uma cor diferente; a medida que o mineral é girado sobre a platina do microscópio, a cor do mineral varia (é a chamada de cor de interferência), e essas cores, que em geral são diferentes da cor que o mineral apresenta em LN, são uma importante característica para diferenciar certas espécies minerais.

Os microscópios metalográficos (utilizados para examinar minerais opacos com luz refletida), também operam com luz polarizada, mas analisam as propriedades dos minerais através do feixe de luz que é refletido pela superfície especular dos cristais. A morfologia, clivagem, etc.. e as características de pleocroísmo e cor de interferência do mineral também podem ser observadas com essa técnica, além do “poder refletor”, que é a propriedade de refletir o feixe de luz do microscópio com maior ou menor intensidade.

Em um refratômetro gemológico de contato da marca *Topcon*, no Laboratório de Gemologia da UFRGS, foi medido o índice de refração do vidro utilizado como matriz da imitação da pedra do sol, a fim de selecionar materiais com índice de refração e características ópticas similares, por meio do *software* CES Edupack 2012™.

O refratômetro (Fig.21), tem seu princípio de funcionamento baseado no ângulo crítico para a reflexão total da luz, que é um ângulo de incidência da luz a partir do qual não há mais refração quando a luz passa de um meio mais refringente para outro menos refringente.

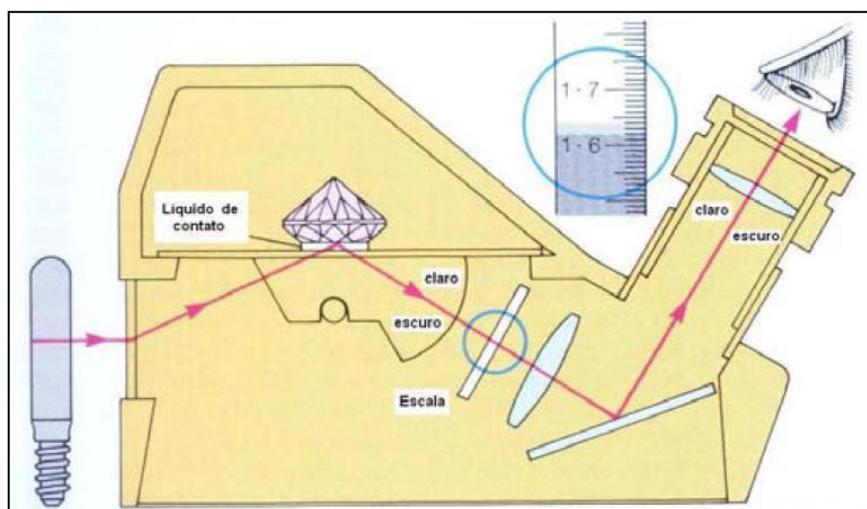
Para a leitura dos índices de refração (IR), a gema é colocada na superfície plana de um vidro (“janela” do refratômetro) com $IR=1,81$, sobre um líquido de contato com o mesmo índice, a fim de impedir a formação de uma camada de ar na interface gema/vidro e conseqüentemente desvios dos feixes de luz. Esse líquido de contato tem também a função de impedir que a gema analisada entre em contato diretamente com a janela de vidro do refratômetro, impedindo que seja danificada, pois este vidro tem dureza inferior à grande maioria das gemas.

Uma fonte de luz monocromática (com comprimento de onda da luz correspondente à cor amarela) emite um feixe de luz que atravessa o vidro e o líquido e incide sobre a superfície da gema (Fig 21). Parte da luz é refratada e outra parte é refletida, a partir de um certo ângulo de incidência (ângulo crítico para a reflexão

daquela gema, que está relacionado com o seu índice de refração, fundamentado na Lei de Snell, Equação 2, item 2.2.3).

Isso gera um campo claro (onde se desloca a luz refletida) e outro campo escuro (onde a luz foi refratada) e, interpolando-se uma escala entre o vidro, a lente e o espelho que levam a imagem para a ocular, é possível ler diretamente o valor numérico dos índices de refração daquela gema, no limite da sombra que se observa pela ocular.

Figura 21: Esquema geral de um refratômetro indicando o caminho percorrido pela luz dentro do equipamento.



Fonte: Schumann, 2006.

3.1.2 Seleção da matriz e da fase dispersa

A etapa de seleção da matriz foi realizada no Curso de Design da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), que oportunizou o uso do *software* de seleção de materiais *Cambridge Engineering Selector* (CES Edupack 2012™) para consulta. Tal *software* foi elaborado pelo Departamento de Engenharia da Universidade de Cambridge (Inglaterra), baseado na pesquisa de seleção de materiais de Michael Ashby (ASHBY, 1989) e é uma importante ferramenta de seleção de materiais. Este programa trabalha com um banco de dados de materiais, contendo fichas com informações relativas às propriedades e processos de fabricação, além de aplicações sugeridas ao material. É possível acessar explicações referentes aos processos e sobre a ciência que está na base das propriedades armazenadas no banco de dados.

Para realizar esta etapa, inicialmente devem-se fornecer ao programa informações relevantes sobre o material que se deseja encontrar, para que o

software realize uma busca em seu banco de dados, procurando os materiais que apresentem tais características.

Após esta etapa, o *software* exhibe gráficos de materiais, chamados mapas de seleção, em função das propriedades requeridas. Por meio deste mapa é possível visualizar como se comportam as diversas classes de materiais em função dessas propriedades e assim, poder analisar o seu comportamento e selecionar o material que apresentar o melhor desempenho, sempre considerando características requeridas pelo projeto.

As características importantes no desenvolvimento do compósito elaborado neste trabalho são as propriedades ópticas do material a ser selecionado como matriz. Como a análise partiu da imitação da pedra do sol, cuja matriz é um vidro, os requisitos projetuais na elaboração do material compósito, consistem no índice de refração do vidro e na sua transparência.

O *software* gerou, a partir destas duas propriedades ópticas, um mapa de seleção de materiais onde foi possível visualizar o seu comportamento e assim, selecionar a matriz do compósito (resina poliéster ortoftálica), que foi baseada em requisitos de custo.

Já a seleção da fase dispersa atendeu à requisitos de similaridade com a reprodução do efeito aventurina. Para isso, foram utilizados os próprios minerais que podem ser os causadores do efeito, do grupo das micas. Dois tipos de mica foram selecionados para testes iniciais: a muscovita e a biotita.

3.1.3 Caracterização dos minerais selecionados

A caracterização dos minerais foi realizada através de análise óptica das micas, feita no Laboratório de Design e Seleção de Materiais da Escola de Engenharia da UFRGS. Esta análise foi realizada com auxílio de uma lupa binocular estereoscópica da marca *Olympus* modelo SZX16, que permite ampliações de 0,7 a 11,5 vezes (Fig.22).

O objetivo da análise da superfície dos materiais é a observação da sua superfície e estimativa do melhor método de fragmentação das partículas minerais, tanto a muscovita, quanto a biotita.

Figura 22: Lupa binocular estereoscópica da marca *Olympus* modelo SZX16.



Fonte: acervo do autor.

Os dados a cerca da resina poliéster utilizada foram obtidos consultando a ficha técnica do polímero cedida pela empresa Fiberglass (Anexo A), que, assim como a caracterização dos minerais, possibilitou a elaboração das amostras iniciais do compósito.

3.1.4 Preparação das amostras do compósito

Para este item da metodologia fez-se necessária a fragmentação dos grãos das micas. Tal etapa realizou-se após a análise à lupa binocular que foi decisiva para conhecer a superfície do material e assim, optar pelo procedimento de fragmentação mais adequado. Primeiramente os minerais biotita e muscovita foram clivados com ajuda de uma pinça a fim de romper com a sua estrutura lamelar, sendo algumas lâminas reservadas para utilização das amostras em camadas.

Em um segundo momento, as finas lâminas obtidas foram fragmentadas com a ajuda de uma tesoura, em partículas consideravelmente menores, na ordem de 20 micrômetros até a obtenção de uma quantidade considerável destes fragmentos que foram incrustados nas amostras de compósito na etapa de preparação das amostras.

Parte dos fragmentos de micas obtidas nesse processo de fracionamento foram maceradas, com a ajuda de um almofariz e pistilo cerâmicos. Feito isso, após

escolher o melhor processo de fragmentação, o mineral foi pesado em balança analítica com precisão de 0,001g e dividido em porções iguais de 0,250 g para cada amostra.

Foram preparadas diversas amostras de compósito, com diferentes composições e arranjos. Amostras com inclusões minerais na resina poliéster, preparadas sob agitação e amostras desse compósito produzido em camadas, foram confeccionadas em fôrmas de acetato, produzindo blocos de base quadrada. Visando obter variações no formato das peças, foram confeccionadas também blocos em fôrmas de acetato semi-esférica, gerando peças com um formato bastante comum em joalheria, proveniente de um tipo de lapidação conhecida como cabochão.

Amostras por simples agitação

Utilizou-se fôrmas de acetato (16cm X 24cm, com 8 divisórias de 3,5cm X 3,5cm) untadas com uma cera (desmoldante) para facilitar, posteriormente, a remoção das peças do molde. A cada recipiente dessa fôrma foram adicionados 0,250g de fragmentos minerais em 3ml de resina poliéster, sob agitação, para obter-se uma uniformidade de distribuição. Para cada 3ml de resina poliéster incolor foi adicionada uma gota de catalisador butanox, agitando-se a mistura para que polimerizasse de forma homogênea e, após 24h em sala devidamente climatizada (temperatura de 17°C), as amostras totalmente curadas foram desenhadas com um bisturi.

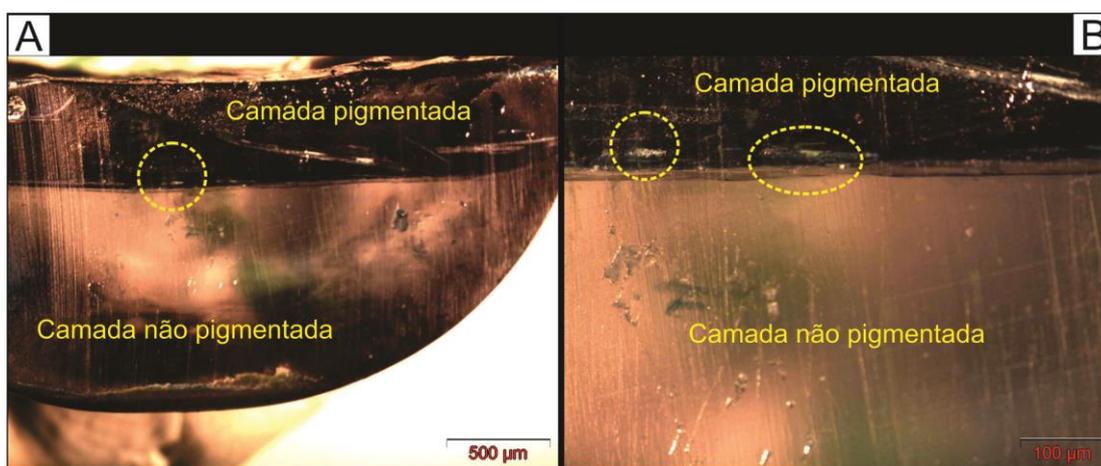
Amostras em camadas

Amostras confeccionadas com corante em pasta na primeira camada tornam-se opacas e as elaboradas com corante em pó tornam-se translúcidas após a sua cura total. As amostras em camadas foram produzidas da seguinte maneira: para cada 3ml de resina poliéster adicionou-se 0,6g de pasta poliéster azul ftalo (Anexo C) ou 0,1g de pigmento verde limão em pó, dissolvendo-os e logo após, adicionando uma gota de catalisador butanox.

Após a cura desta camada (aproximadamente 24h à temperatura de 17°C) adicionou-se a camada de mineral fracionado (biotita ou muscovita) ou uma camada de mineral em lâmina inteira de muscovita (ambas de forma aleatória para simular o efeito aventurina natural). Sobre esta camada mineral foi adicionada, imediatamente, mais uma camada de resina poliéster com catalisador, aguardando-se 24h para a

cura total da resina. O perfil das amostras pode ser observado na Figura 23, obtida por meio da lupa estereoscópica.

Figura 23: Amostra do tipo cabochão observada na lupa estereoscópica evidenciando a camada pigmentada, a não pigmentada e a presença de grãos de muscovita mais espessos, destacados na área circular pontilhada: A) visão geral da amostra e B) visualização ampliada, evidenciando os grãos de muscovita.

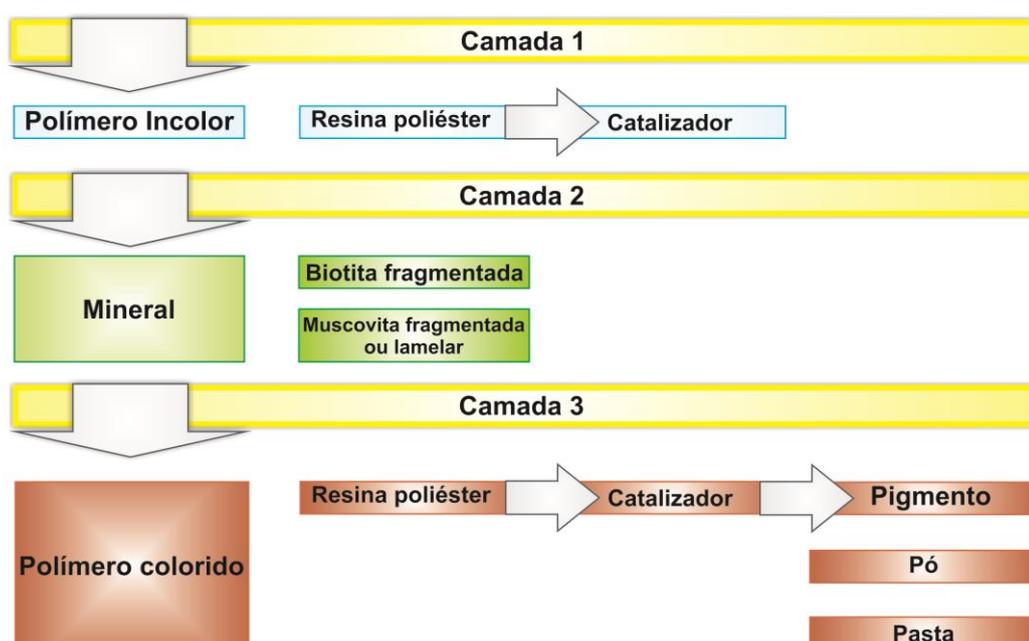


Fonte: acervo do autor.

Amostras em cabochão

As amostras em cabochão foram elaboradas com a inversão de camadas no processo de fabricação, de acordo com o esquema da Figura 24:

Figura 24: Esquema do processo de fabricação das amostras em camadas (inclusive as cabochão).



Fonte: acervo do autor.

Foram utilizadas também fôrmas de acetato (16cm X 24cm, com 8 divisórias de 2,7cm de diâmetro), que foram untadas com uma cera à base de carnaúba (desmoldante) para facilitar a remoção das peças do molde. Para cada 3ml de resina poliéster incolor foi adicionada uma gota de catalisador butanox, agitando-se a mistura para que polimerizasse de forma homogênea. Após 24h, em sala devidamente climatizada (temperatura de 17°C), às amostras totalmente polimerizadas, foram adicionados 0,250g de muscovita e mais 3ml de resina poliéster colorida (com o pigmento em pó verde ou pigmento em pasta azul na mesma proporção das amostras citadas anteriormente) com adição de catalizador. Posteriormente, após mais 24h em sala climatizada (17°C), as amostras totalmente curadas foram desenformadas com ajuda de um bisturi.

Durante todo o processo de confecção das amostras foram utilizados equipamentos de proteção individual e tomadas as devidas precauções de segurança, conforme a ficha de informações de segurança dos produtos químicos (ver anexo A).

3.2 ENSAIOS

Com o propósito de determinar se o efeito aventurina ocorre no material elaborado e se este atende à pré-requisitos de elaboração de projeto de joias, fez-se necessária a realização de ensaios laboratoriais, que serão descritos neste tópico.

3.2.1 Ensaio de refletância

O objetivo desse teste é determinar quais configurações de amostras possuem maior porcentagem de refletância dentro de diferentes comprimentos de onda. Além disso, pretendeu-se aferir a porcentagem de refletância da face superior das amostras (onde as lamelas de muscovita são visíveis) e da face inferior das amostras (onde só é possível realizar a leitura da refletância da resina colorida, sem a interferência da refletância da muscovita). Com isso, é possível comparar resultados e determinar se a adição de partículas minerais em sua composição é capaz de conferir maior refletância do que a resina simplesmente colorida.

Para isso foram elaboradas 8 amostras (Fig. 25), utilizando em sua confecção diversas cores (verde, marrom, bege e azul), obtidas por meio de pigmentos em

pasta e em pó, curadas sob a mesma condição climática (17°C) cuja confecção é descrita abaixo:

Amostra número 1: amostra elaborada com resina poliéster sem pigmentos e biotita fragmentada nas proporções descritas no tópico anterior.

Amostra número 2: amostra translúcida com adição de pigmento verde em pó (0,1g) e muscovita lamelar, elaborada de modo que as lamelas de muscovita ficassem mais próximas da superfície da amostra (primeira camada confeccionada com 2ml de resina poliéster e segunda camada elaborada com 3 ml de resina com corante verde nas proporções descritas anteriormente).

Amostra número 3: amostra translúcida com adição de pigmento verde em pó e muscovita lamelar, elaborada nas proporções descritas no tópico anterior; essa amostra quebrou durante o processo de polimento.

Amostra número 4: amostra opaca com adição de pigmento marrom em pasta e muscovita lamelar, elaborada nas proporções descritas no tópico anterior.

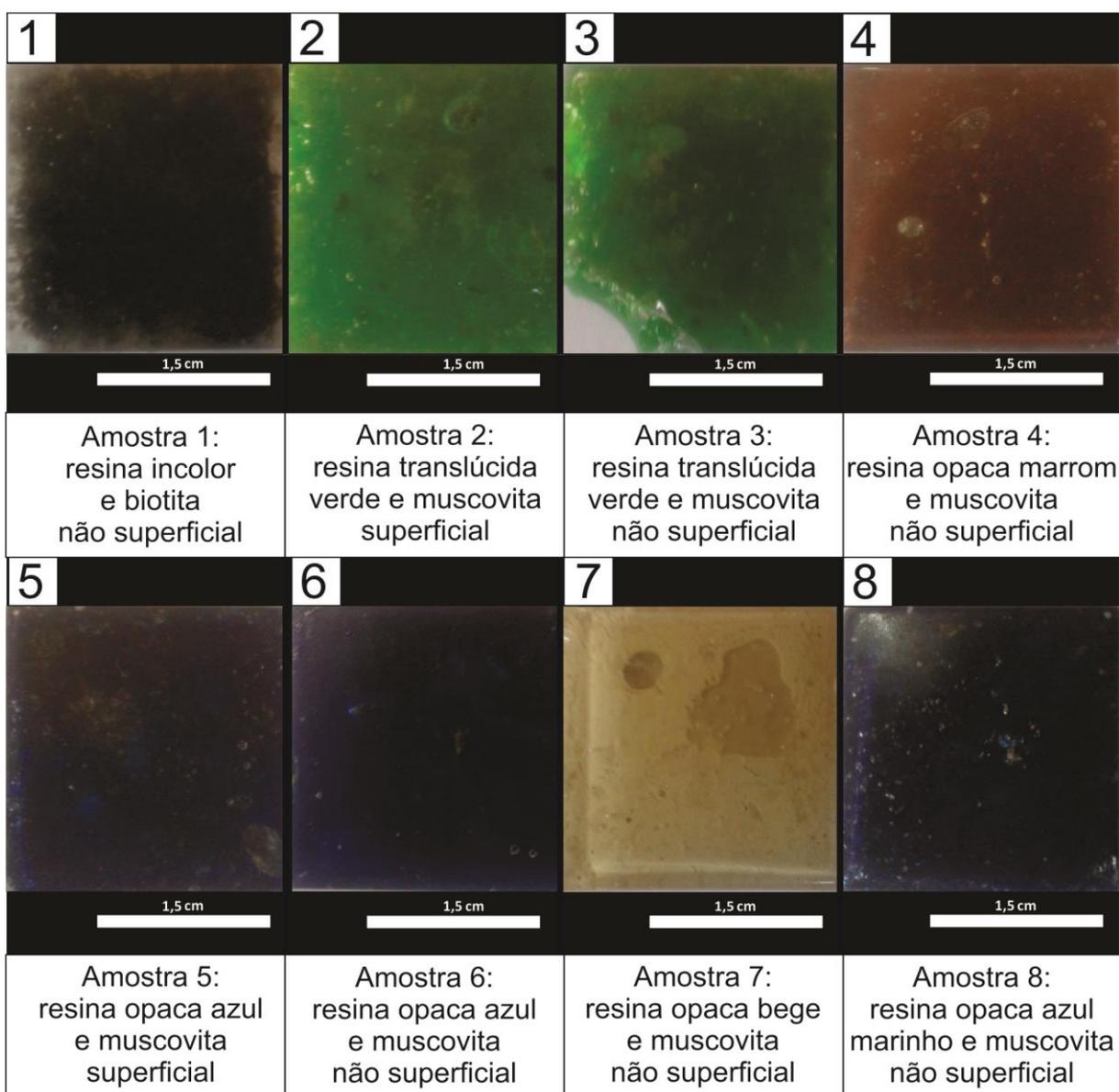
Amostra número 5: amostra opaca com adição de pigmento azul em pasta e muscovita lamelar, elaborada de modo que as lamelas de muscovita ficassem mais próximas da superfície da amostra (primeira camada confeccionada com 2ml de resina poliéster e segunda camada elaborada com 3 ml de resina com pigmento azul, nas proporções descritas anteriormente).

Amostra número 6: amostra opaca com adição de pigmento azul em pasta e muscovita lamelar, elaborada nas proporções descritas no tópico anterior.

Amostra número 7: amostra opaca com adição de pigmento bege em pasta e muscovita lamelar elaborada nas proporções descritas no tópico anterior, com presença de bolha.

Amostra número 8: amostra opaca com adição de pigmento azul em pasta e muscovita lamelar, elaborada conforme instruções descritas no tópico anterior, porém com o dobro do peso do pigmento (1,2 g).

Figura 25: Amostras elaboradas para o ensaio de refletância.



Fonte: acervo do autor.

Após a cura do material, as amostras foram submetidas a um polimento a fim de melhorar o acabamento da sua superfície e realizar os ensaios de refletância. Esta etapa foi realizada no Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM) da UFRGS, utilizando-se um equipamento *Multi-machine Lapidart*, de fabricação brasileira, que está equipado com serra e rebolo diamantado, disco de feltro e de lã e discos para acoplamento de lixas e utiliza a força produzida por um motor que opera na frequência de 60 Hertz (Hz) com 1/4 *horse-power* (hp) de potência e que pode produzir até 1755 rotações por minuto (rpm), sendo lubrificado com água (Fig. 26).

Figura 26: *Multi-machine Lapidart*: composta por serra, 4 discos para acoplar lixas de diversas gramaturas, 1 disco de feltro e um disco de lã (da esquerda para a direita).



Fonte: acervo do autor.

A amostra é pressionada em contato com o feltro ou lixa sendo friccionada manualmente, até obter-se o lixamento ou polimento desejado. O tempo médio de polimento no disco de lã foi de 10 minutos por amostra e não foi necessária a utilização de nenhum material abrasivo para auxiliar este processo.

Posteriormente, as amostras polidas foram submetidas ao teste de refletância realizado no Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER) da UFRGS. Para este ensaio foi utilizado um espectrofotômetro denominado de *Cary 7000 Universal Measurement Spectrophotometer* da marca *Agilent Technologies* (Fig.27).

O espectrofotômetro é um equipamento que possui um conjunto de lâmpadas, que emitem luz a um instrumento monocromador. Este instrumento divide a luz branca em comprimentos de onda diferentes, que cobrem uma faixa do espectro eletromagnético que vai do ultravioleta até o infravermelho próximo. As leituras obtidas no *Cary 7000* geram gráficos no *software Scan 6.1.0.1568®* do próprio equipamento, que mostram a porcentagem de refletância, porcentagem de transmitância ou porcentagem de absorção em função de intervalos de comprimento de onda. Posteriormente, tais gráficos foram editados no *software Origin® 6.0 Data Analysis and Technical Graphics* e reeditados no *CorelDRAW X5®*.

Figura 27: Cary 7000 Universal Measurement Spectrophotometer.



Fonte: Agilent Technologies, 2015.

Realizou-se uma leitura inicial, para efeito de teste, em uma das amostras e não houve nenhuma indicação de porcentagem de refletância em quaisquer comprimentos de onda do espectro. Uma nova tentativa foi realizada com a ajuda de um acessório chamado esfera integradora, cedido pelo Laboratório de Espectroscopia Laser e Óptica de Filmes da UFRGS, obtendo-se então leituras satisfatórias. Esse acessório pode ser acoplado aos espectrofotômetros *Cary 5000*, *Cary 6000* e *Cary 7000* a fim de aferir medidas de porcentagem de refletância difusa, uma vez que sem esse instrumento, o *Cary* lê, prioritariamente, porcentagem de refletância especular.

A esfera integradora é uma câmara esférica totalmente branca onde a luz refletida pela amostra é rebatida diversas vezes nas paredes do seu interior e a quantidade de luz refletida em qualquer direção (reflexão difusa e especular) é aferida por um detector. Como a luz inicial possui intensidade controlada, é possível estimar, por meio desse detector, quanto de luz foi absorvida, quanto foi transmitida e quanto foi refletida, para isso, antes de aferir a porcentagem de refletância de uma amostra (que devem ser planas e de até uma polegada de diâmetro) é necessário calibrar o equipamento com uma pastilha branca padrão, confeccionada com o mesmo material do interior da câmara.

Após essa etapa, as amostras utilizadas no teste de reflexão foram submetidas ao ensaio de envelhecimento acelerado e novamente aferidas as suas refletâncias. O objetivo de realização deste ensaio foi determinar se as amostras submetidas ao ensaio inicial sofreriam alguma espécie de degradação, e conseqüente redução de refletância.

3.2.2 Ensaio de absorção de água

O propósito de realização desse teste foi observar o efeito que a absorção da água pode produzir em características relativas à aparência do material, nas amostras do tipo cabochão e em bloco. Para isso, foram realizados dois testes com diferentes tempos (2h e 24h), previstos na norma técnica D570 da *International American Society for Testing and Material* (ASTM). Este método de ensaio abrange a determinação da taxa de absorção de água em qualquer tipo de polímero e tem como função representar um guia de taxa de proporção da absorção de água pelo material, explicitando os efeitos dessa exposição.

Visando a aplicação do material em joalheria, estima-se que a utilização das joias em atividades que favoreçam a sua imersão em água seja mínima, por isso, um ensaio curto de absorção em 2h foi realizado utilizando-se equipamentos do Laboratório de Geoquímica da UFRGS. Porém, prevendo um possível mau uso de uma joia confeccionada com este material, realizou-se um segundo teste de absorção da água em um período mais longo (24h), também no mesmo laboratório.

Primeiramente, foram confeccionadas 3 tipos de configuração nas amostras:

- elaborada exclusivamente em resina poliéster sem corante (para fins de comparação);
- amostras de compósito com fundo translúcido; e
- amostras de compósito de fundo opaco.

Os 3 tipos foram confeccionados no formato de bloco e semi-esférico (Fig.28) em fôrmas de acetato, nas mesmas proporções descritas no tópico de preparação das amostras do compósito (item 3.1.4).

Figura 28: Amostras elaboradas para teste de absorção de água, submersas em água destilada.



Fonte: coleção do autor.

A metodologia do ensaio exige que este seja realizado em triplicata para validar os resultados obtidos, mantendo um tipo de cada amostra fora do teste para fins de controle. Para os dois tipos de ensaio (de 2h e de 24h) o procedimento inicial (secagem) é o mesmo.

Para ambos os tempos é necessária uma secagem das amostras em estufa por 24h, mantida à temperatura de $50^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, para eliminar possível umidade retida pelo material. O segundo passo consiste em retirar as amostras da estufa e resfriá-las em dessecador e, após o resfriamento, pesar uma a uma com precisão de 0,001g. Por último, depositar as amostras em um recipiente com água destilada à temperatura de 23°C , retirá-las ao final de 2h, (amostras do ensaio de curta absorção de água) secar em pano limpo e imediatamente pesá-las. Esse mesmo procedimento será repetido ao final de 24h com as amostras do ensaio de absorção de um dia submersas na água.

A taxa de absorção da água do material é calculada conforme a equação abaixo (Equação 4), sendo P_u a massa do material “úmido” (amostras que ficaram mergulhadas na água) e P_s a massa do material “seco” (amostras antes de serem mergulhadas na água).

$$\text{Abs}(\%) = \left(\frac{P_u - P_s}{P_s} \right) \times 100 \quad \text{Eq. 4}$$

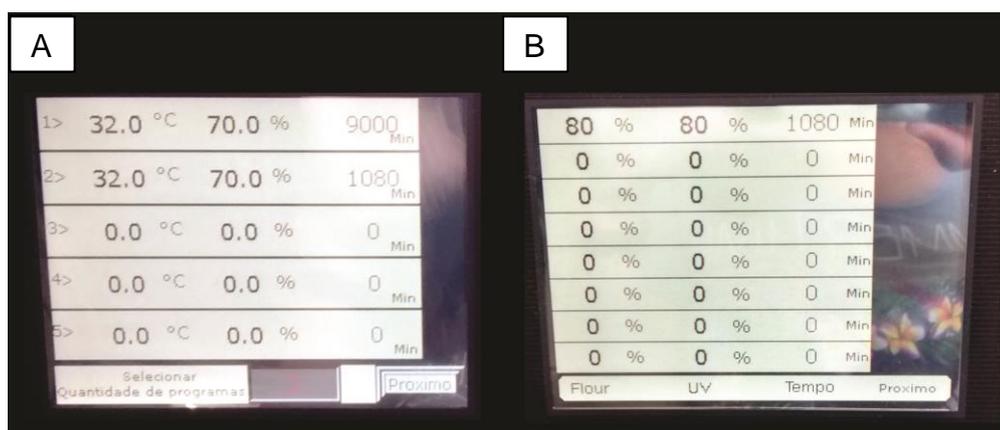
3.2.3 Ensaio de envelhecimento acelerado

O ensaio foi realizado no Laboratório de Design e Seleção de Materiais da UFRGS em uma câmara climática da marca *Marconi*, modelo MA 835/UR. Este equipamento permite simular um ensaio de degradação no material conforme parâmetros pré-estabelecidos de temperatura, umidade e índice de incidência de raios de luz ultravioleta do tipo A (UVA) e raios de luz ultravioleta do tipo B (UVB) controlados, operando em ciclos com duração pré-determinada de até 9.999 minutos por ciclo. A câmara climática MA 835/UR, é equipada com diferentes tipos de lâmpadas para simular os efeitos de uma incidência de luz solar UVA/UVB. A umidade é expelida por sprays de água deionizada com PH 7,3 a 7,5 e a temperatura, devidamente controlada.

Primeiramente, é necessário definir os parâmetros de simulação (temperatura, umidade e incidência de raios UVA/UVB) para programar o *software*

que irá operar a máquina. Para este ensaio utilizou-se um tempo de exposição solar, temperatura e umidade em uma proporção considerada extrema ao ser humano (o usuário da joia), realizando-se em dois ciclos (9000 minutos e 1080 minutos), totalizando uma semana (Fig.29).

Figura 29: Tela de programação de parâmetros da câmera climática MA 835/UR da marca *Marconi*: A) a primeira linha indica os parâmetros de temperatura (32°C) e umidade (70%) escolhidos para operar no primeiro ciclo de 9000 minutos e a segunda linha mostra os parâmetros para o segundo ciclo de operação de 1080 minutos e B) imagem de uma das telas onde é possível escolher a porcentagem de incidência de cada tipo de lâmpada (UVA e UVB) dentro de um ciclo (80%).



Fonte: acervo do autor.

Após a programação do equipamento para as condições desejadas, as amostras devidamente identificadas foram inseridas no interior da câmera climática para o início do ensaio (Fig.30) e, após o final dos dois ciclos, foram novamente submetidas ao ensaio de refletância.

Figura 30: Amostras devidamente identificadas e inseridas no interior da câmera climática.



Fonte: acervo do autor.

3.3 PROJETO DE JOIAS

Visando a aplicação do material compósito elaborado, o projeto de joias foi realizado com o estudo do desenvolvimento de estilo por meio de painéis visuais, geração de alternativas e modelagem tridimensional.

3.3.1 Desenvolvimento de estilo

Para realizar essa etapa do projeto de joias fez-se necessária a escolha de um conceito na elaboração de peças capazes de explorar o universo de criação de uma identidade nacional e anacrônica para as peças, pois nesse caso, não cabe nenhuma pesquisa de tendência. Além disso, foram elaborados painéis de estilo visual citados na metodologia de Mike Baxter (2000, p.190), conforme a descrição:

- Painel do estilo de vida: traça uma imagem do estilo de vida dos possíveis consumidores de um produto, expressando seus valores pessoais e sociais. Aqui também é possível retratar com imagens outros produtos utilizados pela faixa de consumidor alvo do projeto.

- Painel da expressão do produto: representa a emoção que o produto deve transmitir ao primeiro olhar e é reflexo da leitura que se pode fazer do primeiro painel, sendo aqui definido como estilo do produto.

- Painel do tema visual: apresenta imagens com produtos que tenham o mesmo estilo visual pretendido pelo produto a ser gerado.

3.3.2 Geração de alternativas

A geração de alternativas foi elaborada a partir dos painéis de estilo visual do produto. As imagens dessa etapa da metodologia foram realizadas em técnica de desenho livre feitos a lápis e posteriormente digitalizadas para adicionar ao corpo do trabalho.

3.3.3 Modelagem tridimensional

A modelagem tridimensional da peça selecionada foi realizada no *software Rhinoceros® 4.0*, Desenvolvido pela *Robert McNeel & Associates*, visando obter o desenho técnico da joia escolhida. Este programa é bastante utilizado por profissionais que optam por elaborar desenhos de projetos de forma orgânica, pois possui uma interface amigável e é considerado simples quando comparado com

outros programas paramétricos. Possui a maior diversidade de funcionalidade e comandos que os concorrentes, além de diversidade de formatos possíveis de conversão (ROBERT MCNELL E ASSOCIATES, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente capítulo serão apresentados os dados e discutidos os resultados quanto à aplicação das tecnologias utilizadas na elaboração e aplicação do material compósito produzido.

4.1 SELEÇÃO DE MATERIAIS

A seleção de materiais para a elaboração do compósito partiu da definição do efeito aventurina. Para que pudesse ser realizada uma simulação desse efeito, fez-se necessária uma caracterização inicial de amostras de materiais que apresentam esse efeito visual. Após a determinação das características necessárias para tornar possível a simulação desse efeito, a matriz e a fase dispersa foram escolhidas e devidamente caracterizadas. Posteriormente, esta caracterização inicial serviu de base para a determinação dos melhores métodos e configuração padrão das amostras do compósito.

4.1.1 Caracterização inicial

Os materiais caracterizados são os utilizados como referência no estudo da aventurinização: o “feldspato aventurina” (pedra do sol) e o “vidro aventurina”, uma imitação da pedra do sol. Existe também o “quartzo aventurina”, mas este é mais raro de ser encontrado no comércio de gemas. A escolha do “feldspato aventurina” para caracterização em vez do “quartzo aventurina”, é porque, além do primeiro ser mais comum no comércio, boas amostras brutas e lapidadas desse material gemológico pertencentes ao acervo do Labogem/UFRGS foram disponibilizadas para esta pesquisa.

Feldspato aventurina

O efeito aventurina em feldspatos não é um fenômeno comum e essa é uma das razões para que a “pedra do sol” seja considerada uma gema incomum e possa alcançar valores altos no mercado.

As amostras do acervo do Labogem/UFRGS, utilizadas como base nesta pesquisa (Fig.15A), foram adquiridas no comércio de Soledade e, infelizmente, os comerciantes não sabem qual a sua procedência. Para uma melhor caracterização

desse material, foi realizada uma análise microscópica e, como a confecção de uma lâmina delgada é um processo destrutivo, esta foi confeccionada em uma amostra de qualidade inferior e, por isso, a concentração das lamelas de hematita, identificada como o mineral que causa o efeito aventurina nessas amostras, é bem menor do que a amostra da Figura 15A (item 2.3.7), onde o efeito aventurina é intenso.

A análise microscópica indicou que a amostra examinada é constituída por um agregado de cristais do grupo dos feldspatos, da série dos plagioclásios (Fig.27), identificados por sua morfologia, clivagem, cor de interferência em diferentes tons de cinza e pela presença de geminação lamelar¹, segundo características descritas em Kerr (1977).

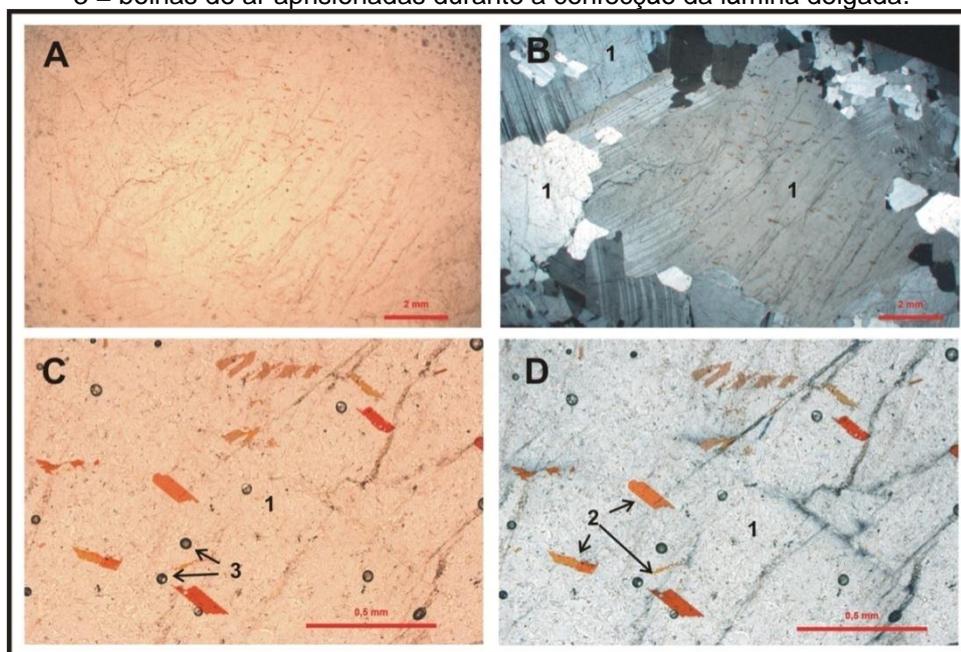
Os plagioclásios são minerais formadores de rochas comuns e constituem uma série de composição química geral $(\text{Na,Ca})\text{Al}(\text{Al,Si})\text{Si}_2\text{O}_8$, onde o Na é substituído gradativamente pelo Ca, gerando diferentes espécies minerais. A albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) é o termo mais sódico, enquanto que a anortita ($\text{CaAlSi}_3\text{O}_8$) é o termo mais cálcio, ocorrendo como espécies de composição intermediária, oligoclásio, andesina, labradorita e bitownita, com o teor de Na diminuindo e o de Ca aumentando do oligoclásio em direção à bitownita. Essas espécies minerais ocorrem em diferentes rochas, de acordo com diferentes condições de pressão e temperatura em que elas se formam (KLEIN e DUTROW, 2008).

O fato da amostra analisada ser constituída de um agregado de cristais de plagioclásio, indica que na verdade ela é uma rocha e não um cristal único de feldspato, como normalmente tratado no comércio. Embora a identificação mais precisa da composição do plagioclásio seja por análise química, características ópticas descritas em Kerr (1977), indicam que os cristais tem uma composição mais sódica, entre oligoclásio e andesina.

1 Geminação (ou macla) é o crescimento orientado de dois ou mais cristais de mesma espécie mineral, segundo determinadas leis cristalográficas. As geminações podem ser simples (dois cristais) ou múltiplas (vários cristais) e neste caso, a mais comum é a geminação lamelar dos plagioclásios, identificada no microscópio petrográfico pela alternância de lamelas com cores de interferência em diferentes tons de cinza, até preto.

Na Figura 31, observa-se que no cristal mais centralizado na imagem, ocorrem inclusões de cristais lamelares, de contorno poliédrico, translúcidos e de cor avermelhada e com uma orientação sub-paralela, identificados, segundo características descritas em Craig & Vaughan (1994), como hematita translúcida. São essas inclusões que geram o efeito aventurina nessa rocha.

Figura 31: Fotomicrografias da amostra de “feldspato aventurina”, obtidas ao microscópio petrográfico. Em A (LN= Luz natural) e B (LP= Luz polarizada), observa-se uma visão geral da amostra, indicando ser constituída por vários cristais de plagioclásio, com diferentes tamanhos, identificados pela presença da geminação lamelar (B). No cristal mais ao centro, observam-se minúsculas inclusões lamelares de hematita avermelhada e translúcida, com um detalhe maior em C (LN) e D (LP). 1= exemplos de cristais de plagioclásio; 2 = exemplo de cristais lamelares de hematita; 3 = bolhas de ar aprisionadas durante a confecção da lâmina delgada.



Fonte: acervo do autor.

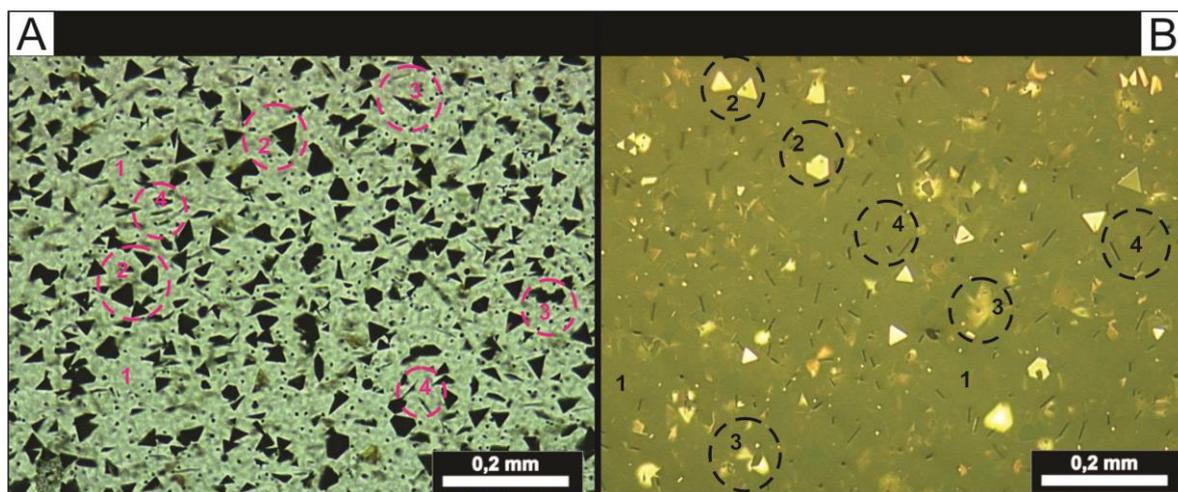
Imitação da pedra do sol

O fenômeno aventurina pode ocorrer em algumas gemas naturais e é também reproduzido em imitações com a utilização de materiais alternativos, como o vidro e óxidos metálicos. Um exemplo comum encontrado no mercado, é a imitação da pedra do sol feita de vidro com inclusões de limalha de cobre (Fig.32B).

Lâminas delgadas desse material foram analisadas ao microscópio metalográfico de luz refletida e ao microscópio petrográfico de luz transmitida (Fig.32). Observou-se que em meio à massa vítrea ocorrem inclusões metálicas, distribuídas de forma regular e com diferentes orientações em relação à superfície da lâmina. Quando observadas sob luz transmitida (Fig.32A), as inclusões lamelares

aparecem pretas, pois são constituídas de uma liga metálica opaca, exibindo formatos poliédricos (quando paralelas à superfície da lâmina), formatos irregulares (quando inclinadas em relação à superfície da lâmina) ou como linhas pretas (quando perpendiculares à superfície da lâmina). Essas inclusões metálicas observadas sob luz refletida (Fig.32B), quando paralelas à superfície da lâmina delgada aparecem como lamelas poliédricas, exibem um alto poder refletor e cor amarela, características de metais contendo cobre. Observa-se que essas lamelas quando estão inclinadas em relação à superfície da lâmina exibem formatos irregulares, menor brilho e diferentes tons de amarelo e quando perpendiculares à superfície da lâmina, aparecem como finas linhas pretas.

Figura 32: Fotomicrografias de lâminas delgadas da imitação da pedra do sol vistas ao: A) microscópio petrográfico (luz transmitida) e B) ao microscópio metalográfico (luz refletida). Sendo 1 = massa vítrea; 2 = placas metálicas poliédricas dispostas paralelamente à lâmina; 3 = placas metálicas oblíquas à superfície da lâmina e 4 = placas metálicas perpendiculares à lâmina. As inclusões tem brilho metálico e são amarelas sob luz refletida e cor preta sob luz transmitida, pois são opacas.



Fonte: acervo do autor.

4.1.2 Seleção da matriz e da fase dispersa

A escolha dos materiais baseou-se nas propriedades requeridas para que estes fossem capazes de simular o efeito óptico aventurina. Sabe-se que a imitação da pedra do sol é confeccionada em vidro com inclusões de limalha de ferro ou de cobre, e a pedra do sol natural (feldspato aventurina) possui inclusões de lamelas translúcidas de hematita (Fe_2O). Portanto, a caracterização destes materiais auxiliou na seleção baseada em suas propriedades ópticas.

os diversos tipos de materiais, o poliéster, que aparece como uma opção de um material com índice de refração próximo ao do vidro ($n= 1,54$) e que é, assim como o vidro, transparente.

A resina poliéster é utilizada em vários segmentos de mercado, já que possui um fácil manuseio e um custo relativamente baixo (GRISON, 1987). Assim, o poliéster foi o polímero escolhido para fazer o papel de matriz no material compósito, não só pelas suas propriedades ópticas, mas também porque possui um baixo custo quando comparado aos materiais apresentados na região "Qualidade Óptica" (Fig. 33) e também apresenta um processamento mais simples.

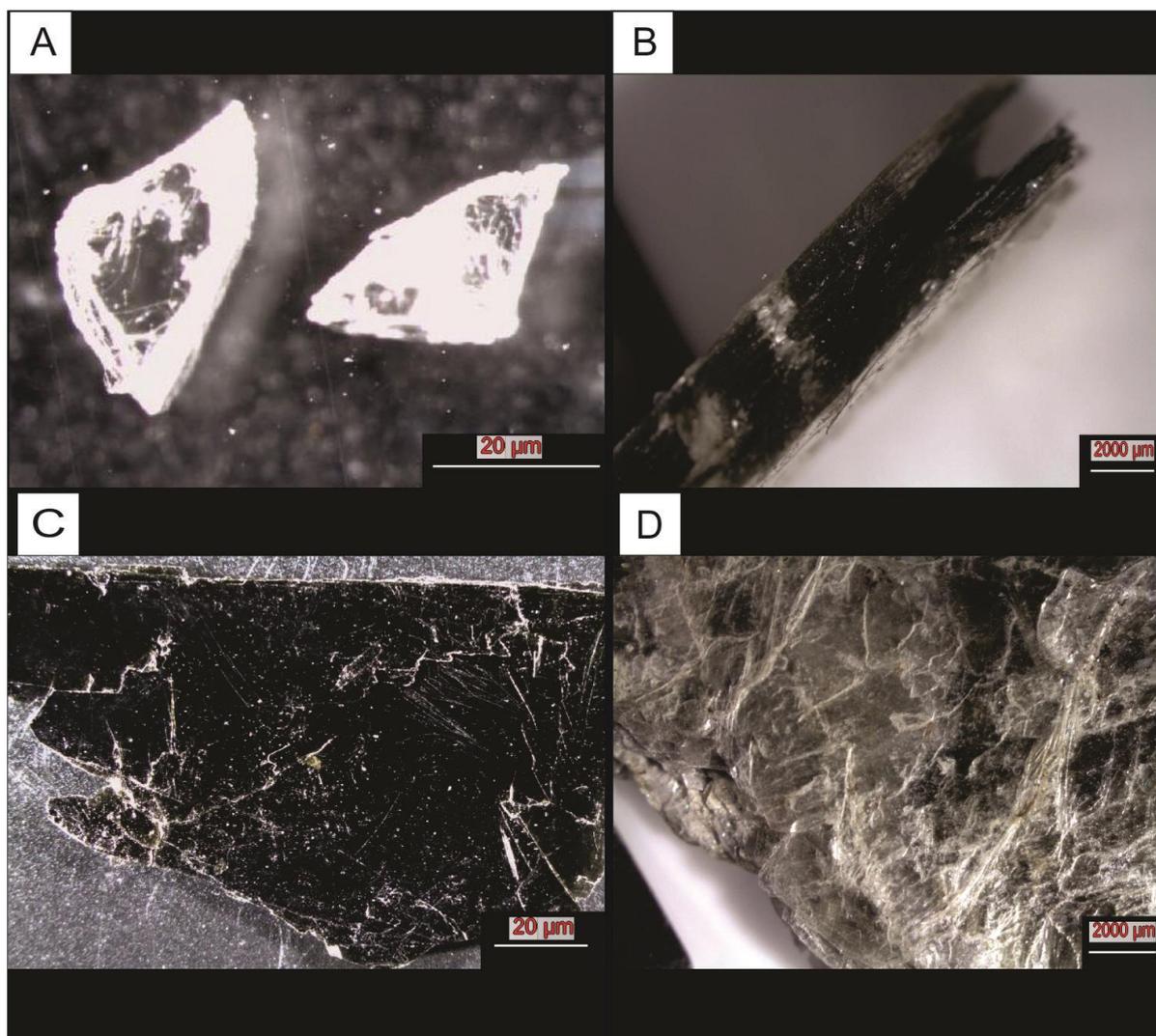
A matriz polimérica utilizada neste trabalho é à base de resina termofixa (insaturada), denominada resina poliéster ortoftálica, cujas especificações técnicas estão descritas no Anexo B. Além disso, a seleção deste material ocorreu pela variedade possível de se obter nas formas a serem fabricadas e a possibilidade de variação das propriedades ópticas com relação à transmissão de luz.

De acordo com os requisitos de seleção de materiais, a fase dispersa a ser utilizada neste compósito, deve ter baixo custo e tem que ser um material abundante e natural. Os materiais escolhidos para inclusões nos compósitos são minerais pertencentes ao grupo das micas e que podem estar presentes em gemas naturais que apresentam o efeito aventurina. As micas são materiais abundantes na natureza e, para a confecção das amostras foram utilizados dois tipos de micas distintos: biotita e muscovita.

4.1.3 Caracterização dos minerais selecionados

Por meio da análise realizada no microscópio petrográfico e metalográfico com a imitação da pedra do sol e no feldspato aventurina, foi possível determinar a disposição das partículas de segunda fase do material e iniciar a próxima etapa, onde foi possível estimar o tamanho dos grãos minerais que seriam utilizados, bem como observar a sua estrutura lamelar e superfície plana (Fig.34).

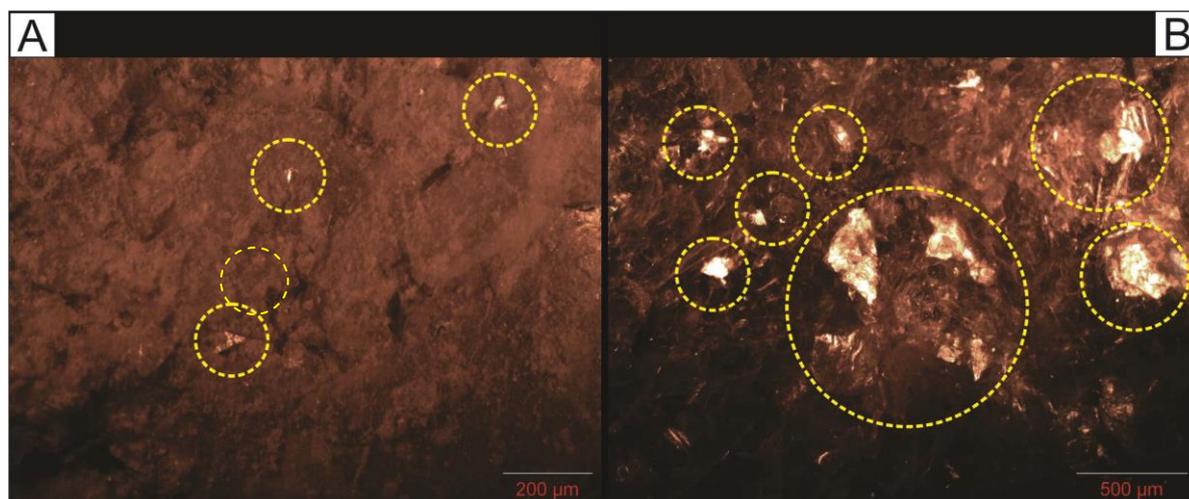
Figura 34: Análise na lupa estereoscópica: A) tamanho aproximado de grão fragmentado, B) estrutura lamelar do mineral, C) superfície plana da biotita e D) superfície plana da muscovita.



Fonte: coleção do autor.

As partículas iniciais, somente fragmentadas, (Fig.35B) quando submetidas à maceração no almofariz e pistilo apresentaram pouca ou nenhuma reflexão observada na lupa estereoscópica (Fig.35A), efeito também visível à olho nu. Estima-se que, ao realizar esse processo de macerar grãos planos (Fig.38A), a reflexão tenha se tornado mais difusa do que especular, por acabar conferindo uma característica irregular à superfície. Optou-se, portanto, pela fragmentação da mica sem maceração.

Figura 35: Imagem obtida na lupa estereoscópica da muscovita fragmentada indicando as regiões de maior reflexão: A) Muscovita mascarada após fragmentação e B) Muscovita apenas fragmentada.



Fonte: coleção do autor.

4.1.4 Preparação das amostras do compósito

A confecção das primeiras amostras de compósito gerou uma família de amostras decisivas para o andamento do restante do trabalho. Para isso, diferentes configurações e disposições foram testadas até chegar a uma padronização que serviria de base para o desenvolvimento de todo o restante do trabalho. Primeiramente realizou-se uma análise da superfície dos minerais e dos fragmentos obtidos na fragmentação deles.

Conforme Grison (1987, p.80) os moldes para confecção de peças em poliéster podem ser confeccionados em diversos materiais. A escolha do material de confecção do molde vai depender da durabilidade que adquire maior ou menor importância em função do número de peças a serem produzidos. A princípio, os moldes podem ser de metal, madeira, pedra, cimento, gesso, areia, argilas e polímeros. Para qualquer tipo de molde (com exceção de moldes em polietileno, polipropileno ou vidro liso) é necessário utilizar um desmoldante a fim de facilitar a retirada da peça de dentro dele.

Para este trabalho, devido à questões de praticidade e padronização necessária do molde, bem como à qualidade estética das peças, optou-se por utilizar fôrmas confeccionadas em acetato, que podem ser adquiridas em diversos formatos e possuem uma superfície plana. Com a utilização de um desmoldante em cera, foi possível remover com facilidade as amostras obtidas.

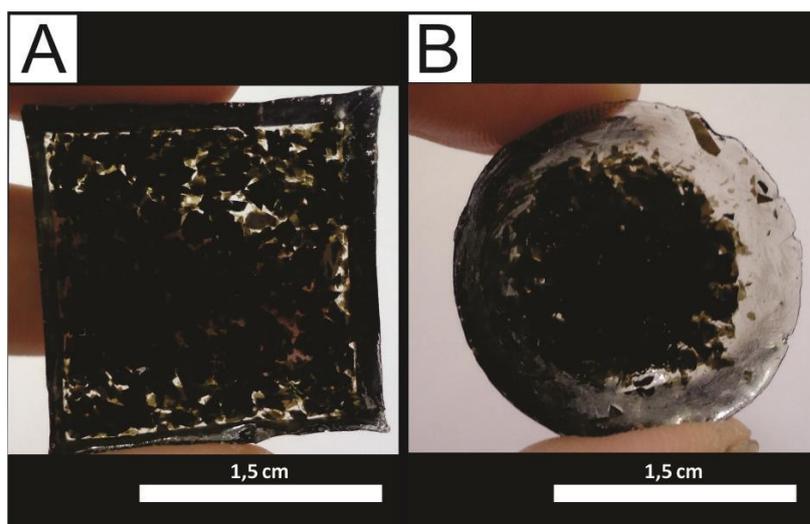
Uma análise com as primeiras amostras obtidas será descrita a seguir, para avaliar a qualidade visual de refletância das diferentes configurações de amostra:

Amostras com biotita

Todas as amostras confeccionadas com a biotita (mineral com índice de refração na faixa entre 1,56 – 1,69) conferem baixa ou nenhuma reflexão quando adicionadas à matriz de resina poliéster (índice de refração 1,54).

Na tentativa de variar os planos de inclinação das partículas minerais, uma amostra foi confeccionada em formato circular esperando-se obter uma reflexão maior, porém o resultado deste processo foi o mesmo obtido nas outras amostras (Fig.36A e 36B).

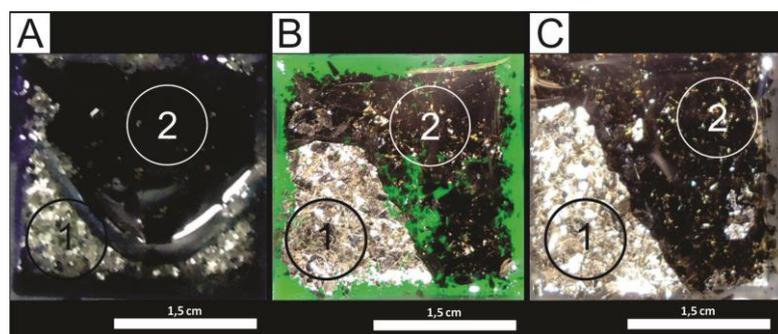
Figura 36: Amostras de compósito com biotita observadas a olho nu: A) compósito de biotita elaborado por simples agitação e B) compósito de biotita para teste de variação dos planos em formato circular.



Fonte: autor.

É importante ressaltar que a biotita não mantém as suas propriedades ópticas de alta refletância na elaboração do compósito em questão, ilustrado na Figura 38. Nesta figura, ela aparece na porção das amostras em que não foi coberta por resina poliéster ortoóptica, refletindo a luz, e na porção das amostras em que foi coberta apresenta-se opaca, independente do meio em que foi agregada - meio opaco em azul (Fig.37A), meio translúcido em verde (Fig.37B) e meio transparente incolor (Fig.37C). No entanto, tais constatações não excluem a possibilidade de sua aplicação para outros fins decorativos.

Figura 37: Interferência na refletância da biotita quando agregada ao filme de poliéster em diferentes meios: mostrando a porção de biotita sem o filme (1) e submersa na resina (2): A) em fundo opaco azul, B) em fundo translúcido verde e C) em fundo transparente incolor.

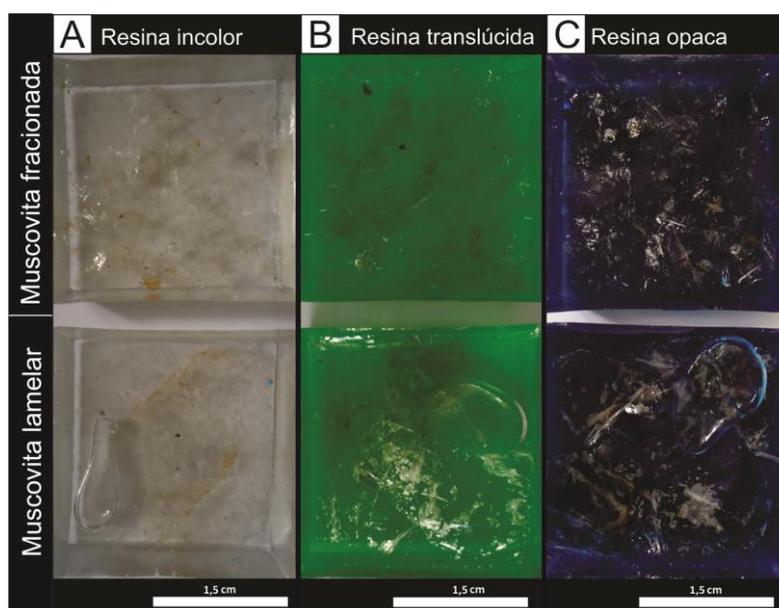


Fonte: acervo do autor.

Amostras com muscovita

As amostras com muscovita apresentaram resultados diversos, principalmente no que diz respeito à natureza de transmissão da luz dos meios utilizados. Tais resultados podem ser observados na Figura 38, que mostra que todas as amostras mantiveram a propriedade de reflexão nos meios mineral/filme e poliéster/ar, tanto nas amostras em meio transparente incolor, em meio translúcido verde e em meio opaco azul, mesmo que seja observada uma redução na reflexão quando comparada com o meio mineral/ar. No alto da Figura 38 temos as amostras fracionadas e na porção inferior temos as amostras lamelares.

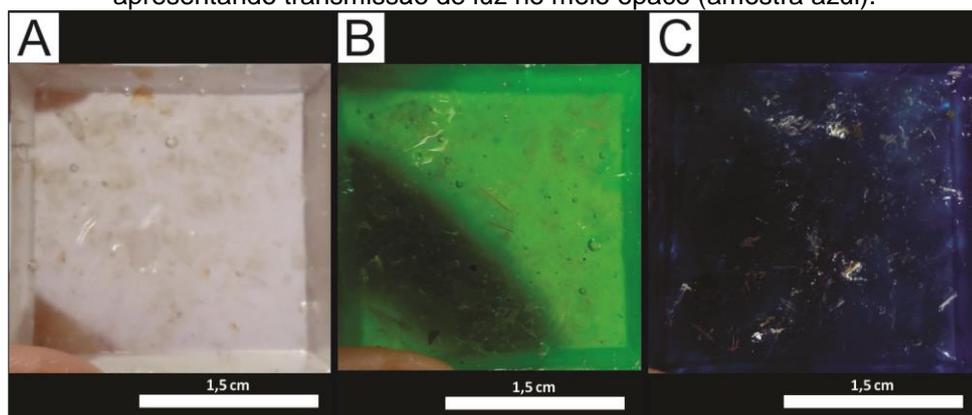
Figura 38: Amostras de compósito com muscovita, fracionadas e lamelares: A) muscovita fracionada x lamelar em meio transparente (incolor), B) muscovita fracionada x lamelar em meio translúcido (verde) e C) muscovita fracionada x lamelar em meio opaco (azul).



Fonte: acervo do autor.

De acordo com a Figura 39 é possível analisar as propriedades relativas à transparência, translucidez e opacidade obtidas com a utilização de pigmentos específicos para resina poliéster, escolhidos justamente por conferirem esta aparência transparente, translúcida e opaca às amostras.

Figura 39: Amostras de compósito com muscovita: A) muscovita fracionada apresentando boa transmissão de luz e transparência (amostra incolor), B) muscovita fracionada apresentando baixa transmissão de luz e translucidez (amostra verde) e C) muscovita fracionada opaca, não apresentando transmissão de luz no meio opaco (amostra azul).



Fonte: acervo do autor.

O material translúcido (Fig.39B) assumiu característica difusa, que segundo Shackelford (2008, p.376) "pode ser obtida pela adição de partículas de segunda fase ou poros na composição do material". Da mesma forma que os materiais translúcidos, os opacos são produzidos pela adição de partículas de segunda fase e poros em tamanho e concentração médios, bem como de uma relação entre os índices de refração da matriz e destas partículas dispersas. Tal característica se deve ao fato de ocorrer dispersão da luz, fenômeno responsável pelo espalhamento da luz dentro do material, em partículas de segunda fase formadas pela adição de corante em pó ou surgimento de poros.

Conforme as etapas do trabalho foram sendo concluídas, novas informações serviram de base para nortear o andamento dos experimentos e resoluções de problemas. Tais informações favoreceram o entendimento do trabalho e algumas reflexões a cerca do material desenvolvido, como:

- A biotita reflete mais que a muscovita ao natural por ter maior IR;
- As amostras lamelares refletem mais no compósito, pois a superfície plana e única, formada pela lamela, favorece a reflexão especular;

- A caracterização física e óptica foi decisiva para conhecer a estrutura do mineral e assim, optar pelo procedimento de fragmentação mais adequado; e
- Por ter estrutura lamelar maleável e flexível, as amostras das micas são facilmente cortadas.

Após a análise das primeiras amostras, a preparação do processo de confecção das amostras iniciou pela escolha do mineral a ser inserido como carga dispersa na matriz de poliéster. Devido à melhor refletância das amostras que continham muscovita dispostas em lâminas, essa foi a configuração adotada como padrão a ser reproduzido.

4.2 ENSAIOS

Os ensaios realizados no decorrer desta pesquisa foram realizados com ajuda de profissionais de áreas diversas, partindo da geologia, percorrendo o campo da física e engenharia de materiais até o design. Segundo Krucken (2008, p.24), essa abordagem no âmbito da pesquisa não disciplinar e não hierarquizada de diferentes campos do saber, assume caráter transversal e é uma das competências para o design na sociedade contemporânea. Sendo assim, a pesquisa metaboliza diferentes saberes, promovendo linguagens e conteúdos inovativos.

4.2.1 Ensaio de refletância

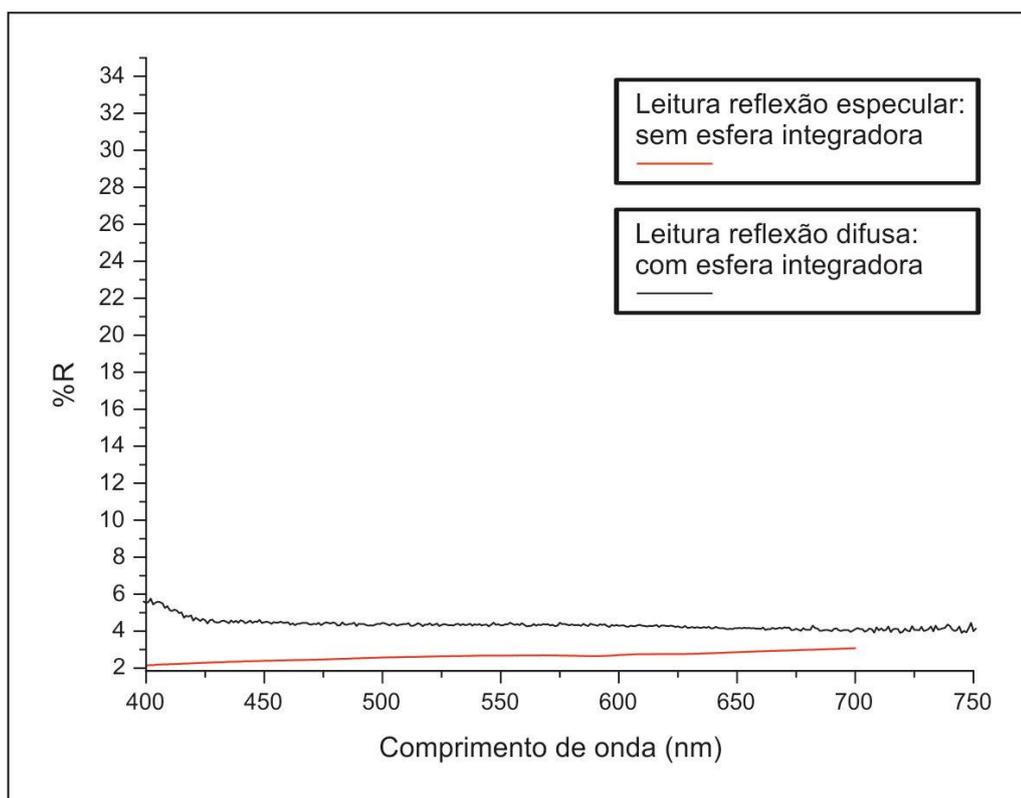
Conforme Larena e Villar (2001, p. 437), muitos estudos foram realizados a cerca da viscosidade e das propriedades mecânicas de polímeros (polietileno, polipropileno, poliestireno) e de outros polímeros preenchidos com carbonato de cálcio, fibra de vidro, mica, talco. No entanto, as propriedades ópticas dos polímeros preenchidos com carga não tem sido analisadas com a mesma frequência.

Para este trabalho, o ensaio de refletância foi determinante para averiguar se a presença ou não de mica na matriz de poliéster é capaz de reproduzir o efeito aventurina proposto por este estudo. Três variáveis importantes foram avaliadas a partir desse teste:

- Quais cores de matriz conferem maior refletância às amostras analisadas;
- Qual é o local ideal para posicionar a mica dentro do compósito; e
- Qual é o efeito do ensaio de envelhecimento na refletância do material.

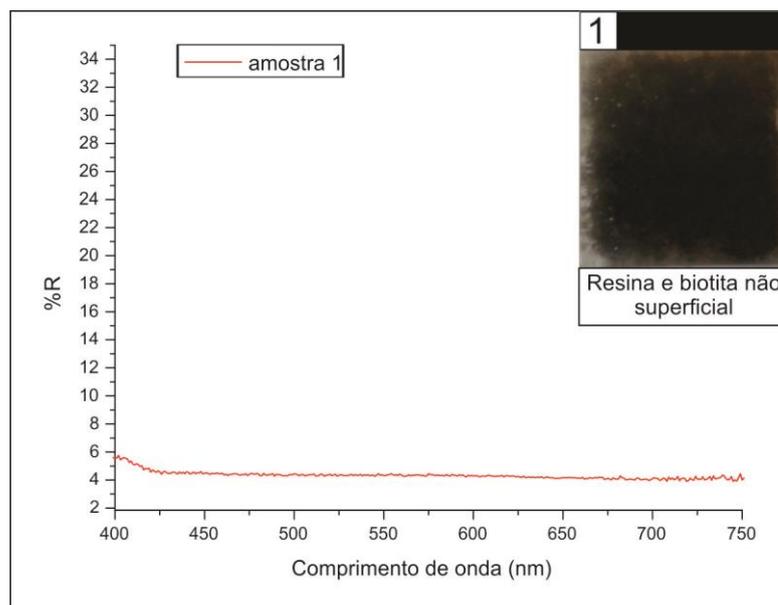
O gráfico obtido com o ensaio de refletância indica a porcentagem de refletância ("%R") por comprimento de onda (em nm), é mostrado na Figura 40. Como pode-se observar nessa figura, as medidas de porcentagem de refletância são muito baixas em comprimentos de onda visíveis, atingindo seu pico entre 2,25 e 2,30% de refletância. Isso ocorre porque o espectrofotômetro *Cary 7000* mede, preferencialmente, a reflexão especular, sendo ideal para superfícies perfeitamente planas. Devido à essa análise preliminar, fez-se necessária a utilização da esfera integradora a fim de aferir as medidas de reflexão difusa e obter uma leitura mais precisa.

Figura 40: Gráfico de porcentagem de refletância (R%) em função do comprimento de onda (nm), em uma leitura preliminar sem o uso da esfera integradora (linha vermelha) e com o uso da esfera integradora (linha preta)



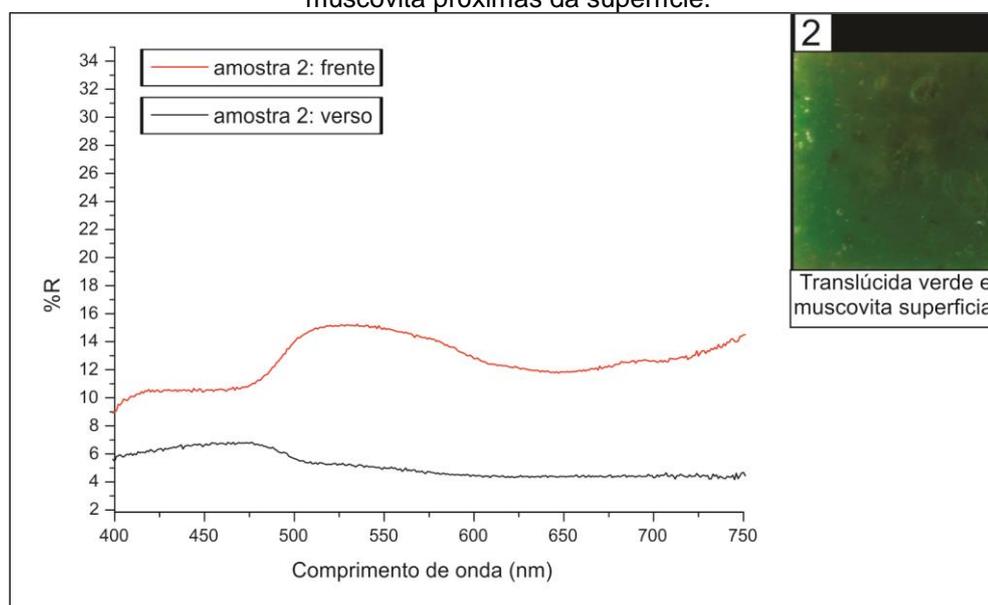
A leitura da amostra 1, meio transparente com biotita (Fig.41), indica uma porcentagem maior de refletância do que a leitura realizada sem a esfera integradora analisada anteriormente. Dentro dos comprimentos de onda visíveis (entre 400nm e 750nm), o pico de refletância máxima ocorre entre 5,5% e 6%.

Figura 41: Gráfico de porcentagem de refletância em função do comprimento de onda (nm): leitura da amostra 1 no espectrofotômetro.



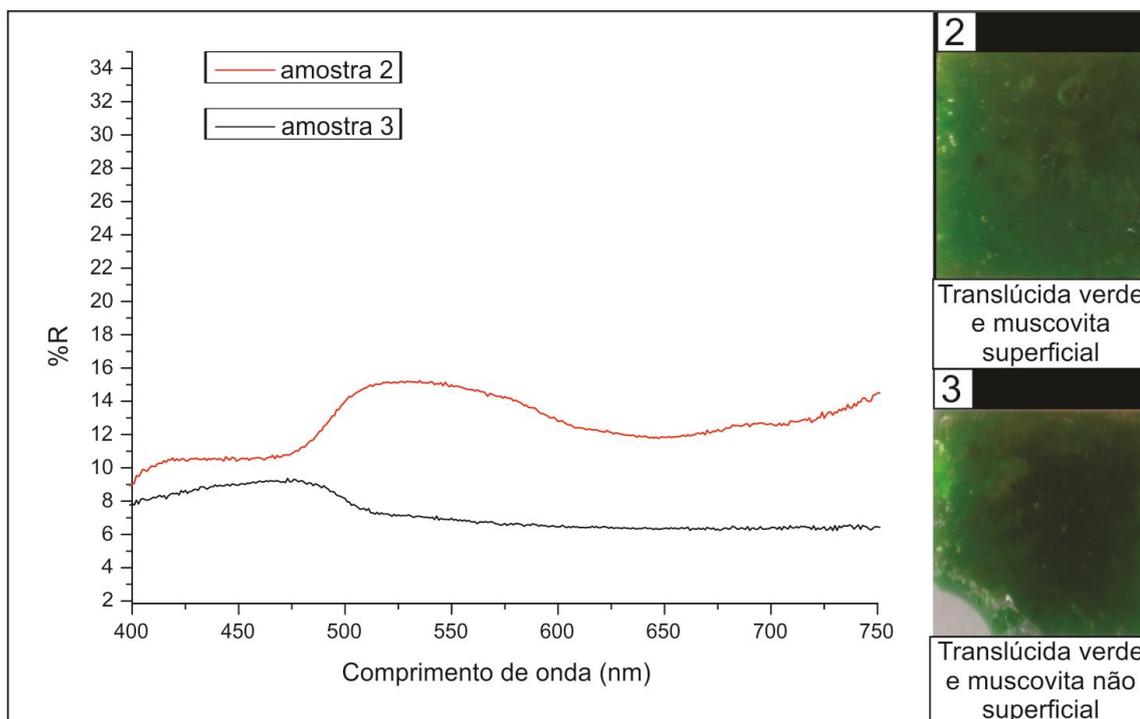
Por meio dos gráficos apresentados na Figura 42 é possível observar um aumento considerável na porcentagem de refletância aferida dentro do comprimento de onda visível em uma amostra translúcida com muscovita superficial. A porcentagem de refletância da parte da frente da amostra, onde as lâminas minerais são visíveis, indica um pico de mais de 15%, sendo que a região da amostra onde a muscovita não é visível apresenta um pico de refletância de aproximadamente 6,7%.

Figura 42: Gráficos indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda em diferentes regiões da amostra (frente, linha vermelha; verso, linha preta) que contém lamelas de muscovita próximas da superfície.



Tais valores demonstram que a refletância do mineral confere maior brilho à amostra do que a matriz translúcida verde e, além disso, o pico mais alto deve-se à proximidade das lâminas de muscovita na superfície da amostra, comparação que fica evidente ao analisar o próximo gráfico, onde as lamelas de muscovita estão mais distantes da superfície (Fig. 43):

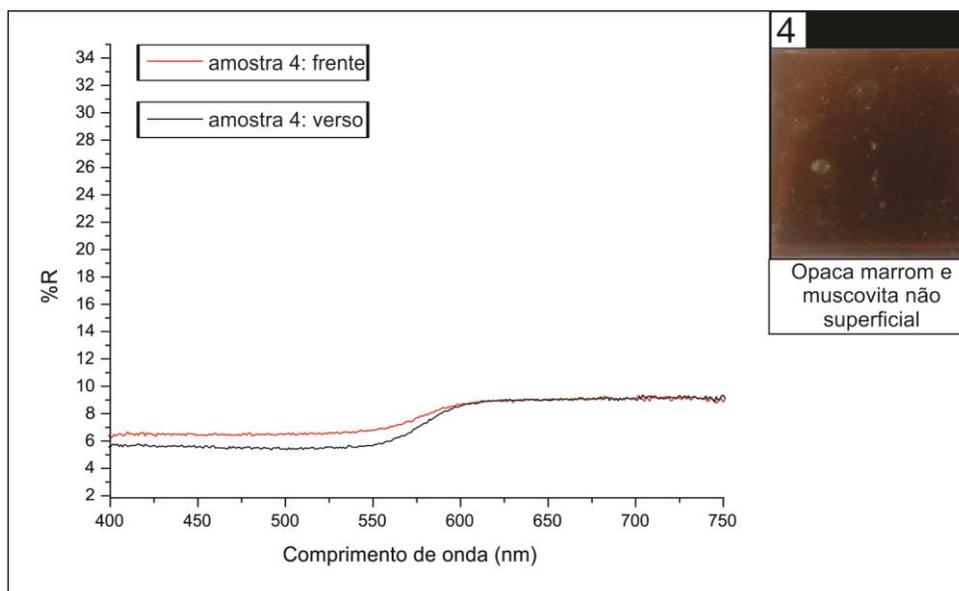
Figura 43: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda em amostra translúcida com muscovita próxima da superfície (amostra 2, linha vermelha) e afastada da superfície (amostra 3, linha preta).



Na amostra 3, o pico de refletância dentro dos comprimentos de onda visíveis chega a quase 9,5%, bem mais baixo que o pico da amostra 2, que contém a muscovita superficial e ultrapassa 15%.

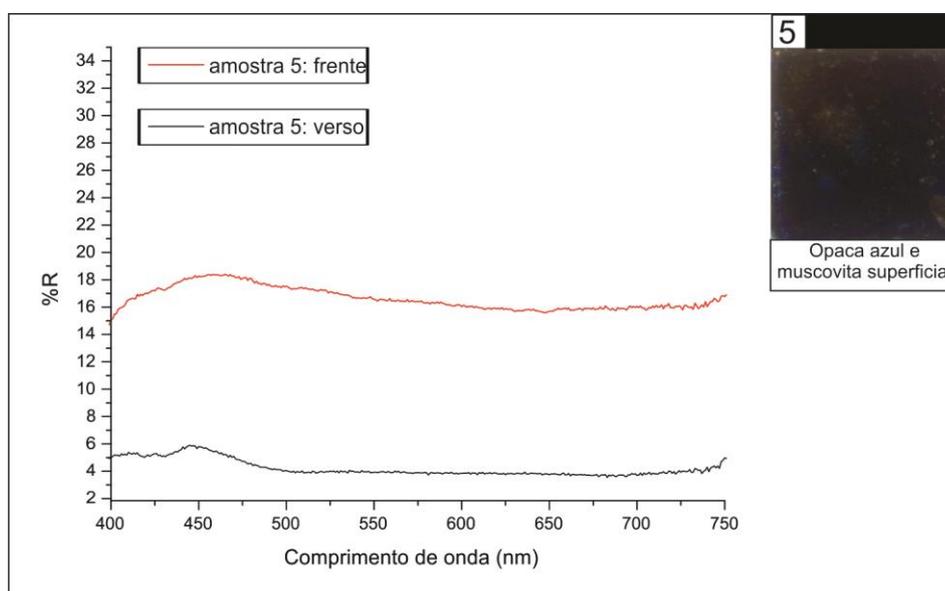
Na amostra 4, meio marrom com muscovita não superficial (Fig.44), pode-se notar que não há muita diferença de porcentagem de refletância entre a frente e o verso da amostra. Mesmo assim, dentro dos comprimentos de onda visíveis, há um pequeno aumento na porcentagem da frente da amostra, indicando pouca variação na refletância pela presença das lamelas de muscovita.

Figura 44: Gráficos indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda em amostra opaca de cor marrom em diferentes regiões (frente, linha vermelha e verso, linha preta).



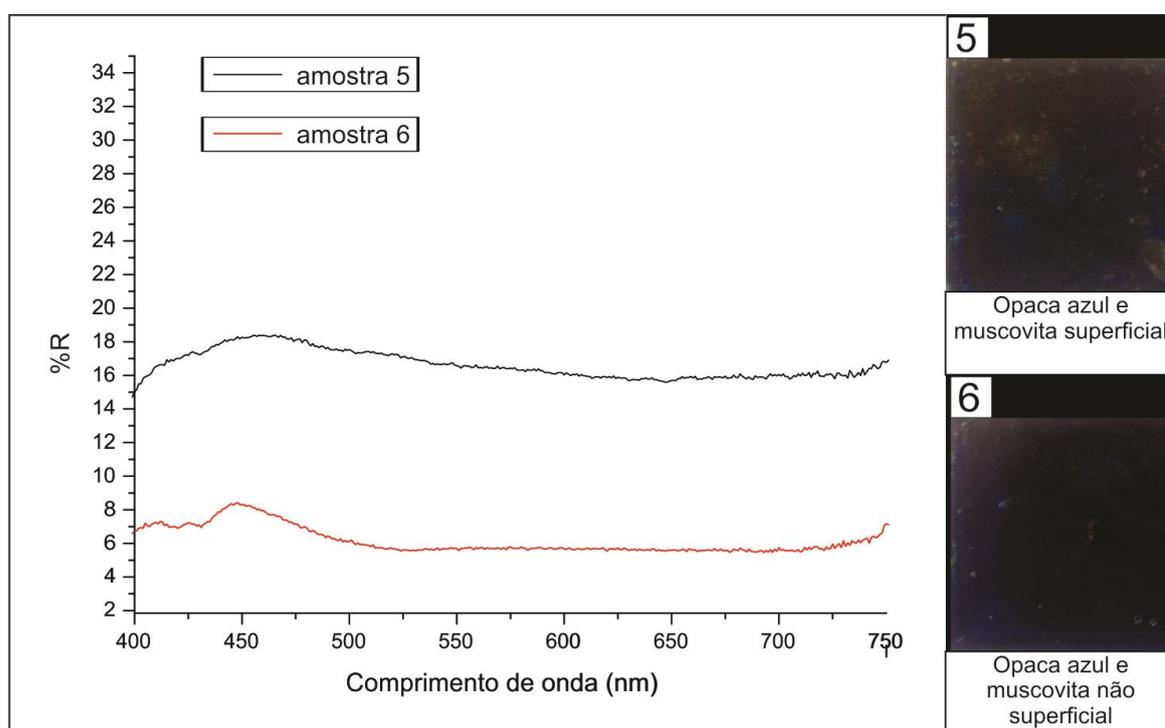
A amostra 5 é azul e opaca e a muscovita está próxima à sua superfície externa. Nessa porção onde está a muscovita, dentro dos comprimentos de ondas visíveis, ocorre uma porcentagem alta de refletância quando comparado aos outros gráficos, como indicado na Figura 45. Sendo assim, é possível deduzir que existe um padrão de refletância maior nas amostras quanto mais superficial estiver a muscovita no interior do material. Com isso, pode-se concluir que quanto mais fina a camada de resina que irá receber as lâminas de muscovita, maior será a sua refletância na superfície.

Figura 45: Gráficos indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda em amostra azul opaca com muscovita próxima da superfície.



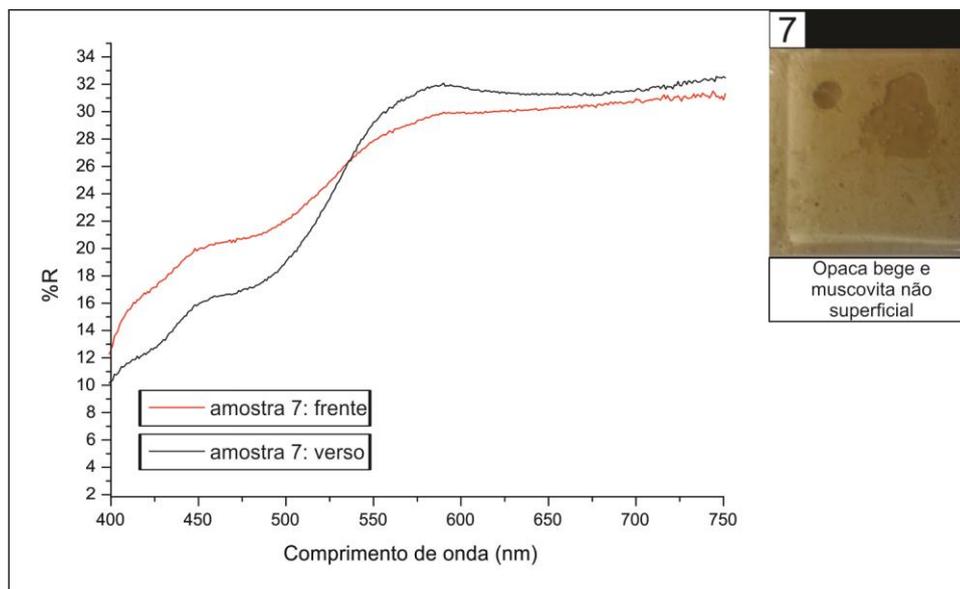
Na Figura 46 é feita uma comparação entre a refletância da amostra 5 (muscovita próxima à superfície) e amostra 6 (com muscovita mais afastada da superfície). Pode-se observar que o auge de refletância da amostra 6, com muscovita mais afastada da superfície, atinge quase 9% de refletância, ao passo que a amostra 5 tem mais de 17% de pico de refletância, por ter sido confeccionada com as lamelas de muscovita mais próximas da superfície.

Figura 46: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda em amostra opaca de cor azul com muscovita próxima da superfície (amostra 5, linha preta) e afastada da superfície (amostra 6, linha vermelha).



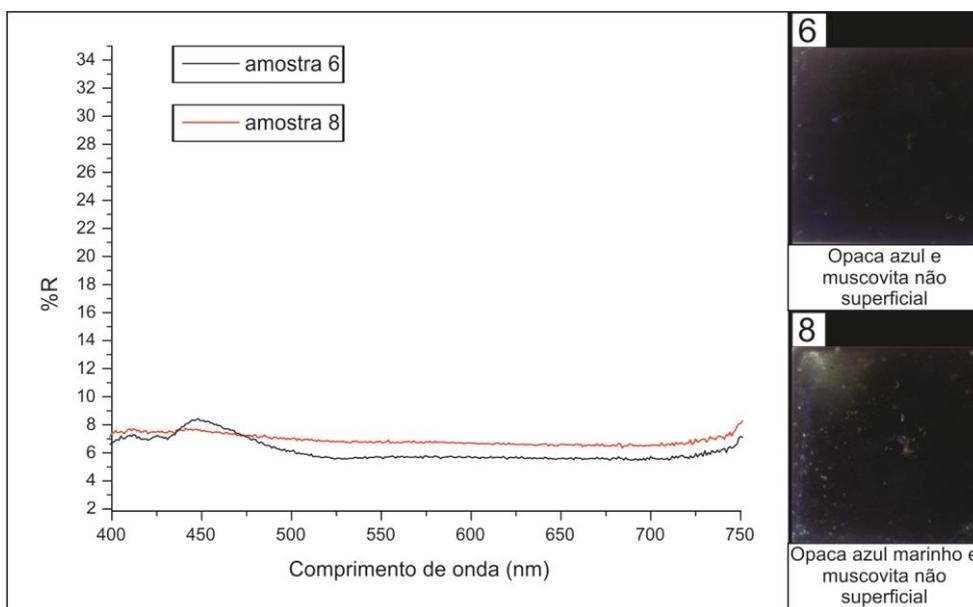
A amostra 7 (Fig.47) é a amostra que atinge os maiores valores de refletância dentro da faixa do visível. Isso ocorre porque ela é confeccionada na cor bege, uma cor clara, cuja reflexão é maior do que a das cores escuras. No entanto, pode-se observar que não houve muita variação na porcentagem de refletância na frente da amostra, onde os fragmentos minerais são mais visíveis, quando comparada com a análise do verso da amostra, pois nesse caso há um baixo contraste entre a cor da muscovita e a cor da matriz utilizada.

Figura 47: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda em amostra opaca de cor bege, com muscovita afastada da superfície aferida em diferentes regiões (frente, linha vermelha; verso, linha preta).



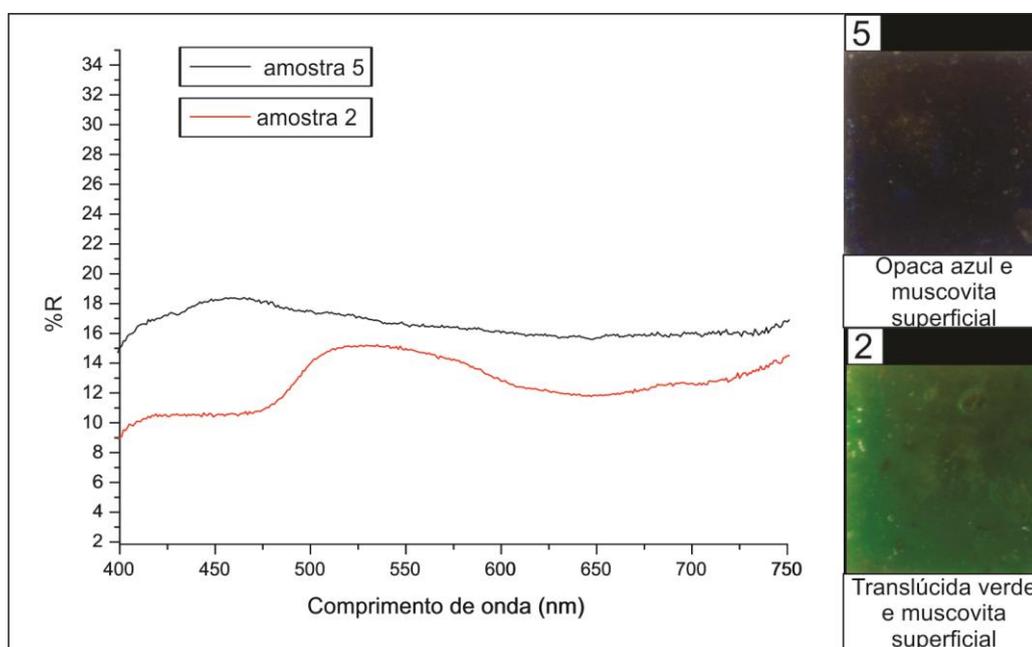
A análise da refletância da amostra 8 (Fig.48) indica que houve uma redução na refletância quando uma matriz muito escura é utilizada (a amostra foi confeccionada com maior porcentagem de pigmento em pasta, obtendo-se uma cor azul marinho), tornando a refletância maior na região do infravermelho, que não é visível pelo olho humano. Mesmo assim, quando comparada à outras medidas, aferidas pelo verso das outras amostras, ela ainda pode ser considerada parcialmente refletora.

Figura 48: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda em amostras opacas com muscovita não superficial (amostra 6, azul, representada pela linha preta, e amostra 8, azul marinho, representada pela linha vermelha).



Entre as amostras com muscovita superficial (amostra 5, azul opaca e amostra 2, verde translúcida), pode-se notar na Figura 49 que a amostra opaca azul acaba refletindo melhor os raios incididos do que a amostra translúcida verde. Diversos fatores podem estar causando esta diferenciação, um dos motivos pode ser o espalhamento dos raios nas partículas de pigmento verde (que é um pigmento em pó) juntamente com uma interferência destrutiva entre os raios incidentes e espalhados, que é um fator redutor de reflexão.

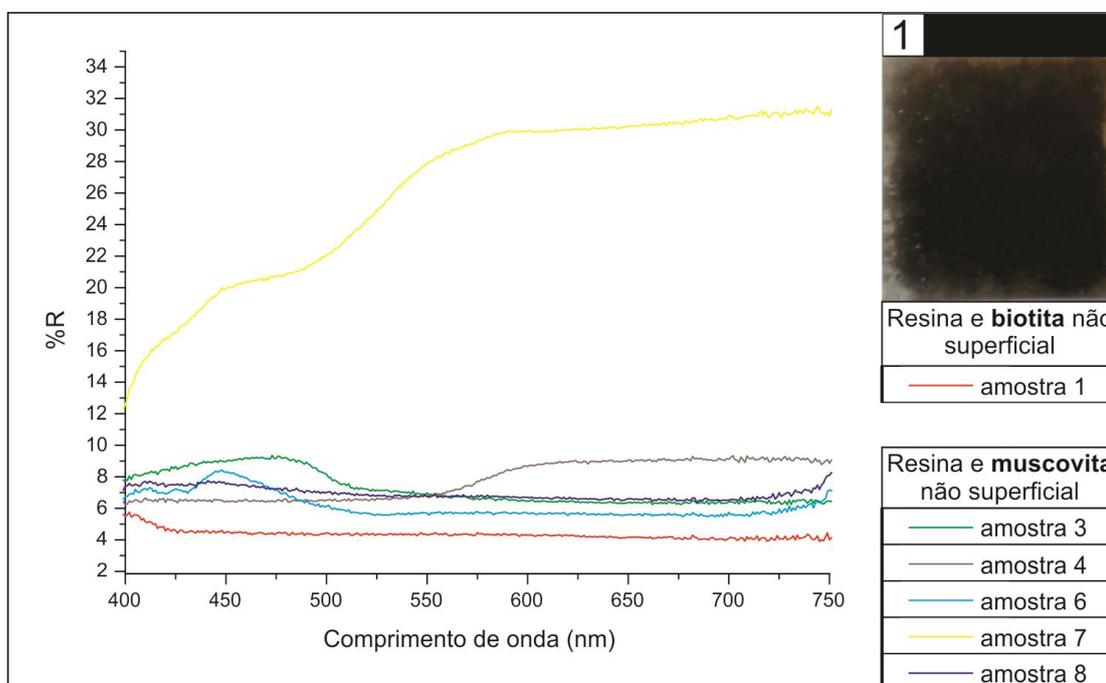
Figura 49: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda em amostras com muscovita superficial (amostra 5, azul opaca, representada pela linha preta, e amostra 2, verde translúcida, representada pela linha vermelha).



Conforme Larena e Villar (2001, p.437), existe uma relação linear entre as propriedades ópticas e filmes finos em compósitos confeccionados com polímero e carga mineral. Em seu estudo, os autores concluíram que a transmitância dos filmes diminui com o aumento do teor de carga. Tal afirmativa sugere que é possível que tal comportamento possa ocorrer também em filmes produzidos em maior escala (mais espessos, como é o caso das amostras analisadas neste trabalho). O pigmento em pó é também uma carga e quanto mais for utilizado em uma amostra, menor seria a capacidade dos raios incidentes atravessarem a amostra e serem captados pela esfera integradora do equipamento de medição da refletância. Além disso, como foi dito antes, dos raios refletidos, alguns podem estar se anulando e gerando uma interferência destrutiva dos raios refletidos.

Já entre as outras amostras com muscovita não superficial (amostra 3, 4, 6, 7 e 8,), pode-se observar um padrão de certa forma uniforme no alcance da porcentagem de refletância (Fig. 50), com exceção da amostra 7, que é bege e refletiu bem mais que as outras amostras. Observando-se a amostra 1 (única de biotita com refletância aferida), representada pela linha vermelha, é possível avaliar como a sua refletância foi baixa.

Figura 50: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda em amostras com muscovita não-superficial (amostra 1, transparente com biotita, representada pela linha vermelha; amostra 3, verde translúcida, com muscovita, representada pela linha verde; amostra 4, opaca marrom, com muscovita, representada pela linha cinza; amostra 6, azul opaca, com muscovita, representada pela linha azul; amostra 8, azul marinho opaca, com muscovita, representada pela linha preta).



Sendo assim, pode-se concluir a partir dos resultados obtidos com os ensaios de refletância que:

- Cores claras de matriz conferem maior refletância às amostras analisadas, não necessariamente sendo causada pela presença de muscovita;

- A refletância da muscovita torna-se mais evidente quando a cor do fundo é contrastante; e

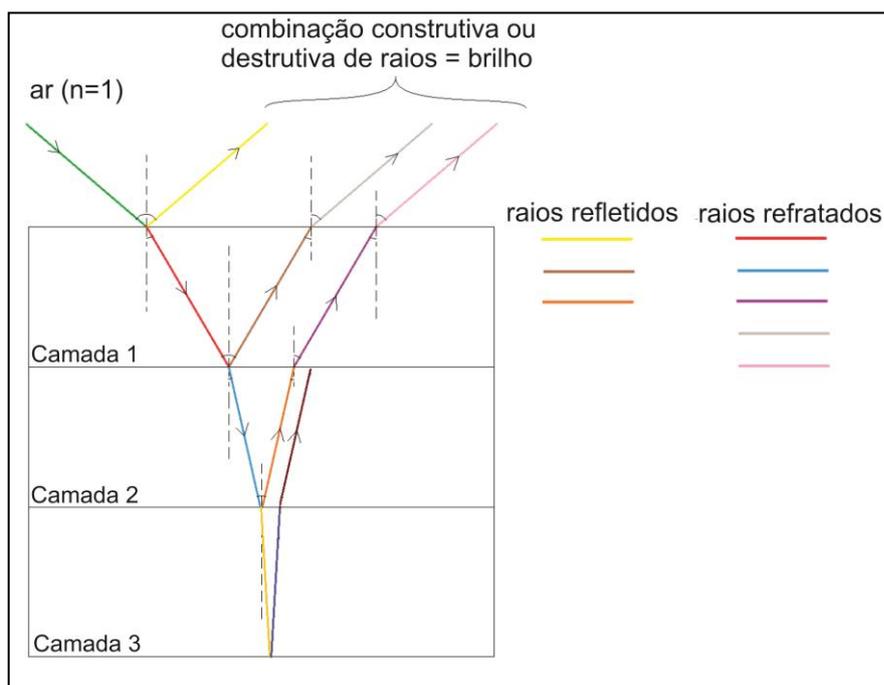
- Quanto mais superficial as lâminas de muscovita, mais ela vai refletir e evidenciar o efeito aventurina em seu interior, por tornar-se mais próximo do que seria um sistema óptico ideal. O sistema óptico ideal pode ser explicado por meio da

óptica geométrica. A Figura 51 é uma representação simplificada do sistema se fosse possível realizá-lo como um filme fino (de micro espessura), induzindo a uma interferência construtiva no material e explica de forma qualitativa os fenômenos ópticos que ocorreriam no material.

O raio incidente está representado pela cor verde. Parte dele é refletido (raio amarelo) com o mesmo ângulo em relação à normal (linha pontilhada) e parte é refratado em uma direção diferente (raio vermelho).

Este raio refratado é novamente refletido e refratado quando encontra a superfície do mineral e assim sucessivamente até encontrar uma superfície onde seja quase totalmente transmitido para fora do compósito (meio transparente) ou absorvido (meio opaco e superfícies escuras).

Figura 51: Representação geométrica do sistema óptico ideal em filme fino, indicando o raio incidente sendo refletido na superfície e refratado no interior do material compósito.



Fonte: acervo do autor.

O raio incidente é emitido com uma quantidade de energia tal que a energia dos raios refletidos, refratados e absorvidos somados, representam a mesma quantidade de energia do raio incidente.

Assim, pode-se deduzir que a distância percorrida pelo raio (largura dos filmes: filme de poliéster/mineral/ar) será um fator determinante também na reflexão deste raio, uma vez que este terá menos energia para percorrer distâncias maiores.

Com isso, é possível afirmar que quanto menor a largura destes filmes, maior é a chance de haver reflexão no final do sistema.

4.2.2 Ensaio de absorção de água

Algumas adaptações foram necessárias na preparação dos corpos de prova para os ensaios de absorção de água, visto que as dimensões exigidas para os testes não são adequadas ao design de joias. Além disso, o ensaio de absorção de água prevê, ainda, um tipo de teste para a determinação da absorção de água até que o material seja completamente saturado. Esse tipo de teste não foi realizado pois exige, dependendo do tipo de material, uma imersão em água por diversas semanas, o que não seria habitual no uso de uma joia, tornando o teste inadequado ao propósito desta pesquisa.

De acordo com a norma ASTM D570, as amostras podem ser submetidas a uma secagem de 1h a 105°C/110°C (para materiais cujo valor de absorção da água não demonstra ser sensivelmente afetado por temperaturas de até 110°C) ou 24h a 50°C (caso a amostra seja sensivelmente afetada à temperaturas na ordem de 110°C).

Conforme Grison (1987, p.79), para ensaios de absorção de água realizados em amostras confeccionadas de poliéster insaturado, os corpos de prova devem ser mantidos a 50°C, durante 24h e então, após pesagem (com precisão de 0,001g) são submetidos a dois testes de imersão em água a 23°C ($\pm 1^\circ\text{C}$): um ensaio de curta duração (2 h de imersão em água) e um ensaio de imersão em água por um período de 24h. Assim, a temperatura escolhida para a secagem das amostras foi de 50°C, durante 24h e a temperatura da água foi regulada a 23°C, controlada com um termômetro, em uma sala devidamente climatizada.

Resultado do ensaio de absorção de água de curta duração (2h):

A partir do teste de curto tempo de absorção de água (Tabela 2) pode-se observar que as amostras semi-esféricas tem uma média de porcentagem de absorção de água de 0,53%, enquanto que as amostras em formato de blocos poliédricos possuem uma média das porcentagens de absorção de água de 0,90%. Sendo assim, estima-se que a área da divisão entre as camadas (o contorno) das amostras em bloco, favorece uma maior absorção de água, uma vez que as

amostras semi-esféricas possuem uma área de divisão entre as camadas menor, pela própria característica geométrica do formato. Além disso, as amostras confeccionadas em resina poliéster sem pigmento nem inclusões de mica possuem uma média das porcentagens de absorção de 0,70%, um pouco menor do que as amostras translúcidas (0,75%) e a mesma média de porcentagem que as amostras opacas (0,70%).

É importante incluir nessa discussão que as micas são hidrófilas, isto é, possuem ótima molhabilidade por ter afinidade com a água. Soma-se a isso o fato de que, em geral, as partículas de mica são altamente irregulares em diâmetro e espessura e mesmo que estas sejam anteriormente pesadas, não é possível garantir que a distribuição das partículas mantenha-se uniforme em todas as amostras. Isso pode contribuir para uma maior absorção em amostras que possuam maiores regiões cobertas por mica, principalmente se estas se encontram próximas das extremidades das amostras. Além disso, o alinhamento, empilhamento e distribuição das lâminas é aleatória, o que pode gerar um compósito menos resistente do que o esperado (e talvez mais absorvente do que o esperado também). Por isso o tratamento das superfícies de carga com um pré-polímero é recomendado, pois este servirá de "espaçador", impedindo o contato entre as lâminas (INUBUSHI *et al*, 1988).

Conforme Callister (2008, p.408), quanto maior for a semelhança entre as estruturas químicas do solvente e do polímero, maior será a tendência para inchamento e dissolução. A resina poliéster ortoftálica utilizada neste trabalho, por si só já apresenta uma redução da resistência química em seu processo de produção, pois para que a sua acidez seja reduzida, é necessário que seja adicionado uma maior quantidade de glicol, o que faz com que a resina se torne mais compatível com a água (GRISON, 1987). Sendo assim, é interessante considerar que o poliéster e a muscovita tem afinidade com a água, o que faz com que haja degradação desse compósito, mesmo que mínima. Porém, é importante ressaltar que, conforme Callister (2008, p. 409), dentre os polímeros, o poliéster possui resistência classificada como satisfatória à degradação em soluções salinas aquosas e em água.

Tabela 2: Valores aferidos de massa do material úmido e massa do material seco no ensaio de absorção de água de curta duração (2h), a porcentagem de absorção de cada amostra e a porcentagem de absorção média por formato de amostra.

Amostra/Formato/Cor	Massa Final (Pu) em gramas	Massa Inicial (Ps) em gramas	Absorção por amostra Abs (%)= $\left(\frac{P_u - P_s}{P_s}\right) \times 100$	Absorção média por formato de amostra
1R 	4,688	4,679	0,9%	0,90%
1T 	6,355	6,347	0,8%	0,90%
1O 	6,461	6,454	1,0%	0,90%
2R 	4,971	4,966	0,5%	0,53%
2T 	7,355	7,348	0,7%	0,53%
2O 	7,354	7,350	0,4%	0,53%

Mesmo assim, para esse ensaio de absorção de água de curta duração, sugere-se que novos testes sejam realizados, com uma amostragem maior, a fim de se obter resultados estatisticamente mais representativos a cerca das relações estabelecidas entre as amostras. A relação de igualdade entre as médias de absorção das amostras de resina poliéster sem muscovita e da amostra opaca, confeccionada com pigmento em pasta e com presença de muscovita não é razoável, uma vez que, teoricamente, a amostra sem mica absorveria menos água (o que pode ser observado no próximo teste analisado que possui uma amostragem maior). Com relação ao aspecto visual das amostras, esse teste de absorção de água de curto prazo não alterou significativamente nenhuma delas, quando observadas à olho nu. Isso não descarta, no entanto, a hipótese de terem ocorrido pequenas variações dimensionais, que não foram avaliadas, porque não eram importantes para esta pesquisa.

Resultado do ensaio de água de longa duração (24h):

Por meio do teste de absorção de água longo (24h), pode-se observar, como era esperado, que todas as amostras seguiram absorvendo água, uma vez que todas ganharam consideravelmente maior valor de Pu (massa úmida) em 24h de ensaio, conforme pode ser observado na Tabela 3. Da mesma forma que no teste de

curta duração, as amostras em bloco absorveram mais água que as amostras semi-esféricas.

Tabela 3: Valores aferidos de massa do material úmido e massa do material seco no ensaio longo (24h) e a porcentagem de absorção de cada amostra e a porcentagem de absorção média por formato de amostra.

Amostra/Formato/Cor R=Resina T=Translúcida O=Opaca L= Longo	Massa Final (Pu) em gramas	Massa Inicial (Ps) em gramas	$Abs(\%) = \left(\frac{P_u - P_s}{P_s} \right) \times 100$
1RL-A 	4,102	4,085	1,7%
1TL-A 	5,070	5,052	1,8%
1OL-A 	6,704	6,684	2,0%
1RL-B 	4,971	4,950	2,1%
1TL-B 	6,602	6,582	2,0%
1OL-B 	6,503	6,481	2,2%
1RL-C 	4,353	4,340	1,3%
1TL-C 	5,139	5,122	1,7%
1OL-C 	6,379	6,357	2,2%
2RL-A 	4,848	4,838	1,0%
2TL-A 	6,865	6,849	1,6%
2OL-A 	6,800	6,781	1,9%
2RL-B 	4,778	4,762	1,6%
2TL-B 	6,728	6,710	1,8%
2OL-B 	6,034	6,017	1,7%
2RL-C 	4,015	4,005	1,0%
2TL-C 	6,337	6,317	2,0%
2OL-C 	6,904	6,883	2,1%

As amostras confeccionadas em resina poliéster sem pigmentos e sem inclusão de mica são as que menos absorveram água, provavelmente, por não possuírem nenhuma área extensa que possa servir de entrada para a água. As amostras elaboradas para o compósito, feitas em camada cujos limites podem servir de entrada para água, apresentam uma maior porcentagem de absorção de água, com os maiores valores registrados para as opacas. Diferente do resultado obtido no

teste de curta duração, neste teste longo houve um aumento maior na absorção das amostras translúcidas, quando comparadas com as amostras composta só de resina poliéster.

Embora as amostras de resina poliéster tenham permanecido as que menos absorveram água, ao final da pesagem, quando foram submetidas à comparação visual com as amostras de controle (que não participaram dos procedimentos do ensaio) observou-se uma grande perda da transparência das amostras, que se tornaram quase opacas. Esse efeito não se repetiu com a mesma intensidade nas amostras do compósito elaborado com pigmentos e mica.

Na Tabela 4 pode-se observar, de forma comparativa e resumida, o resultado do teste que indica que o formato de amostra em bloco absorve mais água do que a semi-circular e que, em relação ao material, as amostras confeccionadas somente em poliéster, absorvem menos água do que as amostras de matriz translúcida e de matriz polimérica opaca.

Tabela 4: Médias de porcentagens de absorção da água por material e por formato.

	Abs (%) amostras em bloco	Abs (%) amostras semi-esféricas	Média de porcentagem por material
Resina poliéster	 1,70%	 1,20%	1,45%
Compósito Translúcido	 1,83%	 1,80%	1,81%
Compósito Opaco	 2,13%	 1,90%	2,05%
Média de porcentagem por formato	1,886%	1,633%	

É importante ressaltar que, embora os polímeros que possuem partículas como fase dispersa sejam materiais fáceis de produzir, de baixo custo, possuam baixo índice de retração de molde e sejam versáteis nos formatos obtidos, dependendo do desempenho esperado por estes materiais, é necessário que haja uma técnica de tratamento na superfície do material utilizado como fase dispersa. Esse processo melhora a aderência entre essas camadas e ajudam a não prejudicar as propriedades do material gerado (INUBUSHI, 1988). Além disso, Vaberg, Potocki e Stenius (1989, p.1240) afirmam que esses agentes de acoplamento utilizados para tratar a superfície do material de carga dispersa interagem tanto na carga, quanto na

resina, evitando inclusive, que haja a descolagem de resina a partir do material de enchimento hidrófilo, causado pela entrada de água.

4.2.3 Ensaio de envelhecimento acelerado

Os parâmetros para o ensaio de envelhecimento acelerado foram escolhidos com o objetivo de avaliar o grau de degradação do material quando submetido à condição climática extrema.

Optou-se por adotar um nível de incidência máxima possível de IUV (índice ultravioleta), de 80%. Sabe-se que diversos fatores são responsáveis pelo cálculo destes índices, como a concentração de ozônio na atmosfera, a posição geográfica da localidade, a altitude do local, a hora do dia, a estação do ano, as condições atmosféricas e o tipo de superfície na qual os raios estão incidindo (neve, areia, água, concreto, etc). Justamente por serem diversas as variáveis capazes de modificar o valor desse índice dos raios que chegam à terra, optou-se pela incidência mais alta, que ocorre no verão entre 9h e 15h e corresponde aos 80%. Boa parte dos raios ultravioleta que chegam à terra são novamente refletidos e sofrem desvios, seja por obstáculos no caminho que o raio percorre ou pelas características da superfície. Portanto o índice de incidência de 80% utilizado no teste é considerado muito alto (ver anexo D: o que é índice ultra violeta?).

Optou-se também por adotar outros parâmetros que são típicos do clima da região do Rio Grande do Sul, que é subtropical. No clima subtropical a umidade média anual oscila entre 60% - 85% e a temperatura é bastante variável e depende da estação. Sabe-se que o corpo humano suporta um índice de calor cuja sensação de temperatura percebida esteja por volta dos 40°C.

Este índice é calculado em função da umidade e temperatura, e é diferente da sensação térmica que depende de outros fatores como a velocidade do vento. Com isso, estando a porcentagem de umidade em 70%, de acordo com o índice de calor suportável pelo ser humano a 40°C, a temperatura máxima seria 32°C. Para valores superiores de temperatura, o corpo já começaria a dar sinais de hipertermia e não seria possível continuar por muito tempo sob essa exposição sem sofrer danos à saúde (NOOA, 2015).

Deve ser mencionado que, de acordo com Callister (2008, p.408), "...devido à complexidade química dos polímeros, os mecanismos de degradação não são bem compreendidos". Longas cadeias e complexidade nas reações e ligações ajudam a dificultar o entendimento dos processos de degradação poliméricos, juntando-se a isso o fato de que o polímero em questão, o poliéster, possui uma estrutura amorfa, o que aumentam a taxa de deterioração. Embora ele seja um material termofixo, isso não quer dizer que não apresente modificações em suas propriedades com a ação de intempéries, que possam degradá-lo.

Após os parâmetros serem escolhidos (índice UVA/UVB, umidade e temperatura) e a duração do ciclo estimada em uma semana, que é um tempo considerado extremo de exposição solar, as amostras foram submetidas ao ensaio de envelhecimento.

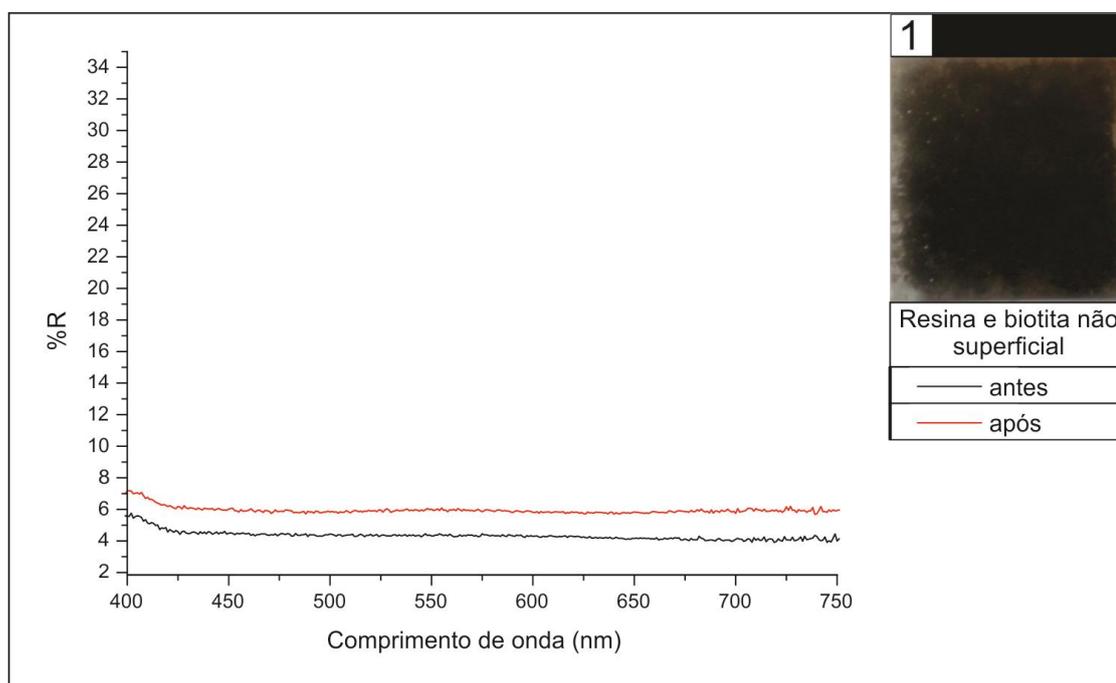
Conforme Grison (1987, p.40), variações de temperatura provocam dilatações e retrações nos materiais que, por fadiga ou baixa elasticidade, apresentam fissuras superficiais. Essas fissuras podem progredir mais e mais, seja pela ação da água, do oxigênio, do ozônio, de gases corrosivos, ou da radiação UV, que acabam catalisando reações entre os produtos presentes no composto da resina poliéster.

Após a realização do teste, observando-se as amostras visualmente, não foi observada nenhuma distorção térmica aparente, e nenhuma alteração na cor do material. Alterações dimensionais aparentes também não foram percebidas à olho nu. Após a análise do ensaio de envelhecimento, as amostras foram novamente submetidas ao teste de refletância no espectrofotômetro, para comparar os dados antes e após o teste de envelhecimento acelerado.

Todos essa fatores dificultam o entendimento do processo de degradação que modifica as propriedades dos materiais. Por hora, sabe-se que para poliéster insaturado do tipo ortoftálico, aditivos do tipo estabilizantes são recomendados a fim de evitar a degradação. Um meio bastante utilizado e econômico de prevenir a degradação por raios UV (que pode representar uma porta de entrada para outras reações de degradação) é a aplicação de uma camada de resina parafinada que pode ser assim preparada: dissolver 10g de parafina em 90g de toluol e para cada 100g de resina pronta (catalisada e acelerada), adicionar 6g de solução de parafina (GRISON, 1987).

A amostra 1 (Fig.52), confeccionada com biotita fracionada e matriz de poliéster sem corante, apresentou maior porcentagem de refletância após o ensaio de envelhecimento, em qualquer comprimento de onda. Tal fato pode ser resultante de alguma alteração química na composição do material compósito devido a alguma degradação não aparente, ou a alguma pequena mudança na cor da matriz das amostras, não perceptível a olho nu.

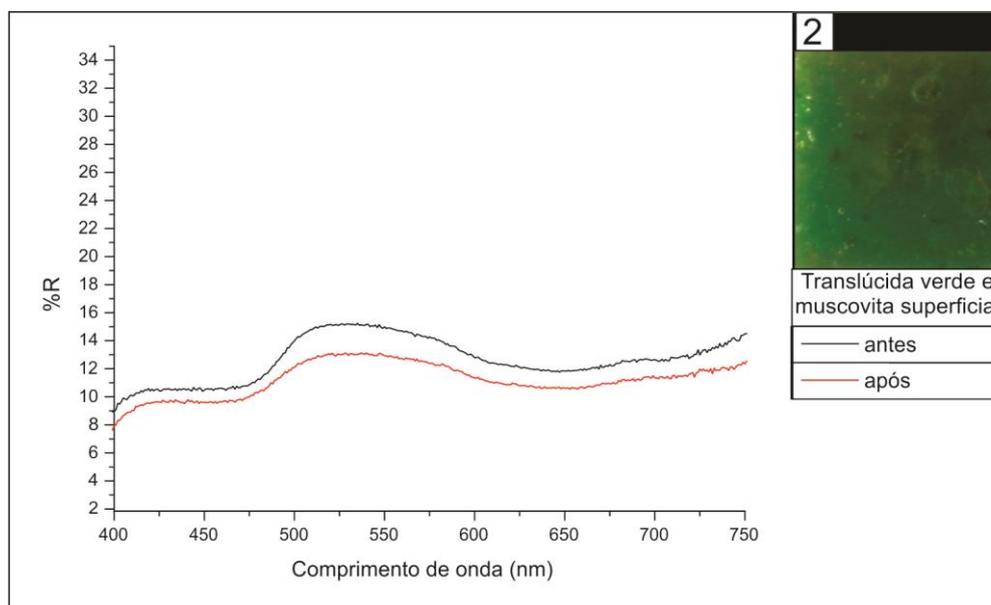
Figura 52: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda na amostra 1 (confeccionada com fragmentos de biotita) antes e após o ensaio de envelhecimento.



Porém, para que esta hipótese possa ser afirmada com certeza, é necessário realizar análises de FTIR (*Fourier transform infrared spectroscopy*) a fim de comprovar se houve alteração na cor do material que não pôde ser percebida à olho nu, mas que possa alterar a refletância do material

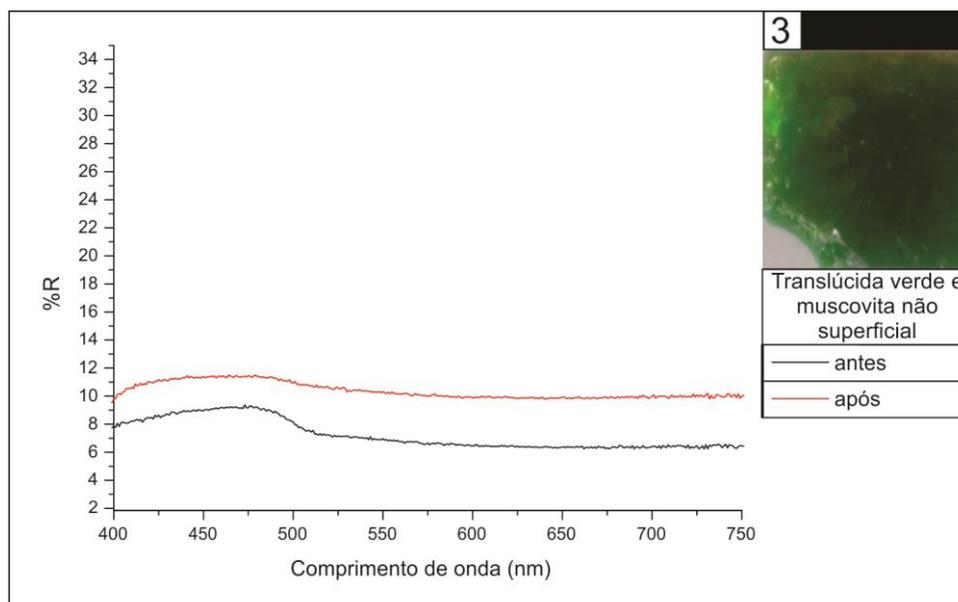
Analisando o gráfico de refletância da amostra 2 (Fig.53), pode-se observar que para qualquer comprimento de onda a refletância inicial é maior que a observada após envelhecimento.

Figura 53: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda na amostra 2 (translúcida confeccionada com lâminas de muscovita próximas da superfície) antes e após o ensaio de envelhecimento.



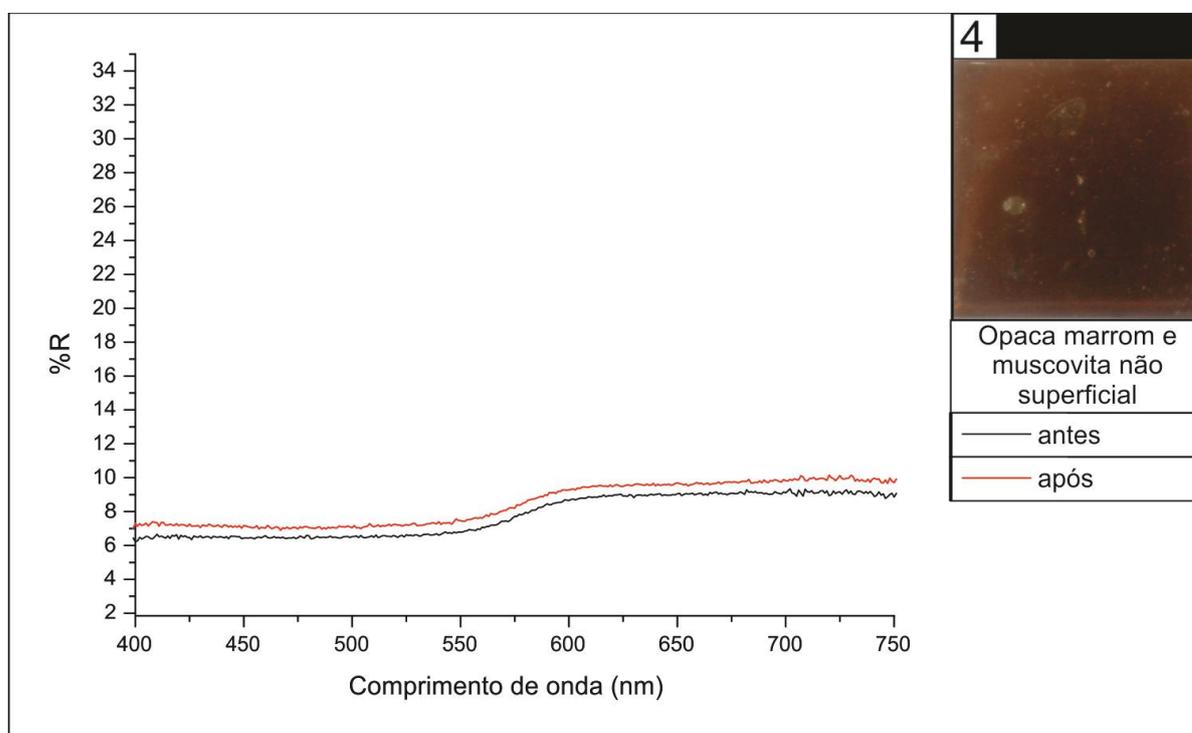
No caso da amostra 3 (Fig.54), para qualquer comprimento de onda visível, houve um aumento na porcentagem de refletância do compósito após o ensaio de envelhecimento. O mesmo não ocorreu na amostra 2, analisada anteriormente, que teve a refletância reduzida.

Figura 54: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda na amostra 3 (translúcida, confeccionada com lâminas de muscovita distantes da superfície) antes e após o ensaio de envelhecimento.



O gráfico da amostra 4 (Fig.55) indica que para qualquer comprimento de onda houve um aumento considerável na refletância do material após o ensaio de envelhecimento. Como a matriz dessa amostra é confeccionada em cor marrom escura, estima-se que a absorção dos raios UVA/UVB tenha sido maior e que tenha havido um desbotamento gradual da cor da matriz, resultando numa maior refletância pós-ensaio de envelhecimento. Porém, somente com as análises realizadas não é possível afirmar com certeza a causa desse aumento na porcentagem de refletância apresentado pela amostra marrom.

Figura 55: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda na amostra 4 (opaca na cor marrom, confeccionada com lâminas de muscovita distantes da superfície) antes e após o ensaio de envelhecimento.

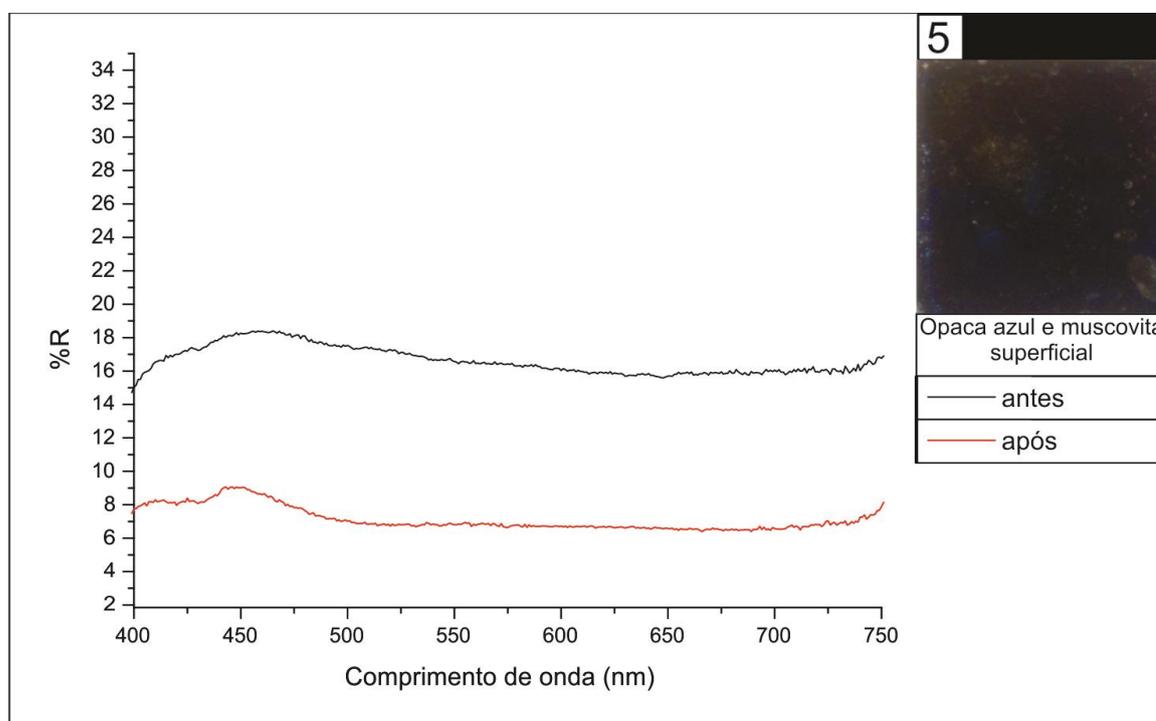


Na amostra 5 (Fig.55) não houve alterações significativas na refletância dentro dos comprimentos de onda visíveis. Pequenas quedas na refletância podem ser observadas após o ensaio de envelhecimento, indicando que se houve um desbotamento da cor da matriz este foi pouco significativo, provavelmente pelo fato das lâminas de muscovita estarem próximas da superfície, bloqueando a passagem dos raios para camada de matriz mais inferior.

Tal afirmativa merece ser mais bem avaliada uma vez que o mesmo não ocorreu com a amostra verde confeccionada com muscovita lamelar próxima da superfície, anteriormente analisada (Amostra 2, Fig.53).

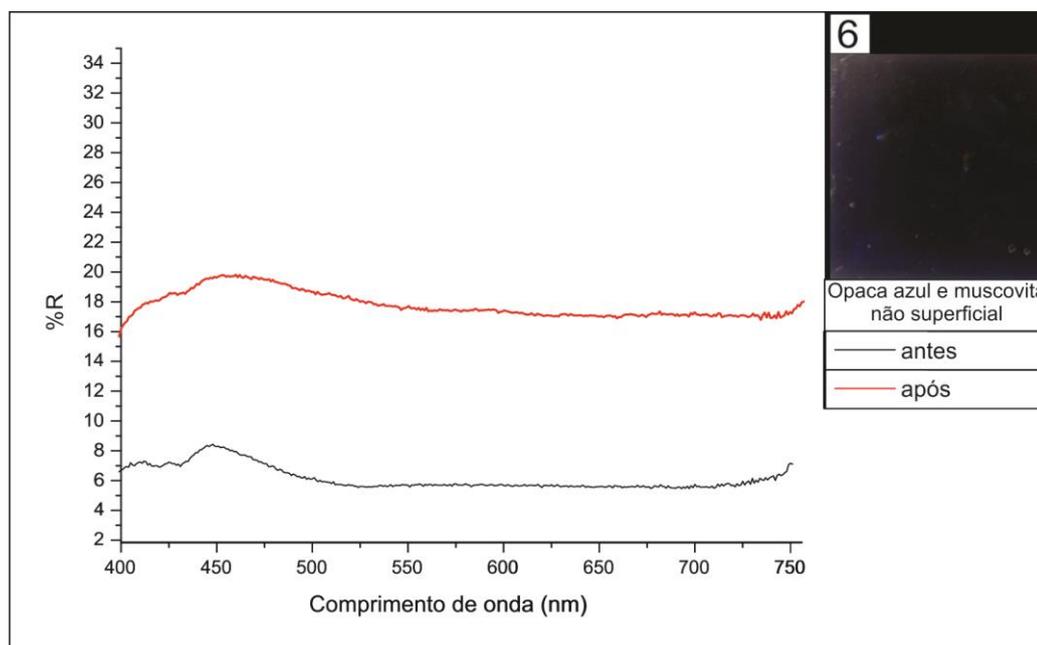
Da mesma forma, a lâmina de muscovita também não aparenta ter sido alterada pelas condições climáticas simuladas. Mesmo que em outras amostras do compósito ela possa ter apresentado alterações, há pouca regularidade na cor das lamelas de muscovita, que podem apresentar variações conforme a composição química diferenciada em uma mesma peça do mineral.

Figura 56: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda na amostra 5 (opaca na cor azul, confeccionada com lâminas de muscovita próximas da superfície) antes e após o ensaio de envelhecimento.



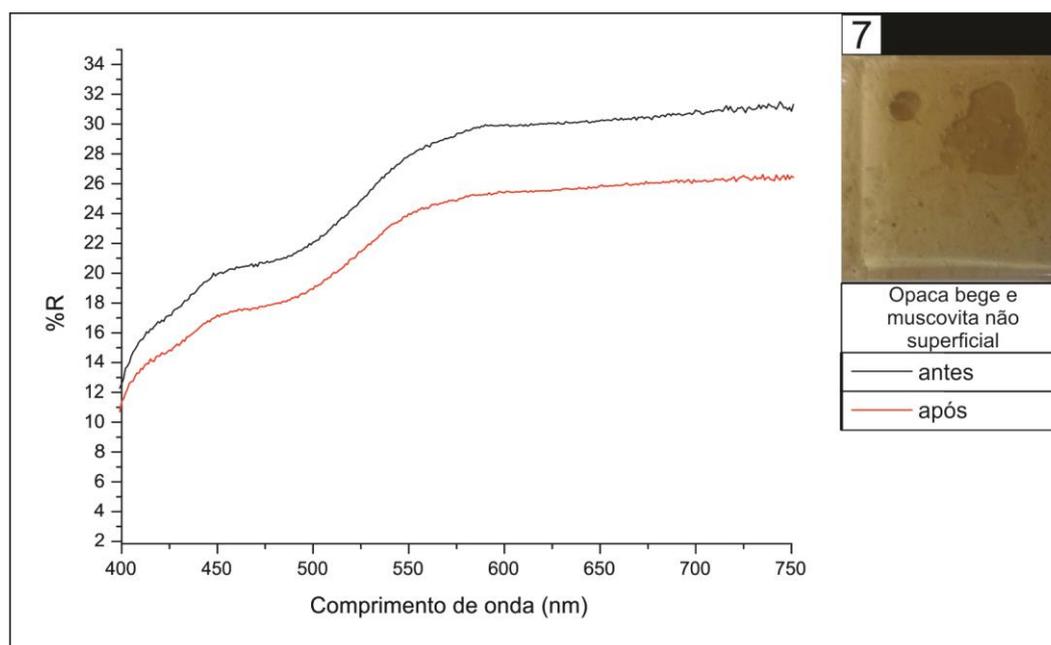
Observando-se o gráfico da amostra 6 (Fig.57), opaca na cor azul, confeccionada com lâminas de muscovita distantes da superfície, a variação de refletância antes e depois do ensaio foi maior que a da amostra 5. Estando as lamelas de muscovita distante da superfície do material, houve um aumento da refletância, causado possivelmente pelo não bloqueio das lâminas a uma maior quantidade de matriz colorida, que pode ter se tornado mais clara por receber maior incidência dos raios UVA/UVB.

Figura 57: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda na amostra 6 (opaca na cor azul, confeccionada com lâminas de muscovita distantes da superfície) antes e após o ensaio de envelhecimento.



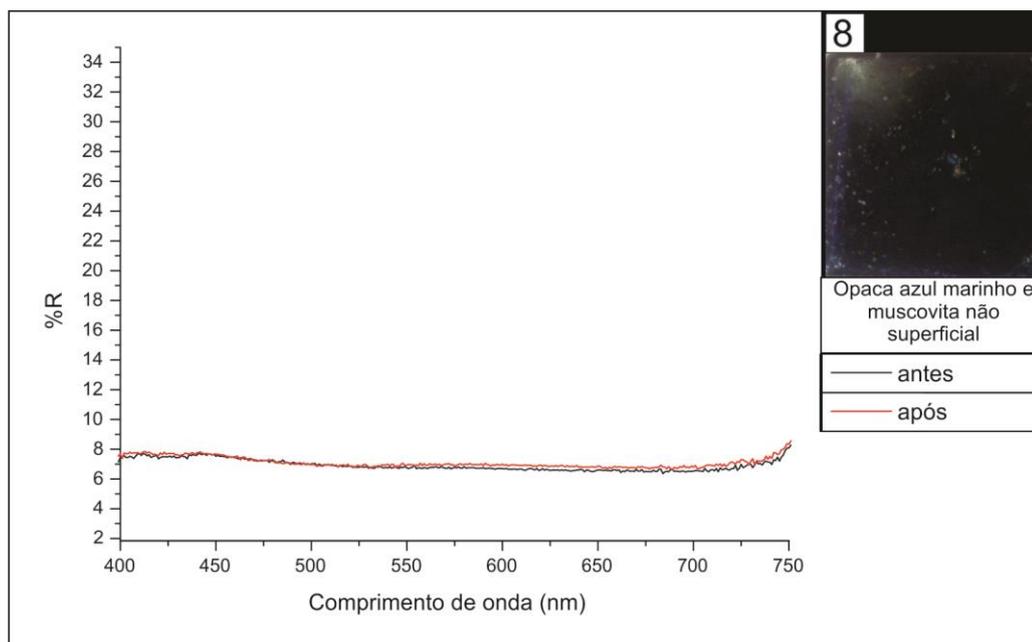
Analisando o gráfico de refletância da amostra 7 (Fig.58), pode-se observar que houve uma queda na refletância, que continuou apresentando maior porcentagem que as outras amostras devido à sua coloração clara.

Figura 58: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda na amostra 7 (opaca na cor bege, confeccionada com lâminas de muscovita distantes da superfície) antes e após o ensaio de envelhecimento.



A amostra 8 (Fig.59), como indica o gráfico, apresentou pouca alteração na porcentagem de refletância, porém, apresenta refletância um pouco maior na maioria dos comprimentos de onda no aferimento pós envelhecimento. Aqui nesse caso, também por possuir cor escura na matriz polimérica, pode ter havido um leve clareamento na cor do material, o que ocasionou essa maior refletância.

Figura 59: Gráfico indicando a porcentagem de refletância em função do comprimento de onda na amostra 8 (opaca na cor azul marinho, confeccionada com lâminas de muscovita distantes da superfície) antes e após o ensaio de envelhecimento.



A mica é um material de baixo custo e de interesse considerável em materiais compósitos (VABERG, POTOCKI e STENIUS, 1989) e, de maneira geral, pode-se concluir que, nas condições simuladas neste trabalho para o teste de envelhecimento, não houve alterações significativas que possam impedir o uso do material em tais condições de temperatura, umidade e incidência de raios UVA/UVB.

É extremamente complexo compreender os fenômenos de degradação dos polímeros uma vez que estes são processos físico-químicos dependentes de diversas variáveis que podem estar agindo ao mesmo tempo no material. Segundo Callister (2008, p.339) o modo de fratura que os polímeros termofixos exibem é frágil e isso quer dizer que associado com o processo de fratura está a formação de trincas nas regiões onde há uma concentração localizada de tensões (riscos, entalhes e falhas afiladas) e as ligações covalentes na estrutura em rede ou com ligações cruzadas, são rompidas durante a fratura. Além disso, as reações de foto-

degradação criam radicais livres que provocam alterações nas propriedades físicas e ópticas do polímero. Portanto, se um material já apresenta algum tipo de defeito, mesmo que não visível, este pode ser agravado pelas reações que ocorrem na ação de agentes externos.

4.3 PROJETO DE JOIAS

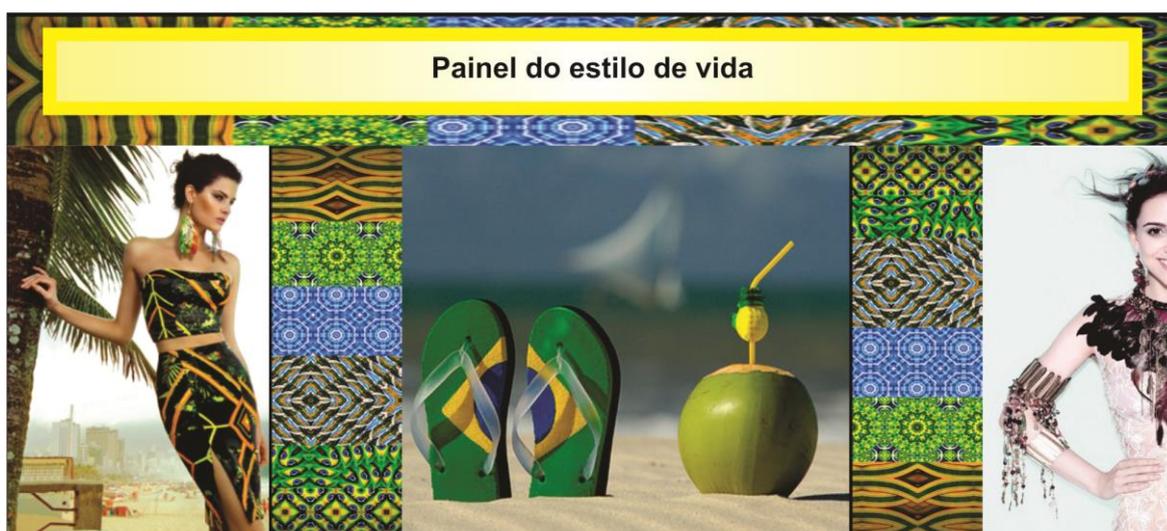
Para este trabalho, o projeto de joias foi elaborado em três etapas: desenvolvimento do estilo, geração de alternativas e a modelagem tridimensional de uma peça escolhida na geração de alternativas.

4.3.1 Desenvolvimento do estilo

Por meio dos painéis de estilo visual (Figs. 60, 61 e 62) buscou-se sintetizar emoções e valores que tenham relação com uma identidade particularmente brasileira. O híbrido, a mistura de cores e materiais, o movimento das formas, são características que podem ser associadas na criação de um produto nacional, baseado em valores positivos e que possam expressar a nossa identidade na diversidade.

- Painel do estilo de vida: traça uma imagem do estilo de vida dos possíveis consumidores de um produto, expressando seus valores pessoais e sociais.

Figura 60: Painel do estilo de vida.



- Painel da expressão do produto: representa a emoção que o produto deve transmitir ao primeiro olhar. É o estilo do produto.

Figura 61: Painel de expressão do produto.



- Painel do tema visual: apresenta imagens com produtos que tenham o mesmo estilo visual pretendido pelo produto a ser gerado.

Figura 62: Painel do tema visual.



4.3.2 Geração de alternativas

É muito comum em joalheria a compra de gemas antes do projeto de joias, uma vez que nem sempre o designer ou ourives é o lapidário. Portanto, antes da geração de alternativas, fez-se necessário desenvolver amostras de formatos

diversos a fim de criar uma peça que possa ser executada posteriormente por um ourives.

O processo de modelagem das amostras em formatos diversos desenvolveu-se da seguinte maneira:

- Várias gemas em formatos e lapidações variadas foram selecionadas para analisar o formato que reproduziria melhor o efeito aventurina,

- Tais exemplares foram fixados com fita dupla face em caixas feitas de papelão,

- Adicionou-se então silicone líquido (200ml) e o catalisador em uma proporção de 3% em massa do silicone,

- Deixou-se as amostras curando por aproximadamente 5h.

- Após esse período, retirou-se o silicone da caixa, que serviu como molde para novas peças do compósito.

- Utilizando os moldes de silicone, as formas foram preenchidas até a metade com resina poliéster e catalisador, como primeira camada (tempo de polimerização de 24h),

- Posteriormente, adicionou-se muscovita fracionada e uma camada de resina colorida com corantes diversos (amarelo, verde, azul) e catalisador,

- Após a completa polimerização em 24h, as peças foram desenformadas (Fig.63).

- Não foi necessário utilizar desmoldante no silicone para obter as peças finais.

Figura 63: Confeção das amostras em formatos diversos A)gemas selecionadas; B)silicone utilizado na moldagem e C) peças desenformadas para obtenção do molde.



Após selecionar os formatos que melhor reproduziram o efeito aventurina (na maioria das vezes o cabochão), a geração de alternativas foi iniciada por meio de um painel de referências visuais inspiradas no tema "Brasilidade".

De acordo com Rempel (2010, p.75), o design brasileiro é reconhecido mundialmente pela sua criatividade e mistura de culturas e pelo profissionalismo de seus designers. No Brasil, impera uma estética multicultural, que é híbrida e mestiça rica em energia particularmente brasileira com a presença de signos múltiplos, onde cabe ao designer reconhecer estes valores e interpretá-los decodificando-os com atributos possíveis para os nossos artefatos (DE MORAES, 2008).

Pensando nisso, foi criado um painel de referência (Fig.64) com imagens ricas em elementos de estética evidenciando símbolos da cultura indígena (adornos indígenas e a cerâmica marajoara).

Figura 64: Imagens de referência da cultura indígena - adornos indígenas e cerâmica marajoara.



Partindo das imagens expostas nos painéis de estilo visual e das imagens de referência de símbolos da cultura indígena (adornos e cerâmica marajoara), a criação artística iniciou de forma livre (Figs. 65 e 66), sem que houvesse nenhuma

preocupação com relação à tendência de mercado ou cartela de cores, uma vez que a proposta para utilização ideal do material é a sua utilização em uma joia que seja atemporal, já que o material utilizado é bastante durável.

Sugere-se então, que a utilização ideal para o compósito proposto neste trabalho é o design para durabilidade (*Design for Disassembly – DfD*), uma vez que é agregado por uma matriz termofixa, capaz de permanecer em uso por muitos anos, resistindo a danos físicos e a desgastes, reduzindo possíveis impactos ambientais.

Figura 65: Geração de alternativas de colares e bracelete.

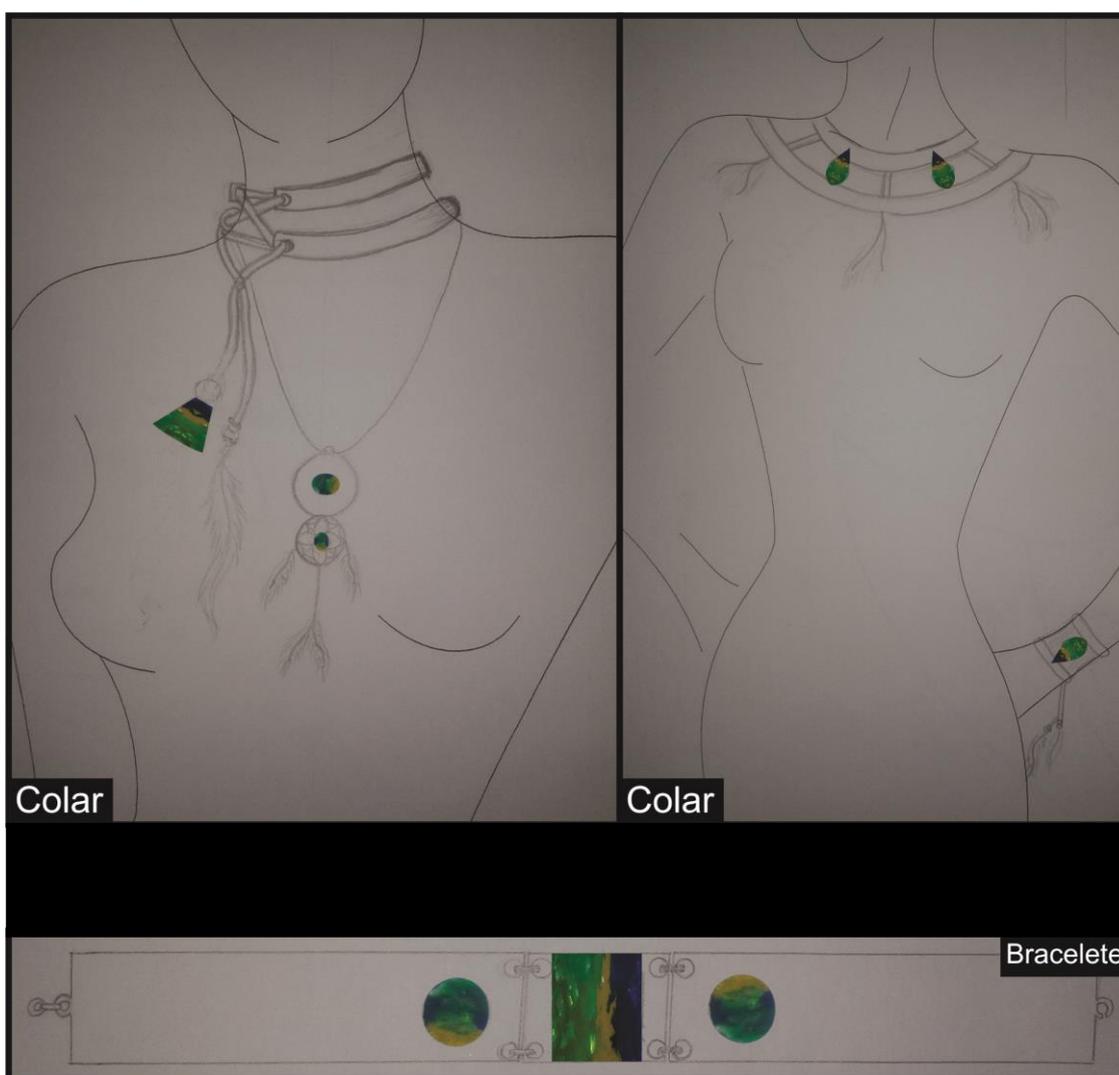
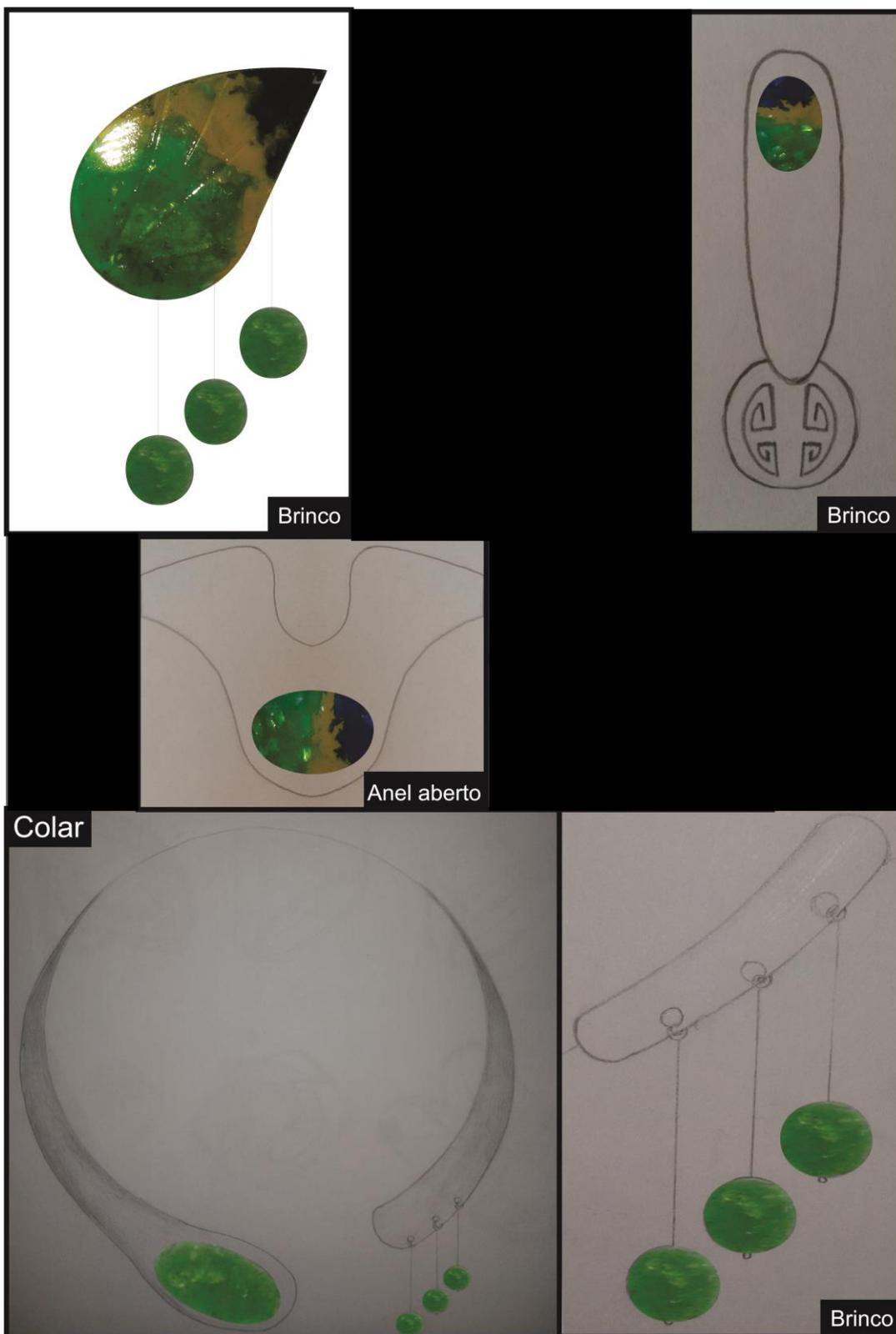


Figura 66: Geração de alternativas de outras peças.



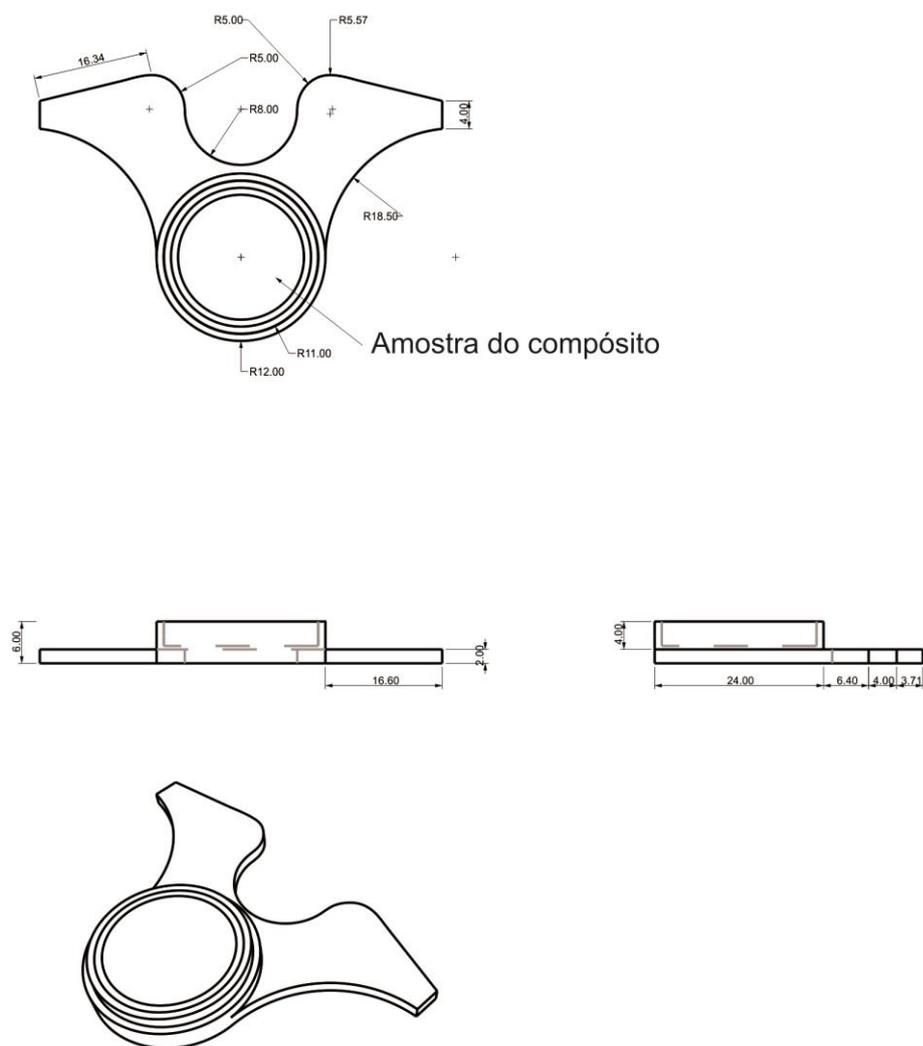
4.3.3 Modelagem Tridimensional

A modelagem tridimensional foi realizada com a peça selecionada dentre as alternativas geradas. A joia escolhida foi um anel, por ser uma peça que poderia estar exposta aos fatores testados neste trabalho (exposição à umidade, alta temperatura e exposição direta à radiação solar). A peça foi confeccionada em liga de prata 950 e a amostra do compósito foi presa ao anel com uma cravação do tipo inglesa (Fig.67). Essas informações foram adicionadas ao desenho técnico (Fig.68), afim de auxiliar na confecção do anel pelo ourives.

Figura 67: Peça escolhida finalizada.



Figura 68: Desenho técnico gerado no software *Rhinoceros*, para confecção da joia.



Escala do desenho técnico: 1:1

Metal sugerido: Ag

Espessura da chapa: 1mm

Processo de fabricação: artesanal

Acabamento sugerido: polido

Observação: uso de material compósito com cravação inglesa

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fim de criar um material diferenciado do ponto de vista estético, a simulação do efeito óptico aventurina realizou-se com a utilização de polímero e partículas minerais. A escolha de tais materiais justificou-se pelas propriedades ópticas necessárias para reproduzir o fenômeno, como a reflexão presente em minerais do grupo das micas (muscovita e biotita) utilizada como fase dispersa e a propriedade de transmissão da luz e índice de refração similar ao vidro presente na resina poliéster, que é a matriz nesse material compósito.

Um dos minerais (biotita) não apresentou a refletância esperada com a interação do filme de resina poliéster. Embora ele não tenha representado um resultado satisfatório com relação à simulação do efeito aventurina, outras aplicações podem ser sugeridas, mesmo a aplicação em joalheria, porém sem a simulação desse efeito. Já com relação à muscovita, a reprodução do efeito foi satisfatória e ainda mais perceptível quando utilizada em lâminas inteiras não particuladas.

Com relação aos resultados obtidos no ensaio de refletância, pode-se concluir que:

- O lado das amostras que continha lâminas de muscovita reflete mais do que o lado das amostras onde a muscovita não é visível, comprovando que a presença de muscovita confere maior brilho às amostras;
- As amostras confeccionadas com cores claras refletem mais que as escuras, porém, o contraste entre a matriz das amostras escuras e as lâminas claras de muscovita evidenciam o efeito aventurina; e
- Quanto mais superficial as lamelas de muscovita forem posicionadas na amostra, maior será a sua reflexão.

O teste de absorção de água de longa duração (24h), por apresentar uma amostragem maior do que o teste de curta duração (2h), apresentou resultados mais significativos, conferindo maior credibilidade aos resultados, que demonstraram o seguinte:

- Amostras em formato de bloco absorvem mais água do que as amostras em formato de cabochão;

- Amostras confeccionadas somente com a resina poliéster absorvem menos água;
- Amostras com pigmento em pasta absorvem mais água do que as confeccionadas com pigmento em pó; e
- Amostras confeccionadas somente com resina poliéster tornaram-se mais opacas após o teste de absorção.

O teste de envelhecimento acelerado não gerou nenhum tipo de degradação aparente nas amostras submetidas à análise, quando examinadas visualmente, como alteração na cor ou nas dimensões e também não deixou as amostras pegajosas. Porém, em determinadas amostras houve alteração de reflexão após submetê-las novamente ao teste de reflexão, essas alterações não são perceptíveis a olho nu, o que possibilita a utilização de tal material em condições similares às reproduzidas no teste de envelhecimento.

Além disso, como o poliéster é um polímero termofixo, possui características como boa estabilidade dimensional, resistência em ambientes quimicamente agressivos, além de excelentes propriedades mecânicas e de isolamento elétrico, podendo ser utilizado em diversos setores do mercado, desde que seja projetada a sua utilização em produtos que exijam uma vida útil longa.

Sendo assim, entende-se que a seleção de materiais foi eficiente, uma vez que, além de permitir a reprodução do fenômeno óptico esperado, gerou um material inovador e alternativo, passível de ser aplicado em joalheria, despertando a atenção visual com a aplicação de um conceito embasado em conhecimentos científicos.

Para trabalhos futuros, sugere-se a realização de usinagem nas amostras, ensaio dimensional para saber se ocorre alguma alteração no tamanho das peças quando submetidas à testes de envelhecimento, teste de absorção e degradação com produtos químicos, suor e água do mar.

Tais análises permitirão visualizar o uso desse material industrialmente, definindo com maior precisão suas características, a fim de definir suas possíveis aplicações de forma a obter um melhor desempenho. Com esse conhecimento, poderá ser adotado um processo de fabricação que possibilite a sua produção em série.

REFERÊNCIAS

AGILENT TECHNOLOGIES. **Molecular Spectroscopy**. Disponível em: <<http://www.chem.agilent.com> > Acesso em: 10 dezembro 2014.

AGUILAR, M.; MOTTA, S.; SALES, R. **Caderno de Estudos Avançados em Design: identidade**. Barbacena: EdUEMG, 2010.

ALMEIDA, V.; DA CRUZ, C.A.; SOAVE, P.A. **Concepções alternativas em óptica**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de física, Programa de Pós Graduação em Ensino de Física, 2007.

ARMSTRONG, G.; KOTLER, P. **Princípios de Marketing**. 12ed. Rio de Janeiro: Prentice Hall, 2004.

ASHBY, M. Materials selection in conceptual design. **Materials Science and Technology**, London, v. 5, n° 6, p. 517 - 525, 1989.

_____. **Materials selection in mechanical design**. 2ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1999.

_____. Cambridge Engineering Selector (CES Edupack), versão 2012. United Kingdom: Granta Design Limited, 2012. Licença cedida pela UNISINOS.

ASHBY, M.; JOHNSON, K. The art of material selection. **Materialtoday**, Oxford, p. 24 – 35, 2003.

_____. **Materials and design: the art and science of material selection in product design**. Amsterdam: Elsevier/Butterworth-Heinemann, 2010.

ASHBY, M.; SHERCLIFF, H.; CEBON, D. **Materials: engineering, science, processing and design**. Oxford: Elsevier, 2007.

ASKELAND, D.; FULAY, P.; WRIGHT, W. **The Science and Engineering of Materials**. 6ed. Stamford: Cengage Learning, 2011.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Indentation Hardness of Rigid Plastics by Means of a Barcol Impressor**. ASTM D2583 – 13a. United States, 2013.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Indentation Hardness of Aluminum Alloys by Means of a Barcol Impressor**. ASTM B648. United States, 2006.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Water Absorption of Plastics**. ASTM D570. United States, 2010.

BAXTER, M. **Projeto de Produto**: guia prático para o design de novos produtos. 2ed. São Paulo: Blucher, 2000.

BRANCO, P. M. **Dicionário de mineralogia e gemologia**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2008.

BROWNELL, B. E. **Transmaterial 3**: A catalog of materials that redefine our physical environment. New York: Princeton Architectural Press, 2010.

BÜRDEK, B. **Design**: história, teoria e prática do design de produtos. São Paulo: Blucher, 2006.

CALLISTER, Jr., William D. **Ciência e engenharia de materiais**: uma introdução. 7ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CRAIG, J.; VAUGHAN, D. J. **Ore Microscopy and Ore Petrology**. New York: Editora John Wiley, 1994.

CRILLY, N.; CLARKSON, J. **The influence of consumer research on product aesthetics**. In: INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE – DESIGN 2006, Dubrovnik – Croácia, Mai 15–18, 2006. Anais... Dubrovnik (Croácia): Design 2006, p. 689 – 96. Disponível em: <<http://www-edc.eng.cam.ac.uk/~nc266>>. Acesso em: 4 novembro 2012.

CORBETTA, G. **Joalheria de arte**. Porto Alegre: AGE, 2007.

DANA, J.D. **Manual de mineralogia 2**. Rio de Janeiro: Livro Técnico S.A., 1970.

DEER, W. A., HOWIE, R. A., ZUSSMAN, J. **Minerais constituintes das rochas**: uma introdução. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1966.

DE MORAES, D. **Design e complexidade**: In: DE MORAES, D.; KRUCKEN, L. (Org.). *Caderno de Estudos Avançados em Design: Design e Transversalidade*. Santa Clara Editora Produções de Livros LTDA: Belo Horizonte, 2008. p. 7-22.

DENG, Y. M.; EDWARDS, K. L. The role of materials identification and selection in engineering Design. **Materials & Design**, Surrey, v. 28, n. 1, p. 131-139, 2007.

DIAS, M.R. **Percepção dos materiais pelos usuários**: modelo de avaliação Permatius. Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 20 de Agosto de 2008.

GIA – **Gemological Institute of America**. Disponível em: <<http://www.gia.edu/sunstone>> Acesso em: 10 junho 2014.

GREEN, W. S. E JORDAN, P., W. (ed.), *Pleasure with products: Beyond usability*, 2002. In: IIDA, Itiro; BARROS, Tiago; SARMET, Mauricio. **Caderno de Estudos Avançados em Design: Transversalidade**. Belo Horizonte: UEMG, 2008.

GRISON, E.C. **Poliéster insaturado**. Santa Maria: UFSM, 1987.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos da física 2**. 4ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

_____ **Fundamentos da física 4**. 6ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

HENRIQUES, H.S. **A arte do design**. In: Um olhar sobre o design brasileiro, p.108-117. SENAI: São Paulo, 2012.

INUBUSHI, S.; IKEDA, T.; TAZUKE, S.; SATOH, T.; KAMGAI, Y. Aminimide-cured epoxy resins as surface modifiers for mica flakes in particle-reinforced thermoplastics. **Journal of Material Science**, New York, n° 23, p. 535 - 540, 1988.

JUCHEM, P.L. **Gemologia para Designers**. Material de aula do Programa de Pós-Graduação em Design e Tecnologia -PGDesign, 2013. Apostila e apresentações PowerPoint.

KERR, P. F. **Optical mineralogy**. New York: Editora Mcgraw-Hill, 1977.

KLEIN, C.; DUTROW, B. **The 23rd edition of the Manual of Mineral Science**. John Wiley & Sons: EUA, 2008.

KRUCKEN, L. **Competências para o Design na Sociedade Contemporânea**. In: DE MORAES, Dijon; KRUCKEN, Lia (Org.). *Caderno de Estudos Avançados em Design: Design e Transversalidade*. Santa Clara Editora Produções de Livros LTDA: Belo Horizonte, 2008. p. 23-32.

_____ **Design e território**: valorização de identidades e produtos locais. Estúdio Nobel: São Paulo, 2009.

LARENA, A.; VILLAR, M. Optical properties of CaCO₃ - filled poly (ethylene-co-vinyl acetate) films. **Optical Materials**, Madrid, v.17, p. 437 - 442, 2000.

LESKO, J. **Design Industrial: materiais e processos de fabricação**. 1ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

LÖBACH, B. **Design Industrial: bases para a configuração dos produtos industriais**. Rio de Janeiro: Edgard Blücher LTDA, 2000.

LUFT, P.C. **Minidicionário Luft**. São Paulo: Ática, 2000.

MACHADO, R. **Preview design de joias 2013**. Brasília: IBGM, 2012.

MAXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Curso de física**. Scipione: São Paulo, 2000.

MONTARINI, H. **Um toque de personalidade**. In: Um olhar sobre o design brasileiro, p.102-107. SENAI: São Paulo, 2012.

MOURÃO, P. **Joalheria de arte**. Disponível em: <pulamourao.com>, Acesso em: 20 janeiro 2015.

NOOA, **Calcule o índice de calor e a sensação térmica** (Centro de informações de recursos ambientais e de hidrometeorologia de Santa Catarina). Disponível em: <ciem.epagri.sc.gov.br>, Acesso em: 20 dezembro 2014.

NIEMEYER, L. **Identidade e significações: design atitudinal**. In: DE MORAES, D.; KRUCKEN, L.; REIES, P. (Org.). *Caderno de Estudos Avançados em Design: Identidade*. Editora da Universidade do Estado de Minas Gerais: Barbacena, 2010. p. 77-88.

PADILHA, A.F. **Materiais de engenharia: microestrutura e propriedades**. Curitiba: Hemus, 2000.

PHILLIPS, R. **Mineral Optics: principles and techniques**. W. H. Freeman and Company: São Francisco, 1971.

REMPEL, C. **A joalheria moderna no Rio Grande do Sul**. In: Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração. Léo Afraneo Hartmann; Juliano Tonezer da Silva (Org.). IGEO/UFRGS: Porto Alegre, 2010.

ROBERT MACNELL E ASSOCIATES. **Features**. Disponível em: <<https://www.rhino3d.com/>>, Acesso em: 30 dezembro 2014.

SCIACCO, T. **Joia de autor**. Disponível em: <<http://artetudomais.com>>, Acesso em: 20 maio 2014.

SHACKELFORD, J.F. **Introdução à ciência dos materiais para engenheiros**. 6ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

SCHUMANN, W. **Gemas do Mundo**. Rio de Janeiro: Editora Disal, 2006.

TIPLER, P.A. **Propriedades da Luz: física volume 2**. Rio de Janeiro: LTC. 2000.

UNESCO. **História Geral da África I: metodologia e pré-história da África**. Editado por Joseph Ki-Zerbo. 2ed.rev. Brasília: Unesco, 2010.

UNGLAUB, D. **Fisiologia humana: uma abordagem integrada**. Porto Alegre: Artmed, 2010.

VABERG, L.; POTOCKI, P.; STENIUS, P. Quantitative measurements of absorbed aminosilanes on muscovite mica using diffuse reflectance infrared faurier transform spectroscopy. **Society for Applied Spectroscopy**. Lugar, v.43, n°7, p. 1240 - 1248, 1989.

VEZZOLI, C. A.; MANZINI, E. **Design for Environmental Sustainability**. Springer: London, 2008.

WATERMAN, N. A.; ASHBY, M. F. CRC: Elsevier Materials Selector,1991. In: KINDLEINJR, W.; CANDIDO, L. H. A. **Caderno de Estudos Avançados em Design: Sustentabilidade I**. Barbacena: EdUEMG, 2009.

WEBSTER, R. **Gems**. Butter Worths: England, 1983.

YOUNG, H; FREEDMAN, R. **Física IV: ótica e física moderna**. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

Anexo A: Propriedades e características do poliéster

Description

The material

Polyesters can be a thermosets, a thermoplastics or elastomers. The unsaturated polyester resins are thermosets. Most polyester thermosets are used in glass fiber/polyester composites. They are less stiff and strong than epoxies, but they are considerably cheaper.

Composition (summary)

(OOC-C6H4-COO-C6H10)n

Image



Caption

Thermosetting polyester is used as the matrix of fiber-reinforced boat and car. The boat cover, too, is polyester.

General properties

Density	1.04e3	-	1.4e3	kg/m ³
Price	* 7.12	-	7.82	BRL/kg
Date first used	1942			

Mechanical properties

Young's modulus	2.07	-	4.41	GPa
Shear modulus	* 0.744	-	1.59	GPa
Bulk modulus	4.5	-	4.7	GPa
Poisson's ratio	0.381	-	0.403	
Yield strength (elastic limit)	* 33	-	40	MPa
Tensile strength	41.4	-	89.6	MPa
Compressive strength	* 36.3	-	44	MPa
Elongation	2	-	2.6	% strain
Hardness - Vickers	9.9	-	21.5	HV
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 16.6	-	35.8	MPa
Fracture toughness	* 1.09	-	1.69	MPa.m ^{0.5}
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 0.00907	-	0.0193	

Thermal properties

Glass temperature	147	-	207	°C
Maximum service temperature	130	-	150	°C
Minimum service temperature	* -123	-	-73.2	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	* 0.287	-	0.299	W/m.°C
Specific heat capacity	* 1.51e3	-	1.57e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	99	-	180	µstrain/°C

Electrical properties

Electrical conductor or insulator?	Good insulator			
Electrical resistivity	3.3e18	-	3e19	µohm.cm
Dielectric constant (relative permittivity)	2.8	-	3.3	
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	* 0.001	-	0.03	
Dielectric strength (dielectric breakdown)	15	-	19.7	1000000 V/m

Values marked * are estimates.

Granta Design provides no warranty for the accuracy of this data

Optical properties

Transparency	Transparent		
Refractive index	1.54	-	1.57

Processability

Castability	3	-	4
Moldability	3	-	4
Machinability	3	-	4
Weldability	1		

Eco properties

Embodied energy, primary production	* 67.7	-	74.9	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 2.83	-	3.12	kg/kg
Recycle	X			

Supporting information

Design guidelines

Thermosetting polyesters are the cheapest resins for making glass or carbon fiber composites, but they have lower strength than epoxies. They can be formulated to cure at or above room temperature. Modifications can improve the chemical resistance, UV resistance and heat resistance without too much change in the ease of processing. Polyester elastomers have relatively high moduli and are stronger than polyurethanes. They have good melt flow properties, low shrinkage, good resistance to oils and fuels. Polyester can be made conductive by adding 30% carbon fiber. As a tape, Mylar is used for magnetic sound recording. Unfilled polyester thermosetting resins are normally used as surface coatings but they tend to be brittle. of Thermosetting polyester has a corroding influence on copper

Technical notes

Polyesters are made by a condensation reaction of an alcohol like ethyl alcohol (the one in beer) and an organic acid like acetic acid (the one in vinegar). The two react, releasing water, and forming an ester.

Typical uses

Laminated structures; Surface gel coatings; Liquid castings; Furniture products; Bowling balls; Simulated marble; Sewer pipe gaskets; Pistol grips; Television tube implosion barriers; Boats; Truck cabs; Concrete forms; Lamp housings; Skylights; Fishing rods.

Tradenames

Celanex, Eastar, Hytrel, Plenco, Rynite, Synolite, Valox, Vybrex

Links

Reference

ProcessUniverse

Producers

ANEXO B: Ficha técnica da resina poliéster



BOLETIM TÉCNICO COMMODITIES

ARAZYN 1.0 - BOLETIM TÉCNICO DA FAMÍLIA

ARA QUÍMICA S/A. - RUA ARTHUR CESAR, 200
18147-000 - ARAÇARIGUAMA - SP - BRASIL • TEL: 0 (0XX) 11 4136 1900

BTE DOCUMENTO 000162

RESINA POLIÉSTER INSATURADO, ORTOFTÁLICA, BAIXA REATIVIDADE, CRISTAL:

DESCRIÇÃO:

A resina padrão da família AZ 1.0 de baixa reatividade e pré-acelerada apresenta, no estado líquido, viscosidade média, alta transparência e ausência de coloração. Após cura, apresenta rigidez, alta transparência e cristalinidade.

OUTRAS RESINAS

Na mesma família, existem outras resinas com características específicas quanto à viscosidade, absorção de raios UV, tixotropia, pigmentação, tempo de gel e não aceleração (NPA). Consultar o departamento técnico da AraAshland.

SUGESTÕES DE USO

Fundição de Objetos de Artesanato e Decoração: painéis, vitrais, tampos de mesa, bijouterias, estátuas, troféus.
Fundição de Peças para Sanitários: assentos sanitários, saboneteiras, lixeiras, porta-toalhas, lavatórios etc.
Indústria de Botões: centrifugação e bastões.
Com Fibra de Vidro na Construção Civil: telhas (processo manual), domus e venezianas.

A resina padrão da família AZ 1.0 aceita como produtos modificadores, corantes na forma pura ou pigmentos na forma de pastas de poliéster não reativo, monômero de estireno como diluente, absorvedores de raios UV, promotores ou inibidores especiais para acelerar ou retardar a cura, agentes tixotrópicos e outros. Há necessidade de testes para identificar o grau de aceitação de cada um desses aditivos. Certamente, a adição deles afeta as características da resina padrão. Em caso de dúvidas, consultar o departamento técnico da AraAshland.

PROPRIEDADES DA RESINA LÍQUIDA AZ 1.0 - Padrão

Viscosidade Brookfield(25°C/LVF sp 2/12 rpm), cps	1400-1800
Gel Time (25°C c/ 1,0 g MEK-P em 100 g resina), minutos	10' - 14'
Intervalo de Pico, minutos	max. 22
Pico Exotérmico, °C	max. 150
Índice de Acidez (em solução), mg KOH/g resina	max. 30
Aspecto	crystal
Cor(curada)	incolor
Teor de Sólidos, %	min. 68 %

OBS: Os valores das propriedades acima obtidos resultam da resina AZ 1.0 na sua forma original (padrão) Qualquer produto adicionado à mesma, afetará tais valores. O catalisador (MEK-P) usado, possui teor de oxigênio ativo de 8,9 a 9,1% e unidade máxima de 3%.

CURA: Usar MEK-P como catalisador man teor que pode variar de 0,6 à 2,0%. A escolha do teor de MEK-P está diretamente ligada à espessura e volume da peça, bem como à temperatura ambiente.

☉ Marca registrada da Ara Química S. A.

Nota: Os dados e resultados de laboratório contidos neste boletim foram determinados pela Ashland através de métodos de análise específicos. A Ara Química/Ashland não garantem a duplicação destes resultados por terceiros. Todos os dados apresentados são fornecidos de boa fé e, tendo a intenção de ser precisos. Os valores são orientativos e todas as recomendações ou sugestões contidas ou baseadas neste boletim deverão ser avaliadas pelo cliente a fim de determinar a aplicabilidade ou adequação para seu uso particular.

Todas as etiquetas e notas de precaução devem ser lidas e entendidas pelo cliente. Consulte a Ara Química e as regulamentações oficiais para maiores informações adicionais sobre segurança e saúde no manuseio do produto. O cliente é responsável por estar em acordo com a aplicabilidade das leis federais, estaduais ou municipais e regulamentos que cubram o uso do produto. Deve-se dar maior atenção às aplicações do consumidor final. A liberdade de uso de qualquer patente pertencente a Ashland ou outros não está incluída neste documento.

ARAZYN® 1.0 (continuação)

PROPRIEDADES MECANICAS - VALORES TÍPICOS*

PROPRIEDADES FÍSICAS DA RESINA CURADA** A 25 °C SEM REFORÇO (pós-cura 2 horas à 80°C):

<u>TESTE</u>	<u>VALOR</u>	<u>MÉTODO DE TESTE</u>
Resistência à Tração, psi	8.100	ASTM D-638
Módulo na Tração, psi X10 ⁵	2,85	ASTM D-638
Alongamento, %	3,2	ASTM D-638
Resistência à Flexão, psi	12.000	ASTM D-790
Módulo na Flexão, psi X10 ⁵	4,0	ASTM D-790
Temperatura de Distorção Térmica, °C	65	ASTM D-648
Dureza Barcol , 2 horas	35-40 B	ASTM D-2583

*Valores Típicos: Baseados em materiais testados em nossos laboratórios, mas com variação de amostra para amostra. Valores típicos não devem ser considerados como uma garantia de análise de algum lote específico ou como item de especificação.

** Sistema de Cura: 1,0 g MEK-P em 100 de resina, seguido de pós-cura de 2 horas à 80 °C.

EMBALAGEM PADRÃO:	Tambor não retornável com 220 kg (peso líquido)
IDENTIFICAÇÃO REQUERIDA:	Líquido inflamável
CÓDIGO:	AZ 1.0#00 (padrão)
	AZ 1.0#XX (outras resinas da mesma família)

MANUSEIO:

A resina AZ 1.0 contém produtos que podem ser perigosos se não forem manuseados adequadamente. O contato com a pele e olhos deve ser evitado e é necessário o uso de EPIs (Equipamentos de Proteção Individual).

A AraAshland mantém a FISP (Folhas de Informações de Segurança de Produto) de todos os seus produtos à disposição do consumidor. As FISPs contêm informações de segurança, saúde e procedimentos adequados de manuseio, a fim de proteger seus empregados e consumidores.

ARMAZENAMENTO RECOMENDADO:

Tambores: Manter à temperatura de 25°C ou menor. O tempo de vida do produto na estocagem diminui com o aumento da temperatura de estocagem. Evite exposição às fontes de aquecimento tais como luz do sol ou tubulações de vapor. Manter a embalagem vedada para prevenir contra umidade e evaporação do estireno.

Tanques: Armazenar em tanques de aço inoxidável ou revestido com tinta de base epóxi ou fenólica. Verifique as condições de armazenagem de forma a evitar umidade e/ou calor

VIDA ÚTIL:

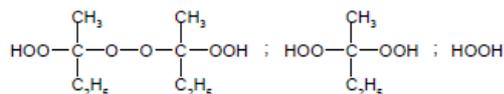
Este produto tem vida útil limitada. Quando armazenado de acordo com as recomendações acima, o produto tem vida útil mínima de 03 (três) meses.

Anexo C: Ficha técnica do catalisador



Butanox[®] M-50

Product description Methyl ethyl ketone peroxide, solution in dimethyl phthalate



CAS No. : 1338-23-4
 EINECS/ELINCS No. : 215-661-2
 TSCA status : listed on inventory

Specifications Appearance : Clear and colorless liquid
 Total active oxygen : 8.8-9.0%

Characteristics Density, 20°C : 1.180 g/cm³
 Viscosity, 20°C : 24 mPa.s
 Water content : max. 3.0%

Storage Due to the relatively unstable nature of organic peroxides a loss of quality can be detected over a period of time. To minimize the loss of quality, Akzo Nobel recommends a maximum storage temperature (T_s max.) for each organic peroxide product.

For *Butanox* M-50 T_s max. = 25°C

When stored under the recommended storage conditions, *Butanox* M-50 will remain within the Akzo Nobel specifications for a period of at least three months after delivery.

Thermal stability Organic peroxides are thermally unstable substances, which may undergo self-accelerating decomposition. The lowest temperature at which self-accelerating decomposition of a substance in the original packaging may occur is the Self-Accelerating Decomposition Temperature (SADT). The SADT is determined on the basis of the Heat Accumulation Storage Test.

For *Butanox* M-50 SADT : 60°C

The Heat Accumulation Storage Test is a recognized test method for the determination of the SADT of organic peroxides (see Recommendations on the Transport of Dangerous Goods, Manual of Tests and Criteria - United Nations, New York and Geneva).

Major decomposition products Carbon dioxide, Water, Acetic acid, Formic acid, Propanoic acid, Methyl ethyl ketone

Packaging and transport

The standard packaging is a 30 l HDPE can (Nourytainer®) for 30 kg peroxide solution.

In Asia Pacific the standard packaging is a 30 l HDPE can for 20 kg peroxide solution.

Both packaging and transport meet the international regulations. For the availability of other packed quantities contact your Akzo Nobel representative.

Butanox M-50 is classified as Organic peroxide type D; liquid; Division 5.2; UN 3105; PG II.

Safety and handling

Keep containers tightly closed. Store and handle *Butanox* M-50 in a dry well-ventilated place away from sources of heat or ignition and direct sunlight. Never weigh out in the storage room.

Avoid contact with reducing agents (e.g. amines), acids, alkalis and heavy metal compounds (e.g. accelerators, driers and metal soaps).

Please refer to the Material Safety Data Sheet (MSDS) for further information on the safe storage, use and handling of *Butanox* M-50. This information should be thoroughly reviewed prior to acceptance of this product. The MSDS is available at www.akzonobel-polymerchemicals.com.

Applications

Butanox M-50 is a general purpose methyl ethyl ketone peroxide (MEKP) for the curing of unsaturated polyester resins in the presence of a cobalt accelerator at room and elevated temperatures.

The curing system *Butanox* M-50/cobalt accelerator is particularly suitable for the curing of gelcoat resins, laminating resins, lacquers and castings; moreover the manufacture of light resistant parts may be possible contrary to the curing system benzoyl peroxide/amine accelerator.

Practical experience throughout many years has proven that by the guaranteed low water content and the absence of polar compounds in *Butanox* M-50, this peroxide is very suitable in GRP products for e.g. marine applications.

For room temperature application it is necessary to use *Butanox* M-50 together with a cobalt accelerator (e.g. Accelerator NL-49P).

Dosing

Depending on working conditions, the following peroxide and accelerator dosage levels are recommended:

<i>Butanox</i> M-50	1 - 4 phr [*]
Accelerator NL-49P	0.5 - 3 phr

^{*} phr = parts per hundred resin

Pot life at 20°C

Pot lives were determined of a mixture of *Butanox* M-50 and a non-preaccelerated UP resin at 20°C.

2 phr <i>Butanox</i> M-50	12 h
4 phr <i>Butanox</i> M-50	7 h

Solubility

Butanox M-50 is miscible with phthalates and slightly miscible with water.

Colors

Butanox M-50 is available in the colors blue, yellow-A, red-YM and red-YM 1/6.

Butanox and *Nourytainer* are registered trademarks of Akzo Nobel Chemicals BV or affiliates in one or more territories.

All information concerning this product and/or suggestions for handling and use contained herein are offered in good faith and are believed to be reliable. Akzo Nobel Polymer Chemicals, however, makes no warranty as to accuracy and/or sufficiency of such information and/or suggestions, as to the product's merchantability or fitness for any particular purpose, or that any suggested use will not infringe any patent. Nothing contained herein shall be construed as granting or extending any license under any patent. Buyer must determine for himself, by preliminary tests or otherwise, the suitability of this product for his purposes. The information contained herein supersedes all previously issued bulletins on the subject matter covered. The user may forward, distribute, and/or photocopy this document only if unaltered and complete, including all of its headers and footers, and should refrain from any unauthorized use. You may not copy this document to a website.



Akzo Nobel Polymer Chemicals BV
Amersfoort, The Netherlands
Tel. +31 33 467 6767
Fax +31 33 467 6151
polymerchemicals.nl@akzonobel-pc.com

Akzo Nobel Polymer Chemicals LLC
Chicago, U.S.A.
Tel. +1 312 544 7000
1 800 828 7529 (Toll free US only)
Fax +1 312 544 7188
polymerchemicals.na@akzonobel-pc.com

Akzo Nobel Polymer Chemicals Ltd.
Shanghai, PR China
Tel. +86 21 6279 3399
Fax +86 21 6247 1129
polymerchemicals.ap@akzonobel-pc.com

www.akzonobel-polymerchemicals.com

TS 65421.05/June 2005

Anexo D: Ficha técnica dos pigmentos



BOLETIM TÉCNICO

ver.06.13



PIGMENTOS EM PASTA - PNR

Pigmento concentrado em pasta não reativa (PNR) com alto poder de cobertura.

UTILIZAÇÃO:

Center-Past é um composto de pigmentos inorgânicos dispersos e moídos em veículo não reativo, especialmente aditivados, nas mais variadas cores, utilizado para colorir sistemas de resinas poliéster insaturado. Sua fineza de moagem permite a obtenção de acabamentos coloridos de alto brilho. Usado na fabricação de Gel coats, Pultrusão, laminação, artesanatos, etc.

DOSAGEM:

A quantidade de pasta a ser utilizada poderá variar em função da cor, tonalidade e cobertura desejada. Normalmente adiciona-se entre 2 e 10 % de pasta no sistema desejado.

CARACTERÍSTICAS:

COMPOSIÇÃO	Pigmentos inorgânicos em resina não reativa.	
ASPECTO	Pasta densa	
SOLUBILIDADE	Resinas poliéster e monômero de estireno	
	Finura por grindômetro (micron)	PP 01 – 485 6 – 8

EMBALAGEM:

Este produto encontra-se disponível em embalagens de ¼ gl, galões e baldes.

CONDIÇÕES RECOMENDADAS DE ARMAZENAMENTO:

A pasta deve ser mantida entre 20-25°C em local coberto e seco. A não observância dessas condições poderá resultar em alterações das características do produto, inclusive de sua vida útil.

ESTABILIDADE:

Sob as condições recomendadas de armazenamento, a estabilidade da pasta é de 12 meses após a data de fabricação.

SEGURANÇA:

As instruções sobre manuseio e precauções, recomendadas para o uso deste produto, estão contidas na "Folha de Dados de Segurança do Produto". Queira solicitá-la, caso haja interesse em utilizar o produto descrito.

Fiber Center Indústria e Comércio Ltda.

Fábrica e Vendas: (11) 4746-5700 - Depto.Técnico: (11) 99102-0916 – 84135-8410
 Lojas: Santo André (11) 4066-4803 - Campinas (19) 3281-5111 - Curitiba (41) 3021-5357
 Belo Horizonte (31) 3411-4080 - S.J.Rio Preto (17) 3238-4530
 Site: www.fibercenter.com.br – e-mail: vendas@fibercenter.com.br – dteo@fibercenter.com.br

Anexo E: o que é o índice ultravioleta?

O QUE É ÍNDICE ULTRAVIOLETA (IUV)?

O Índice Ultravioleta (IUV) é uma medida da intensidade da radiação UV, relevante aos efeitos sobre a pele humana, incidente sobre a superfície da Terra. O IUV representa o valor máximo diário da radiação ultravioleta. Isto é, no período referente ao meio-dia solar, o horário de máxima intensidade de radiação solar.

Como a cobertura de nuvens é algo muito dinâmico e variável, o IUV é sempre apresentado para uma condição de céu claro. Isto é, para ausência de nuvens que, na maioria dos casos, representa a máxima intensidade de radiação.

O IUV é apresentado como um número inteiro. De acordo com recomendações da Organização Mundial da Saúde, esses valores são agrupados em categorias de intensidades, conforme mostra a tabela abaixo:

CATEGORIA	ÍNDICE ULTRAVIOLETA
BAIXO	< 2
MODERADO	3 a 5
ALTO	6 a 7
MUITO ALTO	8 a 10
EXTREMO	> 11

Como o IUV é calculado?

Alguns elementos são imprescindíveis para o cálculo do IUV:

Concentração de Ozônio

O ozônio é o principal responsável pela absorção de radiação UV. A concentração de ozônio, medida em unidades Dobson (DU), integrada na coluna atmosférica é utilizada como parâmetro de entrada no modelo computacional utilizado para o cálculo do IUV. Essa concentração de ozônio é distribuída verticalmente de acordo com perfis atmosféricos teóricos relativos a posição geográfica da localidade. A concentração máxima de ozônio localiza-se na estratosfera (entre 20 e 40km de altitude).

Posição geográfica da localidade

O fluxo de radiação UV diminui com o aumento da distância ao Equador. Ou seja, regiões mais próximas à linha do Equador recebem maior quantidade de energia solar.

Altitude da superfície

Quanto mais alta é a localidade, menor é o conteúdo de ozônio integrado na coluna atmosférica e, conseqüentemente, maior a quantidade de energia ultravioleta incidente na superfície. De acordo com perfis teóricos de distribuição vertical, a quantidade de ozônio decresce em torno de 1% para cada quilômetro; o que provoca aumento de cerca de 6 a 8% a quantidade de energia UV incidente.

Hora do dia

Cerca de 20 a 30% da quantidade de energia UV no verão chega a Terra em torno do meio-dia (entre 11h e 13h), e cerca de 70 a 80% entre as 9h e 15h.

Estação do ano

A irradiância (quantidade de energia por área) UVB diária em torno de 20° de latitude aumenta cerca de 25% no verão e diminui de 30% no inverno, em relação aos períodos de primavera/outono. Em zonas de maior latitude (cerca de 40°), esses valores correspondem a + 70% e -70%, respectivamente.

Condições atmosféricas (presença ou não de nuvens, aerossóis, etc.)

A presença de nuvens e aerossóis (partículas em suspensão na atmosfera) atenua a quantidade de radiação UV em superfície. Porém, parte dessa radiação não é absorvida ou refletida por esses elementos e atinge a superfície terrestre. Deste modo, dias nublados também podem oferecer perigo, principalmente para as pessoas de pele sensível.

Tipo de superfície (areia, neve, água, concreto, etc.)

A areia pode refletir até 30% da radiação ultravioleta que incide numa superfície, enquanto na neve fresca essa reflexão pode chegar a mais de 80%. Superfícies urbanas apresentam reflexão média entre 3 a 5%. Este fenômeno aumenta a quantidade de energia UV disponível em um alvo localizado sobre este tipo de solo, aumentando os riscos em regiões turísticas como praias e pistas de esqui.

Calculando o IUV

Todas essas características acima são levadas em consideração como parâmetros de entrada no modelo computacional utilizado para os cálculos. As irradiâncias espectrais (quantidade de energia por unidade de área e por comprimento de onda - W/m²/nm) são calculadas a partir dos parâmetros de entrada: quantidade de ozônio (avaliada de acordo com o nível da superfície em relação ao nível do mar), posição do Sol, tipo de superfície e cobertura de nuvens e aerossóis.

Essa irradiância espectral é ponderada pela resposta da pele humana à radiação ultravioleta, formulada segunda norma da CIE (Commission on Illumination), denominada Espectro de Ação Eritêmica. Esse espectro corresponde à "resposta" biológica de pele humana a este tipo de radiação. Uma vez ponderada, a irradiância - agora chamada de Irradiância Eritêmica - é integrada no intervalo espectral entre 280 e 400nm (UVB e UVA). Matematicamente tem-se que:

$$IUV = C \int_{280nm}^{400nm} E_{\lambda} \epsilon_{\lambda} d\lambda$$

Onde E_{λ} é a irradiância espectral em superfície [W/m²/nm], ϵ_{λ} é o espectro de ação eritêmica e C é a constante de conversão equivalente a 40 W/m². Desse modo, o IUV nada mais é do que um formato simplificado para a apresentação da Irradiância Eritêmica. Cada unidade de IUV corresponde a 25 mW/m² de energia.