

ESCOLA DE  
**DESIGN**



Pós-Graduação *Stricto Sensu*  
Mestrado em Design

**TÉCNICAS DE VALORIZAÇÃO DO QUARTZO COMO MATÉRIA-  
PRIMA DO TERRITÓRIO BRASILEIRO A SER APLICADO NO  
DESIGN DE JOIAS**

**ANDREIA SALVAN PAGNAN**

**Julho de 2016**

**ANDREIA SALVAN PAGNAN**

**TÉCNICAS DE VALORIZAÇÃO DO QUARTZO COMO MATÉRIA-PRIMA DO TERRITÓRIO BRASILEIRO A SER APLICADO NO DESIGN DE JOIAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade do Estado de Minas Gerais- UEMG, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Design.

Linha de pesquisa: Design, materiais, tecnologias e processos

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Regina Álvares Correia Dias  
UEMG- Escola de Design

Coorientador: Prof. Dr. Antonio Valadão Cardoso  
UEMG- Escola de Design

Julho de 2016

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho,  
por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que  
citada a fonte

P128t Pagnan, Andreia Salvan.

Técnicas de valorização do quartzo como matéria-prima do território brasileiro a ser aplicado no design de jóias [manuscrito] / Andreia Salvan Pagnan. - 2016.

140 f. ; il. (algumas color.). tabs. fotos. ; 31 cm.

Orientadora: Maria Regina Álvares Dias

Coorientador: Antônio Valadão Cardoso.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Design.

Bibliografia: f. 134-140

1. Desenho (Projeto) – Gemas (Mineralogia) – Brasil - Teses. 2. Quartzo - Jóias (Confecção) – Teses. 3. Irradiação – Quartzo - Teses. 4. Desenho (Projeto) – Jóias – Comercialização - Teses. I. Dias, Maria Regina Álvares. II. Cardoso, Antônio Valadão. III. Universidade do Estado de Minas Gerais. Escola de Design. IV. Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (Brasil). V. Título.

CDU: 739.2

## TÉCNICAS DE VALORIZAÇÃO DO QUARTZO COMO MATÉRIA-PRIMA DO TERRITÓRIO BRASILEIRO A SER APLICADO NO DESIGN DE JOIAS.

Autora: Andréia Salvan Pagnan

Esta dissertação foi julgada e aprovada em sua forma final para a obtenção do título de Mestre em Design no Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade do Estado de Minas Gerais.

Belo Horizonte, 13 de julho de 2016.

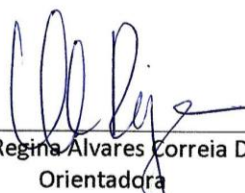


Rita de Castro Engler  
Coordenação Doutorado e Mestrado  
MASP: 1160198-6  
ESCOLA DE DESIGN - UEMG

---

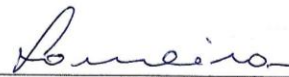
Prof<sup>a</sup>. Rita de Castro Engler  
Coordenadora do PPGD

BANCA EXAMINADORA



---

Profa. Maria Regina Alvares Correia Dias, Dra.  
Orientadora  
Universidade do Estado de Minas Gerais



---

Prof. Fernando Soares Lameiras, Dr.

Centro de Desenvolvimento da Tecnologia  
Nuclear



---

Prof. Antônio Valadão Cardoso, Dr.

Universidade do Estado de Minas Gerais



---

Professora Convidada

Profa. Maria Bernadete Santos Teixeira, Msc.  
Universidade do Estado de Minas Gerais

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores do Programa de Pós-graduação em Design (PPGD) da Escola de Design da Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) que contribuíram para o conhecimento adquirido ao longo desta pesquisa.

Agradeço à minha orientadora, professora Regina Álvares Dias, por caminhar ao meu lado desde a construção das ideias para esta pesquisa. Ao meu coorientador, Antonio Valadão Cardoso, por contribuir com seu conhecimento e experiência em pesquisa.

Ao Fernando Lameiras, professor do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN, que como parceiro além de contribuir com o conhecimento técnico sobre irradiação e tratamento térmico do quartzo, cedeu o espaço e equipamentos do Laboratório de Irradiação Gama (LIG) do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN-CNEN/MG.

Ao Wanderley Lopes Ferreira, lapidário de grande experiência, que colaborou com seu conhecimento sobre quartzo e com amostras para realização de testes. Da mesma forma, agradeço às empresas que comercializam gemas brasileiras, Pentágono Industrial exportadora e Silva Stones, que abriram suas portas para esta pesquisa.

Ao Raymundo Vianna, presidente do Sindicato das Indústrias de Joalherias (SINDJOIAS), pelo incentivo em mobilizar atores da cadeia produtiva joalheira na contribuição para com esta pesquisa.

Ao SENAI-CECOTEG pelo apoio nos registros fotográficos das amostras de quartzo, cedendo o espaço de estúdios fotográficos e seus funcionários.

Ao Centro de Estudos em Gemas e Joias – CEDGEM da Escola de Design da Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) pelo apoio constante.

À minha filha Caroline e ao Artur agradeço por compartilharem suas experiências com pesquisa e como designers que em muito contribuíram para a viabilização dos dispositivos para testes de percepção confeccionados no FABLAB da Escola de design da UEMG.

Ao meu filho Túlio, pela contribuição com o tratamento de imagens e com seu apurado olhar

estético. Ao meu marido Getulio, pela compreensão e apoio constante.

Aos colegas que caminharam comigo mostrando apoio e compartilhando ideias para a realização da pesquisa.

Ao Rodrigo e à Janaína que são sempre tão solícitos em resolver e solucionar problemas durante o percurso dos mestrados.

E por fim, agradeço à CAPES pelo apoio financeiro que tornou possível a realização desta pesquisa.

## RESUMO

PAGNAN, Andreia Salvan. **Técnicas de valorização do quartzo como matéria-prima do território brasileiro a ser aplicado no design de joias**. 2016. 160 f. Dissertação de (Mestrado em Design) – Escola de Design, Programa de Pós-graduação em Design da Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

O Brasil é responsável por cerca de um terço do volume de gemas do mundo, sendo os estados que contribuem com esses dados como produtores o estado de Minas Gerais, Rio grande do Sul, Bahia, Goiás, Pará e Tocantins. Dentre as gemas oriundas do solo brasileiro o quartzo é um exemplo de pedra que tem grande parte de sua produção destinada à exportação para Alemanha, Tailândia e China. São exportados na forma bruta, vendidas a baixo custo e posteriormente importadas beneficiadas e aplicadas em joias, o que causa perdas econômicas para o setor joalheiro brasileiro. O Brasil perde a oportunidade de mostrar seu design com aplicação de matéria-prima local. O design possui a função de agregar valor a essa matéria-prima por meio de atuação na cadeia de valor, mobilizando os diversos níveis dela como: beneficiadores, transformadores e indústrias. O beneficiamento é o foco desta pesquisa que propõe um levantamento das principais técnicas e um estudo detalhado da irradiação e tratamento térmico como agregadores de valor ao quartzo. Ambas as técnicas foram testadas em amostras de quartzos de diferentes regiões e posteriormente utilizadas para uma pesquisa de percepção acerca da coloração com designer de joias e profissionais do setor joalheiro. Os estudos mostraram um desconhecimento por parte dos designers acerca dos processos de irradiação gama e tratamento térmico para coloração de gemas e seus resultados, desconhecendo também o quanto o tais processos agregam de valor às gemas em relação ao seu aspecto inicial incolor. A pesquisa de campo realizada com comerciantes de pedras, garimpeiros e lapidadores mostrou que existe uma dificuldade em compartilhar informações por parte dos mesmos, o que enfraquece o setor joalheiro, uma vez que dificulta a formação de cooperativas e associações na busca de maior competitividade das empresas.

Palavras-chave: quartzo, irradiação gama, tratamento térmico, design de joias

## ABSTRACT

PAGNAN, Andreia Salvan. **Techniques for improving quartz as raw material from Brazilian territory to application in jewelry design**. 2016. 160 f. Dissertação de (Mestrado em Design) – Escola de Design, Programa de Pós-graduação em Design da Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

*Brazil accounts for about a third of the volume of the world's gems, with the states contributing to that data producers as the state of Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Bahia, Goiás, Pará and Tocantins. Among the gems originated the Brazilian ground quartz is an example of stone that has most of its production destined for export to Germany, Thailand and China. They are exported in raw form, sold at low cost and imported subsequently benefited and applied in jewelry, causing economic losses to the Brazilian jewelry industry. Brazil loses the opportunity to showcase their design with application of local raw materials. The design has the function to add value to this raw material by means of operation in the value chain, mobilizing her various levels such as processors, transformers and industries. The processing is the focus of this research proposes that a survey of the main techniques and a detailed study of irradiation and heat treatment as the quartz value aggregators. Both techniques were tested in quartz samples from different regions and subsequently used for a perception survey about coloring with jewels and designer jewelry industry professionals. The purpose of perception tests consisted of measuring the degree of knowledge on the part of these professionals on how productive chain actors jewelry gems on the coloring process through these processing. The studies showed unawareness about the designers of the irradiation range and heat treatment processes for coloration of gemstones and their results also unaware of such processes as aggregate value gems in relation to its initial colorless appearance. The field survey of stones traders, miners and cutters showed that there is a difficulty in sharing information from the latter, which weakens the jewelry industry, as it hinders the formation of cooperatives and associations in the pursuit of increased business competitiveness.*

*Keywords: quartz, gamma irradiation, heat treatment, Jewelry design*



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: MATERIAIS USADOS NAS JOIAS NA PRIMEIRA METADE DO SÉCULO XX.....	10
FIGURA 2: MATERIAIS USADOS NAS JOIAS NA SEGUNDA METADE DO SÉCULO XX .....	12
FIGURA 3: PULSEIRA DE COPO (ACERVO DO MUSEU CARLOS COSTA PINTO, SALVADOR) .....	14
FIGURA 4: ELOS DA CADEIA PRODUTIVA DE GEMAS, JOIAS E AFINS .....	16
FIGURA 5: ATRIBUTOS ESTÉTICOS E SEUS RESPECTIVOS SENTIDOS .....	26
FIGURA 6: DIMENSÃO DE VALOR DE UM PRODUTO OU SERVIÇO.....	29
FIGURA 7: PEÇA FINALISTA DO PRÊMIO IBGM DESIGN 2010 .....	34
FIGURA 8: COLAR FLOR DO CERRADO (A), PRASIOLITA (B), RUBELITA (C) .....	35
FIGURA 9: COLAR EM OURO BRANCO E GEMAS BRASILEIRAS IRRADIADAS .....	36
FIGURA 10: AMOSTRAS DAS VARIEDADES DE OPALA.....	40
FIGURA 11: TOPÁZIO IMPERIAL.....	40
FIGURA 12: EIXOS CRISTALOGRAFICOS DE UM SISTEMA CRISTALINO .....	42
FIGURA 13: SISTEMA CRISTALINO TRIGONAL DO QUARTZO .....	43
FIGURA 14: SISTEMA CRISTALINO HEXAGONAL .....	43
FIGURA 15: VARIEDADES DE QUARTZO.....	46
FIGURA 16: QUARTZO COM INCLUSÃO DE GOETHITA.....	49
FIGURA 17: LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DAS OCORRÊNCIAS DE QUARTZO NO ESTADO DE MINAS GERAIS.....	52
FIGURA 18: CRISTAIS DE QUARTZO COM REVESTIMENTO DE SUPERFÍCIE .....	54
FIGURA 19: TOPÁZIO IMPERIAL TRATADO TERMICAMENTE .....	55
FIGURA 20: TRATAMENTO TÉRMICO EM QUARTZOS DE MINAS GERAIS.....	59
FIGURA 21: FONTE IRRADIADOR PANORÂMICO MULTIPROPÓSITO.....	62
FIGURA 22: ESQUEMA DE FONTES RADIOATIVAS DOS IRRADIADORES GAMA INDUSTRIAIS.....	62
FIGURA 23: ESQUEMA FUNCIONAMENTO DO LABORATÓRIO DE IRRADIAÇÃO DO CDTN.....	63
FIGURA 24: DOSES DE RADIAÇÃO GAMA APLICADA EM QUARTZOS.....	64
FIGURA 25: IMPUREZAS RESPONSÁVEIS PELA COLORAÇÃO NO QUARTZO .....	65
FIGURA 26: MODELO DE CENTRO DE COR NO QUARTZO FUMÊ .....	66
FIGURA 27: ESPECTRO DE ABSORÇÃO NO INFRAVERMELHO DE AMOSTRA DE SÃO JOSÉ DA SAFIRA (MG).....	67
FIGURA 28: ESQUEMA DE CORES RESULTANTES DE DIFERENTES PROCESSOS.....	70
FIGURA 29: ESPECTRO DE ABSORÇÃO DE QUARTZO HIALINO E COLORAÇÃO RESULTANTE .....	72
FIGURA 30: AMOSTRA DE AMETISTAS IRRADIADAS A 450 KGY.....	73
FIGURA 31: QUARTZOS GREEN GOLD BRUTO E LAPIDADO TRATADO POR IRRADIAÇÃO .....	74
FIGURA 32: FLUXOGRAMA DE ETAPAS .....	78
FIGURA 33: TRATAMENTO TÉRMICO REALIZADO EM FORNO MARCA MINIPA.....	83
FIGURA 34: QUARTZO INCOLOR DO PARA DE PESO 98 GRAMAS.....	84
FIGURA 35: ESPECTRO FTIR DE QUARTZO INCOLOR DO PARÁ.....	85
FIGURA 36: ETAPAS DE TRATAMENTO EM QUARTZO INCOLOR DO PARÁ PARA COLORAÇÃO OLIVA.....	85

FIGURA 37: AMOSTRA DE QUARTZO INCOLOR DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, PESO 225,2 GRAMAS .....	86
FIGURA 38: ESPECTRO FTIR DE QUARTZO INCOLOR DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO.....	87
FIGURA 39: POSSIBILIDADES DE CORES NO QUARTZO INCOLOR DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO .....	87
FIGURA 40: AMOSTRA DE QUARTZO INCOLOR DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, PESO 94 GRAMAS .....	89
FIGURA 41: ESPECTRO FTIR DE QUARTZO INCOLOR DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO.....	89
FIGURA 42: ETAPAS DE BENEFICIAMENTO DE QUARTZO INCOLOR DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO.....	90
FIGURA 43: AMOSTRA DE QUARTZO INCOLOR DE CORONEL MURTA (MG), PESO 176,0 GRAMAS .....	91
FIGURA 44: ESPECTRO FTIR DE QUARTZO INCOLOR DE CORONEL MURTA (MG).....	91
FIGURA 45: AMOSTRA DE AMETISTA DE BREJINHO DAS AMETISTAS (BA), PESO 325,0 GRAMAS.....	92
FIGURA 46: FTIR DE AMETISTA DE BREJINHO DAS AMETISTAS (BA).....	93
FIGURA 47: ETAPAS INICIAIS DE BENEFICIAMENTO DE AMETISTAS DE BREJINHO DAS AMETISTAS (BA).....	95
FIGURA 48: ETAPAS FINAIS DE BENEFICIAMENTO DE AMETISTAS DE BREJINHO DAS AMETISTAS (BA).....	95
FIGURA 49: CORTE DE AMETISTA DE BREJINHO DAS AMETISTAS (BA) .....	97
FIGURA 50: SEQUÊNCIA DE ETAPAS DE AQUECIMENTO DE AMETISTAS DE BEJINHO DAS AMETISTAS (BA) .....	97
FIGURA 51: ETAPAS DE BENEFICIAMENTO DE AMETISTAS PARA OBTENÇÃO DE COR CINZA-AZULADO.....	99
FIGURA 52: AMETISTA DE COR VIOLETA INTENSA DE BREJINHO DAS AMETISTAS (BA), PESO 68,0 GRAMAS ...	100
FIGURA 53: ESPECTRO FTIR DE AMETISTA DE COR VIOLETA INTENSA DE BREJINHO DAS AMETISTAS (BA) .....	101
FIGURA 54: ETAPAS DE TRATAMENTO TÉRMICO EM AMETISTAS PARA OBTENÇÃO DE CITRINO.....	102
FIGURA 55: DESENHO ESQUEMÁTICO DE PROJETO DA PLACA DE ACRÍLICO E PEÇA FINAL.....	105
FIGURA 56: LOCAL DE REALIZAÇÃO DOS TESTES PELO PARTICIPANTE .....	105
FIGURA 57: AMOSTRAS DE QUARTZO UTILIZADAS NO TESTE 1 .....	108
FIGURA 58: RESUMO DE TAREFAS REALIZADAS PELOS PARTICIPANTES NO TESTE 1, ETAPAS 1 E 2.....	108
FIGURA 59: PAINÉIS DE IMAGENS UTILIZADAS PELOS PARTICIPANTES NA REALIZAÇÃO DO TESTE 1, ETAPA 3.	109
FIGURA 60: PAINÉIS DE PÚBLICO USUÁRIO DE JOIAS UTILIZADO PELOS PARTICIPANTES NO TESTE 1, ETAPA 4	110
FIGURA 61: RESUMO DE TAREFAS REALIZADAS PELOS PARTICIPANTES NO TESTE 1, ETAPAS 3 E 4.....	111
FIGURA 62: RESULTADOS DA PERCEPÇÃO DE VALOR MONETÁRIO DE QUARTZO BENEFICIADOS.....	112
FIGURA 63: RESULTADOS DA ASSOCIAÇÃO ENTRE GEMAS E IMAGENS DURANTE O TESTE 1, ETAPA 3.....	113
FIGURA 64: RESULTADOS DA APLICAÇÃO DAS GEMAS DE ACORDO COM O PÚBLICO USUÁRIO .....	114
FIGURA 65: AMOSTRAS DE AMETISTAS UTILIZADAS NO TESTE 2 .....	115
FIGURA 66: RESUMO DE TAREFAS REALIZADAS PELOS PARTICIPANTES NO TESTE 2, ETAPAS 2 E 3.....	116
FIGURA 67: DESCRITORES UTILIZADOS NA REALIZAÇÃO DO TESTE 2, ETAPA 4.....	116
FIGURA 68: RESUMO DE TAREFAS REALIZADAS PELOS PARTICIPANTES NO TESTE 2, ETAPA 4.....	117
FIGURA 69: NUVEM DE PALAVRAS UTILIZADAS PELOS PARTICIPANTES SOBRE AMOSTRA 1.....	117
FIGURA 70: NUVEM DE PALAVRAS UTILIZADAS PELOS PARTICIPANTES SOBRE AMOSTRA 1.....	118
FIGURA 71: RESULTADOS DA PERCEPÇÃO DE VALOR MONETÁRIO DE AMETISTAS NO TESTE 2, ETAPA 3.....	119
FIGURA 72: RESULTADOS DOS ATRIBUTOS DE SIGNIFICADO PARA AMOSTRA 1, TESTE 2, ETAPA 4.....	119
FIGURA 73: RESULTADOS DOS ATRIBUTOS DE SIGNIFICADO PARA AMOSTRA 2, TESTE 2, ETAPA 4.....	120
FIGURA 74: AMOSTRAS DE AMETISTAS UTILIZADAS NO TESTE 3 .....	121
FIGURA 75: RESUMO DE TAREFAS REALIZADAS PELOS PARTICIPANTES NO TESTE 3, ETAPAS 1 E 2.....	122

FIGURA 76: ALTERNATIVAS DE PERFIS DO USUÁRIO DE JOIAS UTILIZADAS PELOS PARTICIPANTES.....	122
FIGURA 77: RESUMO DE TAREFAS REALIZADAS PELOS PARTICIPANTES NO TESTE 3, ETAPA 3.....	123
FIGURA 78: NOMENCLATURAS ASSOCIADAS ÀS GEMAS DURANTE O TESTE 3, ETAPA 1.....	124
FIGURA 79: RESULTADO DO VALOR PERCEBIDO NAS AMETISTAS BENEFICIADAS EM RELAÇÃO À AMOSTRA 1	125
FIGURA 80: RESULTADOS DA APLICAÇÃO DAS AMOSTRAS AO GÊNERO E IDADE DOS USUÁRIOS.....	125
FIGURA 81: RESULTADOS DA APLICAÇÃO DAS AMOSTRAS DE ACORDO COM OCASIÃO E ESTILO.....	127
FIGURA 82: FORMA PARTICULAR DE OBSERVAÇÃO DA AMOSTRA PELO PARTICIPANTE DURANTE O TESTE ....	127
FIGURA 83: APLICAÇÃO DAS GEMAS NAS PEÇAS.....	128

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: DADOS COMPARATIVOS DA EXPORTAÇÃO BRASILEIRA DE PEDRAS E METAIS PRECIOSOS.....	17
TABELA 2: PROBLEMAS NOS PROCESSOS PRODUTIVOS JOALHEIROS .....	38
TABELA 3: AMETISTAS TRATAAS TERMICAMENTE.....	57
TABELA 4: CITRINOS RESULTANTES .....	58
TABELA 5: IRRADIADORES GAMA INSTALADOS NO BRASIL.....	61
TABELA 6: CARACTERIZAÇÃO DE QUARTZOS COM ESTUDOS DE ESPECTROSCOPIA .....	69

# SUMÁRIO

## Capítulo 1

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>2</b>
<b>1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>4</b>
<b>1.3 PRESSUPOSTOS</b> .....	<b>5</b>
<b>1.4 OBJETIVOS</b> .....	<b>6</b>
1.4.1 Objetivo geral .....	6
1.4.2 Objetivos específicos .....	6
<b>1.5 RESULTADOS ESPERADOS</b> .....	<b>6</b>

## Capítulo 2

<b>2.1 O CONTEXTO DA JOIA</b> .....	<b>8</b>
2.1.1 Aspectos históricos da joalheria .....	8
2.1.2 Joalheria brasileira .....	13
2.1.3 A aplicação de pedras na joalheria brasileira .....	14
<b>2.2 A CADEIA PRODUTIVA DA JOALHERIA</b> .....	<b>16</b>
<b>2.3 A VALORIZAÇÃO DAS GEMAS COMO MATÉRIA-PRIMA BRASILEIRA</b> .....	<b>19</b>
2.3.1 A percepção de valor dos materiais por parte do usuário .....	21
2.3.2 Métodos gerais aplicados à pesquisa de percepção com materiais.....	21
2.3.3 Avaliação da percepção subjetiva dos materiais.....	23
2.3.4 Avaliação emocional dos materiais .....	23
2.3.5 Avaliação da percepção dos significados do material .....	24
2.3.6 O valor percebido nas gemas e joias .....	25
2.3.6.1 Atributos objetivos das gemas como material .....	25
2.3.6.2 Atributos subjetivos dos materiais .....	26
2.3.6.3 A percepção sensorial das gemas pelos usuários .....	27
2.3.6.4 O papel do design no setor joalheiro .....	30
2.3.6.5 O designer brasileiro no setor de joias.....	33
2.3.7 O beneficiamento na valorização das gemas .....	37
2.3.8 As gemas como um indicador geográfico .....	38
<b>2.4 QUARTZO: COMPOSIÇÃO E CARACTERÍSTICAS</b> .....	<b>41</b>
2.4.1 Composições químicas e cristalográficas do quartzo .....	41
2.4.2 Variedades de quartzo .....	44
2.4.2.1 Quartzo cristal de rocha .....	45
2.4.2.2 Ametista .....	46
2.4.2.3 Citrino.....	47
2.4.2.4 Quartzo rosa .....	47
2.4.2.5 Quartzo azul.....	48
2.4.2.6 Quartzo fumê ou <i>Cairgorm</i> .....	48
2.4.2.7 Quartzos com inclusões .....	48
2.4.2.8 Relação da composição e origem do quartzo com a cor.....	49
<b>2.5 QUARTZO: FORMAS DE BENEFICIAMENTOS</b> .....	<b>53</b>
2.5.1 Beneficiamento por tratamento térmico.....	55
2.5.1.1 Principais gemas tratadas termicamente.....	56
2.5.1.1.1 Ametistas .....	56
2.5.1.1.2 Citrinos.....	57
2.5.1.1.3 Quartzo fumê .....	58
2.5.2 Beneficiamento por irradiação .....	59

2.5.2.1	Tipos de radiações .....	60
2.5.2.1.1	Aparelhos de radiação gama.....	60
2.5.2.2	Centro de cor no quartzo .....	64
2.5.2.3	Identificação do potencial de coloração nos quartzos.....	66
2.5.2.4	Principais gemas tratadas com irradiação.....	69
2.5.2.4.1	Ametistas .....	71
2.5.2.4.2	Citrinos.....	72
2.5.2.4.3	Prasiolitas.....	72
2.5.2.4.4	Quartzo green-gold .....	73
2.5.2.4.5	Quartzo fumê .....	74
2.5.3	Normas para comercialização de gemas tratadas .....	74

### Capítulo 3

<b>3.1</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>78</b>
3.1.1	Fundamentação teórica .....	79
3.1.2	Eleição das técnicas de beneficiamento .....	79
3.1.3	Pesquisa de campo sobre as técnicas de beneficiamento escolhidas .....	79
3.1.4	Proposta de novas formas de coloração de quartzo .....	79
3.1.5	Avaliação da percepção do usuário quanto à coloração das gemas .....	80
3.1.6	Análise e compilação de dados e de amostras .....	80

### Capítulo 4

<b>4.1</b>	<b>ESTUDO EXPERIMENTAL 1 .....</b>	<b>82</b>
4.1.1	Materiais e métodos utilizados .....	82
<b>4.2</b>	<b>INFLUÊNCIAS DA COMPOSIÇÃO DO QUARTZO NA OBTENÇÃO DE COR .....</b>	<b>84</b>
4.2.1	Quartzos incolores beneficiados .....	84
4.2.1.1	Quartzo incolor do Pará .....	84
4.2.1.2	Quartzo incolor do estado do Espírito Santo.....	86
4.2.1.3	Quartzo incolor de Coronel Murta (MG).....	90
<b>4.3</b>	<b>INFLUÊNCIAS DA ORIGEM DAS GEMAS NA GERAÇÃO DA COR .....</b>	<b>92</b>
4.3.1	Testes com ametistas de aspecto leitoso (Grupo I).....	95
4.3.2	Teste para gerar ametista acinzentada (Grupo II) .....	98
4.3.3	Ametista resultando em citrino (Grupo III) .....	100
<b>4.4</b>	<b>ESTUDO EXPERIMENTAL 2 .....</b>	<b>103</b>
4.4.1	Etapas de avaliação da percepção .....	103
4.4.1.1	Materiais e métodos utilizados.....	105
4.4.1.2	Perfil desejável dos participantes .....	106
4.4.1.3	Análise dos dados .....	106
<b>4.5</b>	<b>TESTE 1: AVALIAÇÃO DA MUDANÇA DE INTENSIDADE DA COR .....</b>	<b>107</b>
4.5.1	Objetivos e resultados esperados.....	107
4.5.2	Seleção de amostras para o teste.....	107
4.5.3	Síntese do teste 1 .....	108
4.5.4	Análise dos resultados .....	111
<b>4.6</b>	<b>TESTE 2: PERCEPÇÃO DA PERDA DA TRANSLUCIDEZ NAS AMETISTAS .....</b>	<b>114</b>
4.6.1	Objetivos e resultados esperados.....	114
4.6.2	Seleção de amostras para o teste.....	115
4.6.3	Síntese do teste 2 .....	115
4.6.4	Seleção dos descritores.....	117
4.6.5	Análise dos resultados .....	118
<b>4.7</b>	<b>TESTE 3: PERCEPÇÃO DA MUDANÇA DE COLORAÇÃO NAS AMETISTAS .....</b>	<b>121</b>
4.7.1	Objetivos e resultados esperados.....	121
4.7.2	Seleção de amostras para o teste .....	121

4.7.3	Síntese do teste 3 .....	122
4.7.4	Análise dos resultados .....	123
<b>Capítulo 5</b>		
5.1	<b>CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ESTUDOS EXPERIMENTAIS.....</b>	<b>130</b>
5.2	<b>CONSIDERAÇÕES SOBRE A PESQUISA .....</b>	<b>132</b>
5.3	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>133</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>134</b>
<b>APÊNDICES .....</b>		<b>141</b>

**Capítulo 1**

# **INTRODUÇÃO**

**1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO**

**1.2 JUSTIFICATIVA**

**1.3 PRESSUPOSTOS**

**1.4 OBJETIVOS**

**1.5 RESULTADOS ESPERADOS**



## Capítulo 1

# INTRODUÇÃO

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O Brasil possui em seu solo uma grande ocorrência e diversidade de pedras preciosas, o que o torna responsável pela produção de cerca de um terço do volume de gemas do mundo, com exceção dos diamantes, rubis e safiras, de acordo com dados oficiais do Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos (IBGM<sup>1</sup>). Grande parte desta produção vem dos estados de Minas Gerais, Rio grande do Sul, Bahia, Goiás, Pará e Tocantins e cerca de 80 % da mesma destina-se à exportação. Na sua forma bruta, as pedras são exportadas para Alemanha, Tailândia e China, onde passam por um processo de beneficiamento e de lapidação, e posteriormente retornam ao país em forma de joias, gerando enormes perdas econômicas para o Brasil. Esse processo afeta o setor que perde a oportunidade de mostrar a sua identidade no design de joias utilizando sua própria matéria-prima local.

A exportação de pedras coradas sucedeu à descoberta dos depósitos diamantíferos, o qual se estendeu de 1725 a 1866. Segundo Pereira (2001), por volta de 1930, a produção brasileira de diamantes declinou e o Brasil perdeu sua importância como produtor mundial. Por outro lado, alguns minerais mesmo que conhecidos desde o século XVIII passaram a despertar atenção por volta de 1940. Inicialmente a ágata e a ametista, ambas exploradas no Rio Grande do Sul, e posteriormente uma variedade de pedras brasileiras oriundas principalmente de Minas Gerais.

A Segunda Guerra Mundial aumentou a demanda por minerais estratégicos utilizados pela nascente indústria eletrônica, dentre eles o cristal de rocha. Tal demanda induziu às pesquisas minerais as quais identificaram jazidas como a da Província Pegmatítica de Minas Gerais, também denominada Província Gemológica Oriental Brasileira, composta por parte oriental do estado de Minas Gerais e sul do estado da Bahia. Tais depósitos explorados precariamente originaram centros comerciais como o do município de Teófilo Otoni, no norte de Minas Gerais, os quais atraíram imigrantes alemães e libaneses que progressivamente iniciaram a exportação de pedras coloridas como as turmalinas, águas-marinhas, ametistas, crisoberilos e outras. No ano de 1963 a descoberta de esmeraldas de

---

<sup>1</sup> Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos – IBGM- entidade nacional, de direito privado, sem fins lucrativos, criada em 1977 com o objetivo de representar toda a cadeia produtiva do Setor de Gemas e Joias, bijuterias e relógios.

ótima qualidade no estado da Bahia fez com que o Brasil se consolidasse como um dos mais importantes produtores mundiais de gemas. Minas Gerais foi o segundo estado a descobrir jazidas de esmeraldas em 1979, seguido pelo estado de Goiás em 1981.

Além do ouro oriundo das terras brasileiras, as gemas são a matéria-prima usada nas joias, sendo algumas delas extraídas naquelas jazidas que estão entre as principais do mundo, como a turmalina paraíba, que ocorre em São José da Batalha, no estado da Paraíba e o topázio imperial que ocorre em Ouro Preto (Minas Gerais). Podem ser considerados um produto local ou *terroir*, que de acordo com Krucken (2009), tal conceito abrange o produto, o território e a sociedade que o produz. A valorização dos minerais oriundos do território brasileiro envolve forças mútuas dos atores da cadeia de valor, que ainda de acordo com a autora, se inicia a partir dos produtores de matérias-primas, mobiliza processadores de diversos níveis (beneficiadores, transformadores e indústrias) e agentes responsáveis pela comercialização e distribuição de produtos; e finalmente, envolve os consumidores e usuários. O design permeia por meio de ações que promovam o desenvolvimento dessa cadeia.

Para o setor joalheiro o design exerce papel fundamental, uma vez que pode atuar junto aos atores da cadeia produtiva desde a origem da matéria-prima por meio de ações em parceria com as governanças. Ações junto aos Arranjos Produtivos Locais (APL'S) de gemas e artefatos de joias e cooperativas de garimpeiros que envolvam o contexto social tornam a cadeia produtiva mais competitiva. O investimento em tecnologia nessas ações é um importante fator de agregação de valor, principalmente no beneficiamento de pedras preciosas, seja por lapidação ou coloração.

A coloração é uma das formas de beneficiamento que aumenta o valor percebido e comercial das gemas, uma vez que as ametistas, citrinos, quartzos fumês e *morions* apresentavam cores fracas e baixo valor de mercado. De acordo com Favacho (2001), com o aparecimento dos tratamentos térmicos e irradiações, o quartzo que sempre foi um mineral abundante no solo brasileiro passou a despertar interesse dos lapidários e comerciantes de gemas em geral. Minas Gerais possui uma das maiores reservas de quartzo beneficiáveis pelos tratamentos supracitados, sendo que tais depósitos se concentram na Serra do Espinhaço e na Província Pegmatítica Oriental Brasileira.

O beneficiamento por coloração se apresenta de outras formas além da irradiação com raios gama, como a técnica de resinar e a coloração química, sendo que tais processos não concorrem e sim, algumas vezes, se complementam. A aplicação da irradiação

com finalidade de coloração de gemas passou a ser usada no Brasil somente a partir de 1990, de acordo com o IBRAM (Instituto Brasileiro de Mineração, 2011). Porém, ainda com toda a sua importância, a técnica é desconhecida por parte dos garimpeiros e pedristas.

Os estudos feitos direcionaram à necessidade de mostrar a importância dos processos de beneficiamento com principal enfoque na irradiação e aquecimento, para que tais processos saiam de um âmbito pouco conhecido e difundido para um conhecimento do seu valor agregador ao design brasileiro. Uma vez que, a pesquisa se insere na linha de Design, Materiais, Tecnologias e Processos, será possível identificar as propriedades químicas e cristalográficas dos quartzos ocorrentes no território brasileiro, dando enfoque aos oriundos de Minas Gerais no que diz respeito ao seu potencial de coloração.

Um levantamento acerca das principais técnicas de coloração pesquisadas permitiu propor novas formas de beneficiamento com a finalidade de aplicação no design de joias, as quais são demonstradas detalhadamente dentro do processo metodológico. As amostras resultantes de tal processo serviram como parte de um conjunto de quartzos de alguns estados brasileiros, inicialmente brutos e beneficiados pelas técnicas levantadas, as quais foram utilizadas no estudo de percepção com designers de joias e profissionais do setor de joias. O objetivo incide em contribuir com a cadeia produtiva de gemas e joias divulgando os valores que o processo confere ao setor.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

Esta dissertação buscou a continuidade de pesquisas iniciadas no projeto final do curso de pós-graduação em Design de Gemas e Joias <sup>2</sup>, com foco no uso de pedras brasileiras no design de joias. Possui relevância por levantar as questões referentes à pouca valorização das pedras brasileiras como riqueza do solo que são exportadas, em sua maioria, em estado bruto a baixo custo. São fatores determinantes desse fluxo o incentivo aos garimpeiros por parte das empresas exportadoras que visam à produção de quartzo para indústrias de alta tecnologia, e também a política tributária que não favorece o setor de gemas e joias. Sendo assim, a cadeia produtiva joalheira fica prejudicada, uma vez que vende a matéria-prima bruta extraída no Brasil com isenção de impostos a um preço irrisório, sendo que a mesma poderia ser beneficiada no próprio país e comercializada a preços melhores. Caminhando na

---

<sup>2</sup> Curso de Pós-graduação em Design de Gemas e Joias oferecido pela Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), concluído em outubro de 2011.

contramão, com a entrada facilitada de produtos importados no país tem se tornado mais vantajoso para os fabricantes de joias e bijuterias adquirirem as pedras brasileiras beneficiadas nos mercados asiáticos. Desta forma, o Brasil exporta sua pedra bruta a baixo custo e a importa beneficiada pagando um alto preço pelo que poderia ser feito no próprio país.

O design pode exercer sua tarefa na capacitação técnica de coloração das pedras junto aos Arranjos Produtivos locais da indústria de gemas e joias (APL's), os quais na sua grande maioria desconhecem as técnicas de beneficiamento para coloração de gemas, suas vantagens comerciais e aceitação nacional e internacional. O beneficiamento como forma de agregar valor à matéria-prima é uma forma de minimizar o problema ambiental, uma vez que reduz o interesse pela venda da pedra bruta impedindo dessa forma a lavra predatória. Denominada por Manzini (2008) como habilidades difusas do design, elas podem ir além da capacitação projetual/técnica, conscientizando a comunidade local da importância das medidas sustentáveis nos processos de extração de matéria-prima por exemplo. A lavra predatória dos garimpos a céu aberto por exportadoras de pedras pode ser um exemplo negativo de desrespeito à diversidade e ao ecossistema.

### **1.3 PRESSUPOSTOS**

Este trabalho partiu do pressuposto que:

- O levantamento das principais técnicas de beneficiamentos de quartzo por meio de amostras com aplicações no design de joias pode despertar a consciência dos envolvidos na cadeia de valor acerca da sua valorização como matéria-prima local;
- A catalogação das amostras de quartzos, como trabalhos futuros, de determinadas regiões do Brasil com seus respectivos potenciais de coloração e suas aplicações no design de joias pode oferecer um material de consulta aos atores da cadeia produtiva joalheira;
- Muitos dos atores da cadeia de valor como garimpeiros desconhecem a irradiação por raios gama e o quanto tal processo agrega de valor aos quartzos incolores extraídos do solo brasileiro.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo geral**

Estudar e propor novas técnicas de beneficiamentos para coloração do quartzo, agregando valor ao mineral a ser aplicado no design de joias de forma que melhore a competitividade das empresas do setor.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- I. Buscar na literatura estudos realizados sobre a composição química/física e cristalografia do quartzo bruto obtido na natureza em ocorrências no Brasil e principalmente no estado de Estado de Minas Gerais;
- II. Realizar um levantamento das técnicas de beneficiamento na coloração do quartzo;
- III. Propor novas formas de coloração do quartzo que atendam aos objetivos da pesquisa;
- IV. Mensurar a percepção de valor e o conhecimento das técnicas de irradiação e tratamento térmico por parte de designers de joias e profissionais do setor joalheiro com amostras cedidas e com outras obtidas nos testes realizados para obtenção de novas colorações.

## **1.5 RESULTADOS ESPERADOS**

- Realizar a catalogação de amostras e técnicas por meio de catálogo ilustrado contendo as principais técnicas de beneficiamentos oferecidas para coloração de quartzo;
- Compartilhar com profissionais e pesquisadores do setor de gemas e joias os conhecimentos obtidos sobre o potencial de coloração de determinados quartzos oriundos do solo do estado de Minas Gerais;
- Contribuir com o setor de gemas e joias mostrando a valorização do quartzo após o beneficiamento e com isso minimizar os efeitos ambientais por meio da lavra predatória.

# **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

**2.1 O CONTEXTO DA JOIA**

**2.2 A CADEIA PRODUTIVA DA JOALHERIA**

**2.3 A VALORIZAÇÃO DAS GEMAS COMO MATÉRIA-PRIMA BRASILEIRA**

**2.4 QUARTZO: COMPOSIÇÃO E CARACTERÍSTICAS**

**2.5 QUARTZO: FORMAS DE BENEFICIAMENTOS**

## Capítulo 2

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O CONTEXTO DA JOIA

Desde os tempos primórdios o homem buscou elementos artísticos para se ornamentar e revelar por meio dos mesmos a sua criatividade nas diversas representações simbólicas. Além da função de ornamento, a joia também oscila no simbolismo religioso, na forma de amuleto, desde épocas pré-históricas quando os egípcios enterravam seus mortos com replicas dos seus pertences. Segundo Gola (2008), a ideia de ornamento está vinculada às diversas formas de interpretação das civilizações e épocas transformando os objetos em veículos de compreensão das culturas humanas. Como forma de adorno a joia possibilita ao homem a construção de novas linguagens, significados, a ideia de ser único, e a capacidade de experimentar as diferenças. Os traços de personalidade e *status* social, segundo Cunha e Milz (2011), podem ser projetados ao mundo exterior por meio do uso de acessórios, funcionando, neste caso, os elementos de adorno como uma afirmação das características étnicas, sociais, de gênero ou psicológicas do usuário.

#### 2.1.1 Aspectos históricos da joalheria

O uso e a função dos adornos foram se valendo de novos repertórios dentro de um processo evolutivo histórico. Durante as conquistas de terras e as descobertas de minas de ouro o uso das joias simbolizava poder, assim como as joias bizantinas que refletiam as promessas de imortalidade com as figuras de Cristo e da Virgem. Já as joias góticas são outro exemplo que traziam inscrições que enalteciam o amor e a mulher dentro de um conceito de cortesia e cavalheirismo típicos da Idade Média (TEIXEIRA, 2001).

Na forma de símbolos sagrados como a cruz ou como relicários, usados sob a forma de pulseiras ou anéis, as joias da Idade Média representavam proteção e poder. Homens e mulheres nobres ornamentavam suas cabeças com grinaldas e as burguesas ricas prendiam seus cabelos com joias. As joias do período gótico recebiam a aplicação de pedras preciosas clássicas como safira, rubi, esmeralda e diamantes que juntamente com as turquesas e os topázios compunham as joias bizantinas. A lapidação permitiu a transformação da pedra na forma de esculturas de figuras, signos ou letras. No século IX, em

Veneza, há registros de diamantes facetados, embora outras pesquisas mostrem que a lapidação em facetas tenha surgido no século XV. Quanto à coloração das pedras, por volta do século XIV já podiam ser tingidas ou laminadas com o objetivo de ‘melhorar’ a cor. (GOLA, 2008)

Os adereços usados na Idade Média foram substituídos, no período renascentista, pelo chapéu e pelas insígnias modeladas em ouro e adornadas com diamantes e pedras preciosas coloridas. O período do Renascimento representou para o mundo um enriquecimento cultural e material.

A Itália se destacou na joalheria no século XIX com as joias de filigrana em estilo etrusco, as quais se tornaram requisitadas e copiadas por franceses e ingleses. Em Berlim foram produzidas as joias de ferro com fio de ouro, enquanto que na França o estilo napoleônico prevalecia nas joias que simbolizavam sentimentos, patriotismo e nostalgia.

O século XX trouxe os reflexos do Art Nouveau com suas composições florais que evocavam a sensualidade delicada da mulher representada por joias que buscavam o ornamento e o culto ao feminino. A Belle Époque veio complementar o estilo de feminilidade com as joias de René Lalique, cuja preocupação era renovar sua arte conciliando-a com a elegância da moda. A pedra não tinha a função de ostentar e sim a de compor o trabalho de ourivesaria representado nas formas de insetos, borboletas, escaravelhos ou rãs. A Figura 1 mostra uma linha do tempo com imagens de joias de algumas décadas do século XX. O pingente em forma de dois pavões criado por René Lalique em 1901 recebeu uma combinação de esmaltação e pedras preciosas, além do uso de pérolas e diamantes.

O uso de pedras preciosas no início do século XX pode ser visto nas peças da Bulgari, por volta de 1910, quando criaram um ponto de venda de joias com pedras preciosas, utilizando turquesas e ametistas.

O ano de 1920 foi marcado pela influência do Art deco representada pelo uso dos diamantes. Os eventos culturais como o balé russo em Paris exerceram forte influência no uso do preto e do branco nas joias. Paris se tornou referência neste período em alta joalheria (LLABERIA, 2009).

As grandes *maisons* que contratavam os artistas reconhecidos para desenharem suas joias enalteciam a “alta joalheria” que, de acordo com Llaberia (2009), se traduz em uma joalheria exclusiva na contemporaneidade. A combinação de materiais alternativos



associados aos preciosos, proposta por alguns de seus mais expressivos nomes, deu início ao que mais tarde veio a ser chamado de “joia de autor”. A Figura 1 ilustra um broche de estilo Art Deco de 1935, assinado pelo designer de joias parisiense Polak Aine, que usava em suas criações traços geométricos hexagonais cravados de diamantes e safiras.

Figura 1: materiais usados nas joias na primeira metade do século XX



Fonte: Elaborado pela autora, 2015

A década de 1950 foi marcada pelo fascínio de Hollywood representado pelas divas do cinema. Crescia o interesse por pedras semipreciosas, sintéticas e recicladas de joias antigas. As joias preciosas eram usadas como adereços para cabelos, como as tiaras de diamantes, porém nos anos de 1960, tornaram-se desnecessárias e rejeitadas por designers e novos ricos, os quais passaram a preferir joias menos formais e mais modernas. A Bulgari se destaca como joalheria de luxo com as peças criadas para as divas como Elizabeth Taylor, Ingrid Bergman e Audrey Hepburn, as quais ostentavam colares luxuosos cravejados de pedras coloridas como esmeraldas, ametistas, diamantes, safiras e outras. A Figura 1 mostra o colar 'Bib', de 1965, composto por esmeraldas, ametistas, turquesas e diamantes.

De acordo com Gola (2008), a joalheria da década de 1970 fez parte de um conceito de retorno à utilização de componentes da natureza como inspiração, usados nas manifestações artísticas. Os materiais mais diversos passaram a ser utilizados como: pasta, resina para madeira e plástico. Os designers de joias mudaram das joias preciosas para as joias de imitação, que possuíam um caráter comercial. Os diversos materiais alternativos

aplicados às joias algumas vezes as colocava fora da categoria joia, por não terem preciosidade. As pedras que até então eram negligenciadas passaram a ser usadas como foi o caso dos cristais, do coral, do lápis-lazúli e do ônix preto. Mas esta foi a única época em que o uso das joias genuínas esteve fora de moda. A liberdade de aplicação de novos materiais deu origem à joia de arte ou de autor que se caracteriza pela particularidade na pesquisa formal e no uso experimental de novos materiais, conforme apresenta Llaberia (2009).

Embora o nome “nova joalheria” tenha identificado o movimento que aconteceu na década de 1970 na Europa, seus reflexos se fazem sentir até o momento na produção de muitos autores joalheiros, como são chamados em Portugal, por exemplo, identificando o que internacionalmente é reconhecido hoje como Joalheria Contemporânea (LLABERIA, 2009).

A “joia de autor” ou joalheria autoral, de acordo com Rocha e Rocha (2014), surgiu quando o homem primitivo sentiu necessidade de se diferenciar, criando seus próprios adornos. Caracterizada pela originalidade, produção limitada e pela aplicação de materiais diferenciados, além do uso de referências e simbolismos, a joia de autor utiliza os processos de produção predominantemente manuais que levam à construção de ferramentas especiais de acordo com a demanda do executor, criando um diferencial.

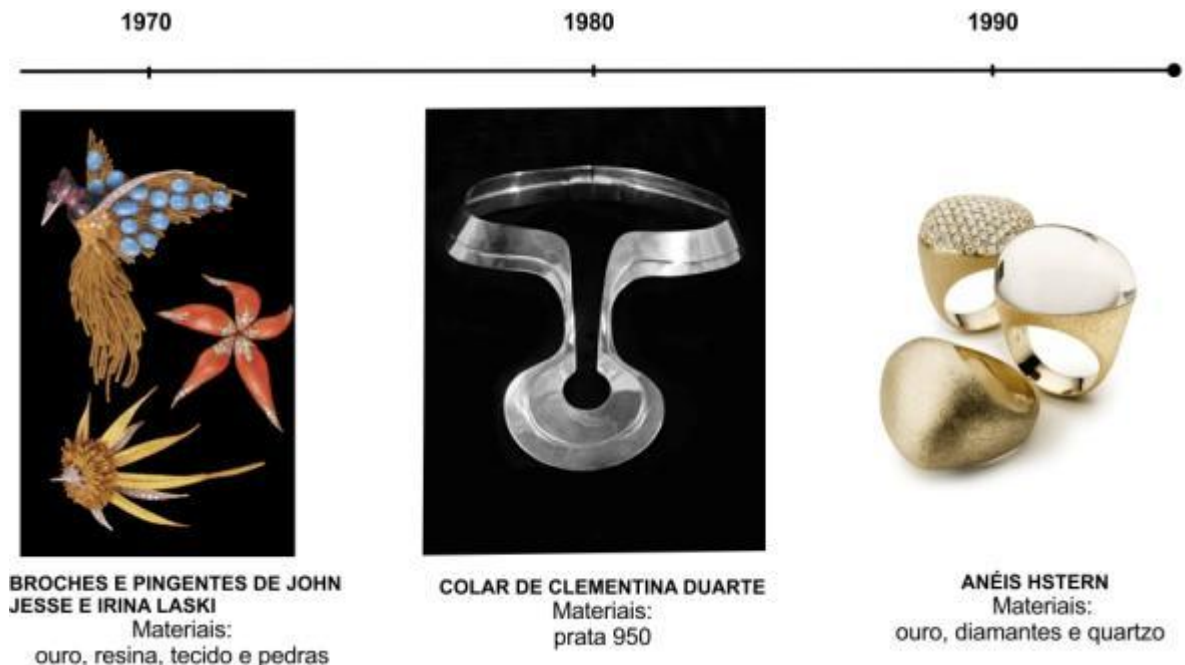
Ao final da década de 1970 os joalheiros se viram pressionados a inovar suas criações e com isso, as joias de imitação se revitalizaram. O aspecto formal inspirado na natureza explorando elementos do mar e árvores eram cravados por cristais escarpados de ametistas ou esmeraldas, quartzo rutilado, as brilhantes turmalinas, peridot e topázios. A Figura 2 ilustra as peças coloridas e exóticas de John Jesse e Irina Laski, de 1970, composta por ouro, turquesas e ametistas.

Os anos de 1980 foram caracterizados por um design minimalista nas formas das joias, marcado pelo uso de titânio, alumínio, aço e ligas, assim como novos processos de fabricação. Na linha do tempo ilustrada na Figura 2 é possível visualizar um colar da designer brasileira Clementina Duarte, de 1980, cujas peças estabelecem um diálogo entre as formas escultóricas pela exploração de peças em diferentes materiais com design minimalista.

Para as joias brasileiras a década de 1980 foi marcada pelo fechamento de muitas indústrias joalheiras, mas de acordo com IBGM (2005), houve um aumento expressivo das exportações que atingiram o valor de US\$ 29 milhões em 1990. As empresas

responsáveis por 67% das vendas externas brasileiras em 1990 foram H.Stern e Amsterdam Sauer.

Figura 2: materiais usados nas joias na segunda metade do Século XX



Fonte: Elaborado pela autora, 2015

A HStern, reconhecida até essa década pelo uso de pedras preciosas de origem brasileira, passou a agregar o conceito de design às joias. Inovou nas peças feitas exclusivamente de ouro, com inovação nos novos acabamentos e texturas para o metal. (HSTERN, s.d). A última imagem da Figura 2 ilustra anéis da marca Hstern da coleção assinada por Constanza Pascolato, confeccionados em ouro e pedras brasileiras.

O século XXI trouxe a importância do artista que conciliava valores de arte e individualismo com as inquietações da moda, do comércio e da indústria. Dessa forma, os atuais artistas-joalheiros, assim denominados, treinados dentro da joalheria clássica usam os processos de fabricação aprendidos para aplicar nos objetos por eles confeccionados. A joia passou a ter o propósito de, ao lado das novas tendências, regenerar e revalorizar antigas produções.

Para Rocha e Rocha (2014), a “joia arte” surge da inspiração do artista e sua referência consiste no seu próprio desejo e na sua interação com o universo. Ela é desprovida de conceitos, regras ou modismos impostos assemelhando-se à joia de autor pela liberdade no uso de diversos materiais. Atendem a uma demanda vinculada à arte e à genialidade de expressão do seu criador e por isso o grau de relevância, simplicidade ou

sofisticação, de apuro de técnica e acabamento não são fatores de suma importância, pois tudo dependerá da proposta do artista.

De acordo com ADOR (1996), são identificados quatro tipos de joias: as de ourivesaria, de ourivesaria média, a joalheria e as de design. A ourivesaria se caracteriza pelo trabalho feito à mão, mas com formas simples e essenciais, com acabamento discreto em produção por microfusão ou estamparia. A ourivesaria média respeita formas estudadas destinadas a uma produção em grande escala e de consumo imediato respeitando as tendências e se renovando constantemente. De acordo com Rocha e Rocha (2014), esta é uma joia industrializada, conhecida pelo seu alto potencial comercial cuja produção em larga escala foi desencadeada pela chegada das máquinas facilitando o trabalho humano. Os produtos das médias e grandes joalherias, algumas de renome, prezam pelo acabamento especial, pelo refinamento estético elaborado vinculado à qualidade e à forma de produção. Segundo os autores, esta fatia de mercado surgiu como reflexo do milagre econômico brasileiro iniciado nos anos 60. As “joias de design” introduzem pesquisa estética e de materiais para produção seriada. São identificadas nessa produção, de acordo com Llaberia (2009, p. 94), “[...] uma joalheria de produção seriada, com etapas executadas por máquinas e outras manufaturadas, que levou a um novo produto que tem como característica o distanciamento do tradicional trabalho do ourives do resultado final [...]”.

### **2.1.2 Joalheria brasileira**

No Brasil, as joias representaram simbolicamente a contradição cultural entre os colonizadores e indígenas, de forma que, [...] “uma pulseira de penas, para os indígenas, tem tanto valor quanto uma pulseira de diamantes na cultura europeia, e esse valor é proporcional à raridade do pássaro” (GOLA, 2008, p. 80).

A joalheria colonial se destinava a enfeitar as famílias dos abastados senhores de engenho, mas existiam aquelas feitas especialmente para serem ostentadas pelos escravos nas festas. A joia era um meio de distinção social, uma vez que, de acordo com Cunha e Milz (2011), aos negros já alforriados não era permitido o uso de certos objetos como espadas e materiais valiosos, por serem exclusivos dos brancos. Mas mesmo assim as mulheres negras criaram sua estética e abusavam de joias em ouro, as quais diferiam daquelas peças ricas em diamantes, pérolas e outras gemas usadas pelas senhoras brancas, importadas da Europa. Em geral, as joias usadas pelas negras eram feitas nas oficinas das grandes cidades, não se

tratando de joias feitas por ourives, e sim por escravos, mulatos e índios.

As joias que adornavam as negras eram características de uma cultura híbrida resultante de várias tradições joalheiras. A influência europeia nas joias crioulas é tão significativa quanto a da cultura africana. Os colares de aliança, também conhecidos como grilhões, têm sua origem atribuída às alianças de casamento de padrão português, as quais se unem umas às outras por elos lisos. Quanto à simbologia da peça, diz-se que as alianças representavam as conquistas amorosas de suas donas, escravas, que por possuírem atrativos conquistavam homens casados dos quais furtavam as alianças (CUNHA e MILZ, 2011). A Figura 3 mostra uma pulseira de copo, como era denominado pela sua forma mais adaptável ao punho.

Figura 3: pulseira de copo (acervo do museu Carlos Costa Pinto, Salvador)



Fonte: Cunha e Milz, (2011, p.73)

Encontrados em motivos florais e geométricos, alguns exemplares que podem ser vistos hoje mostram trabalhos em filigrana bem elaborada com minúcia técnica. Os braceletes e pulseiras confeccionados nessa técnica recebiam uma placa central com um busto de um rapaz ou moça com feições africanas ou europeias, com seus penteados e roupas da moda vigente na data de sua confecção.

### 2.1.3 A aplicação de pedras na joalheria brasileira

Foi durante a Segunda Guerra Mundial que a demanda por minerais aumentou por parte da nascente indústria eletrônica. Tal demanda induziu, segundo Pereira (2001), a uma extensa pesquisa mineral, que por sua vez identificou importantes jazimentos. Minas Gerais se destacou com a Província Pegmatítica, embora a cidade de Teófilo Otoni, situada

ao norte já era explorada por turistas alemães e libaneses desde o início do século. Já data daquela época a exportação das pedras brasileiras em estado bruto, devido à mão de obra especializada inexistente. Nessa época, segundo o autor, a indústria joalheira mundial utilizava apenas o diamante, a esmeralda, a safira e o rubi, as quais tinham a comercialização liderada pela Índia, pois esta já dominava as técnicas de lapidação. A recessão do pós-guerra afeta o mercado joalheiro que perde muitos dos imigrantes, principalmente israelenses que haviam se instalado no Brasil e montado pólos de lapidação em Minas Gerais, por exemplo.

Por volta dessa mesma época, no ano de 1946 o alemão Hans Stern fundou no Rio de Janeiro um pequeno negócio de venda de pedras dando início a história de sucesso da joalheria HStern. Em 1958 ela foi a primeira joalheria da América Latina a montar seu próprio laboratório gemológico para análise de pedras preciosas e metais nobres, além da pesquisa de novas matérias-primas. Esse laboratório é equipado com alta tecnologia e segue as rigorosas especificações do *Gemological Institute of America (GIA)*, o qual determina os padrões para as grandes joalherias internacionais. A sua visibilidade internacional é creditada ao uso das pedras brasileiras aliada ao trabalho de designers que conseguem por meio de pesquisas conceituais representar aspectos formais que simbolizem a identidade brasileira HSTERN (s.d).

Segundo Garcia (2005), as gemas sendo abundantes no solo brasileiro tornam mais viáveis o trabalho dos designers, e muitos se encontram presentes no mercado internacional, com produtos que possuem um valor agregado tanto pelo uso das pedras preciosas brasileiras, como também de outros materiais.

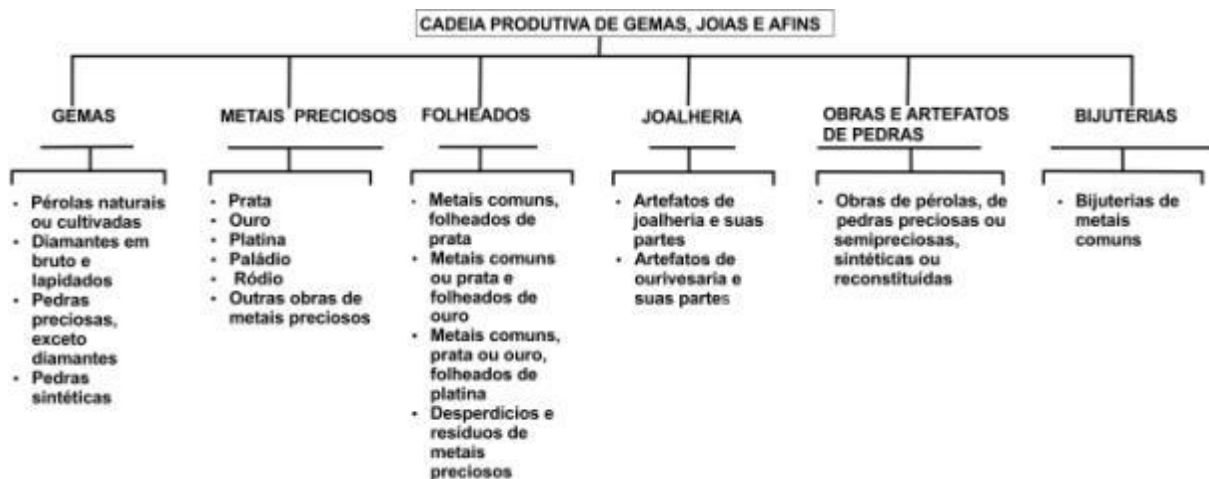
A aplicação das pedras é vista tanto nas joias quanto nas bijuterias, sendo que erroneamente se criou um termo para designar as bijuterias folheadas à ouro como semijoias, da mesma forma que se convencionou para as pedras o termo “semipreciosa”. De acordo com Rocha e Rocha (2014), esta é uma denominação que segue na contramão, uma vez que deprecia o patrimônio mineral. A denominação errônea vai contra a comprovação por parte da literatura de que todas as pedras são preciosas, e mostra que tal erro se origina da comparação com as gemas raras como o diamante, o rubi, a safira, a esmeralda e o topázio. Tal conduta desvaloriza as pedras mais abundantes como as turmalinas, granadas, crisoberilos, ametistas e outras, que são garimpadas mais facilmente, vendidas no passado a preços mais baixos.

## 2.2 A CADEIA PRODUTIVA DA JOALHERIA

Por cadeia produtiva pode ser entendida, de acordo com IBGM (2005) como o conjunto de atividades que progressivamente se sucedem e se articulam desde os insumos ou matérias-primas, considerando a sua extração e o processamento, até o produto final, levando em conta a sua distribuição e comercialização, constituindo etapas de uma corrente ou cadeia.

A Figura 4 mostra uma caracterização dos elos da cadeia produtiva de gemas, joias e afins e seus respectivos componentes. Composta por elos, a cadeia produtiva joalheira parte do segmento de extração mineral e engloba todos os serviços e materiais usados na extração da matéria-prima. Na sequência está a indústria de lapidação, que engloba a produção de pedras lapidadas, artesanato e artefatos de pedras. O terceiro elo se refere ao da Indústria de joalheria e bijuteria, responsável pela fabricação de joias de ouro, prata, folheados e bijuterias. Os aspectos de comercialização também são considerados na cadeia, tanto no mercado interno quanto no externo. Os dois primeiros elos da cadeia produtiva terão maior detalhamento nesta pesquisa por se tratarem do foco desse estudo.

Figura 4: Elos da cadeia produtiva de gemas, joias e afins



Fonte: Elaborado pela autora, 2015

De acordo com Garcia (2005), no setor de gemas e joias apenas 30,6% da mão de obra da produção é especializada e o custo de um designer torna difícil a sua contratação por parte da maioria das empresas brasileiras. A indústria joalheira é intensiva em mão de obra e gera aproximadamente 350 mil empregos diretos no Brasil. A terceirização é uma tendência do setor sendo praticada por cerca de 6% das indústrias de joias de ouro e 7% das

de prata e folheados e as de lapidação de pedras.

A extração de pedras no Brasil acontece por meio de pequenas empresas, na sua maioria de forma rudimentar nas minas localizadas nos estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Bahia, Goiás, Pará e Tocantins, das quais saem grande quantidade e variedade de gemas. Aproximadamente 80%, em volume da produção de gemas se destinam à exportação, tanto no estado bruto como objeto de coleção e lapidadas. A Tabela 1 mostra os dados da exportação brasileira do setor de gemas e metais preciosos, de acordo com as normas do capítulo 71 da NCM (Nomenclatura Comum do MERCOSUL) elaborado pelo IBGM. Comparativamente aos dados de janeiro a março de 2014, os números mostram um aumento na exportação de diamantes em bruto nos meses correspondentes no ano de 2015. O aumento também é observado tanto na exportação de pedras preciosas em bruto quanto na de produtos de metais preciosos para indústria, enquanto que a exportação de joalheria e ourivesaria de metais preciosos apresentou uma diminuição.

Tabela 1:  
Dados comparativos da exportação brasileira de pedras e metais preciosos

Principais Itens	2014 (Jan-Mar)	2015 (Jan-Mar)	Varição (em US\$ mil)
Diamantes em bruto	312	2.222	613%
Diamantes lapidados	2	0	-100%
Pedras preciosas em bruto	10.676	10.761	1%
Rubis, Safiras e Esmeraldas lapidadas	8.385	7.011	-16%
Outras pedras preciosas lapidadas	26.793	29.022	8%
Obras e artefatos de pedras	2.409	2.561	6%
Prata em barra, fios, etc	1.087	988	-9%
Ouro em barras, fios e chapas	389.085	469.145	21%
Bulhão dourado	188.823	197.957	5%
Produtos de metais preciosos p/ indústria	5.000	11.472	129%
Joalheria/ourivesaria metais preciosos	6.637	5.627	-15%
Outros resíduos e desperdícios de metais	29.163	35.342	21%
Folheados de metais preciosos	6.955	9.213	32%
Bijuterias de metais comuns	2.762	2.138	-23%
Paládio em forma bruta ou em pó	0	348	
Outros produtos	1.701	298	-82%
Total	679.789	784.106	15%

Fonte: (Adaptado de IBGM, 2015, p. 1)

A produção brasileira de gemas é composta por pequenos mineradores e garimpeiros não legalizados, os quais realizam extração rudimentar, a céu aberto em poços de pequena profundidade. De acordo com o IBGM (1991) essa é a chamada lavra predatória, na qual o principal objetivo é a extração da pedra preciosa, desprezando as pedras de menor valor. De acordo com Cabello *et al* (2012), algumas pedreiras, principalmente as maiores,



têm buscado implantar um sistema de produção que dê maiores recuperações e melhor qualidade do produto final com menores taxas de geração de resíduos. Já as empresas menores encontram dificuldades neste sentido devido ao alto custo de contratação de serviços de consultoria voltados para o estudo adequado da área, planejamento e aplicação de técnicas adequadas de lavra e beneficiamento.

Embora as terras brasileiras sejam ricas em variedades como os topázios, turmalinas, opalas e outras preciosidades, o país vem perdendo a hegemonia da produção mundial em termos de valores. Citando Minas Gerais como exemplo, terra dos topázios imperiais, conforme Favacho (2001), o estado contribui com cerca de 25% do total da produção mundial de gemas. Porém, quanto às joias tipicamente brasileiras com aplicação de ametista, citrino, quartzo fumê, topázios, esmeraldas e turmalinas, a exportação do estado não chega a ocupar 5% dentro do mercado brasileiro e, mundialmente a produção é irrisória.

No setor de gemas e joias, Favacho (2001), cita Minas Gerais como um estado que agrega pouco valor às suas gemas pelo fato de atuar, principalmente, como simples fornecedor para outros países. As gemas mineiras, quando exportadas em seu estado bruto, pouco contribuem para a economia. Assim a indústria de gemas e joias de Minas Gerais só poderá participar ativamente do mercado externo caso sejam criadas condições adequadas para o aumento de sua competitividade, congregando esforços para se beneficiarem internamente metais e gemas. Na opinião de Pereira (2001) é essencial que o Brasil aproveite sua condição de grande produtor de ouro e pedras preciosas, usando as suas riquezas em benefício de sua sociedade e melhorando as condições de vida de sua população.

No elo da cadeia produtiva referente à lapidação, de acordo com IBGM (2010) são estimadas cerca de 4.000 empresas de lapidação, de joalheria, de artefatos de pedras e de folheados de metais preciosos. Essas empresas se localizam principalmente, em São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro e Bahia. Estão despontando também no setor, os estados do Paraná, Pará, Amazonas e Goiás. São na sua maioria, pequenas indústrias, muitas de “fundo de quintal”. A terceirização é uma realidade crescente nos últimos anos principalmente com a oferta de preço por parte de lapidários da Índia e da China praticados a um terço do preço brasileiro por quilate (ct). A invasão dos chineses às minas brasileiras desde a crise de 2008 afeta toda a cadeia produtiva do setor joalheiro,

desde os lapidários que se viram desempregados até os donos de joalherias que viram suas matérias-primas se escassearem, sendo obrigados a importar pedras de outros países, realizando um caminho inverso ao tradicionalmente vigente.

### **2.3A VALORIZAÇÃO DAS GEMAS COMO MATÉRIA-PRIMA BRASILEIRA**

A comercialização das gemas brasileiras passou por mudanças quanto à sua valorização por parte dos mercados consumidores. Segundo Souza (2012), a crise financeira mundial de 2008 inseriu a Ásia na rota de compra das pedras brasileiras, superando os antecessores compradores americanos e europeus. O interesse pelas pedras de cor aumentou e atraiu a vinda de chineses para explorar as minas do interior de Minas Gerais, de onde levam a pedra bruta a preços irrisórios para ser lapidada e aplicada em joias e bijuterias na China as quais serão vendidas a um alto preço. O aumento da demanda levou à abertura de novas minas clandestinas que, sem registro, subfaturam os lotes de pedras. Todo esse processo afeta a cadeia de valor das pedras brasileiras, uma vez que segundo Krucken (2009), a mesma se inicia a partir dos produtores de matérias-primas mobilizando processadores de diversos níveis (beneficiadores, transformadores e indústrias) e agentes responsáveis pela comercialização e distribuição de produtos; e finalmente, envolve os consumidores e usuários. Cada um dos atores da cadeia é prejudicado, pois desde a lavra de uma turmalina até a vitrine da joalheria o caminho envolve, como atores, o empresário dono da mina, os compradores das empresas de joias que vão a campo escolher os lotes de pedras, os lapidários, os designers de joias e a equipe de montagem da indústria joalheira, chegando por fim ao consumidor.

De acordo com Souza (2012), os empresários brasileiros ficam prejudicados com o fornecimento de pedras de qualidade para aplicação nas joias, o que faz com que venham a adquirir pedras de outros mercados internacionais. Somado a este quadro a entrada facilitada de produtos chineses no Brasil oferece ao consumidor um produto sem nenhuma preocupação com o design em detrimento de um produto brasileiro feito com matéria-prima local. Tal processo, mesmo que vivenciado na contemporaneidade, se assemelha à retirada de ouro brasileiro pela corte portuguesa, com o agravante da globalização que modificou o ritmo da produção industrial, das transações comerciais e principalmente das informações entre as pessoas. De acordo com Moraes (2006), esse percurso controverso e

desigual é apontado pela globalização, no qual aparece uma parte com um sistema de produção e de serviços fortemente dominado pelos países detentores da tecnologia produtiva e, de outra parte, um grupo de países que atuam como atores coadjuvantes fornecendo seus recursos naturais e as matérias-primas de baixo valor agregado.

O fornecimento de quartzo atende não apenas o setor de joias, pois de acordo com o DNPM (2013) o Brasil é o único produtor de blocos de quartzo natural com propriedades piezoelétricas, usados principalmente na produção de ligas de silício para a indústria metalúrgica e para uma pequena produção de silício metálico. Os cristais naturais com propriedades piezoelétricas são exportados para a produção de ligas de silício na indústria metalúrgica. Ainda que o Brasil venda as lascas de quartzo para cultivo acaba importando os manufaturados. De acordo com DNPM (2013), os principais países exportadores de manufaturados de quartzo, em 2011, para o Brasil foram: China (51%), Coreia do Sul (16%), Japão (8%) e Malásia (3%).

A produção interna de quartzo no Brasil é representada na sua maioria pelo pequeno minerador e o minerador informal, os quais são incentivados por empresas exportadoras que visam a produção de quartzo para indústrias de alta tecnologia. Em longo prazo tal processo ultrapassa o que Manzini (2008) chama de resiliência de um ecossistema, que diz respeito à sua capacidade de tolerar uma atividade que o perturba sem perder irreversivelmente seu equilíbrio. Por outro lado, afetam o capital natural, o qual de acordo com o autor são os recursos não renováveis, que conjuntamente com a capacidade sistêmica do ambiente de reproduzir recursos renováveis, devem ser levados em conta como um todo.

A atuação de forma sistêmica na cadeia de valor envolve uma maior preocupação para o uso da matéria-prima, seja no uso de forma sustentável ou beneficiando-a como forma de agregação de valor. No que tange o uso dos recursos naturais, talvez o desafio adicional que impera no cenário atual seja o design capacitar de forma criativa e colaborativa caminhando rumo à sustentabilidade. A falta de um acompanhamento técnico por parte das governanças durante a extração de gemas gera um aproveitamento inadequado das jazidas, acarretando riscos operacionais, fraturas nas gemas, destruição de parte da produção, de acordo com Duarte (2011), além do uso de tecnologia defasada e falta de estudos geológicos básicos.

Mas o maior agravante ou entrave ao desenvolvimento do setor de gemas e joias é a alta taxa tributária que impede a sua expansão. Há um descaminho no desenvolvimento

do setor que pode ser observado quando uma pedra pode ser levada das minas brasileiras com imposto de exportação zero. Segundo Pereira (2001), a experiência mostra que a carga tributária elevada conduz à sonegação de impostos enquanto a baixa tributação, contraditoriamente leva à elevação de arrecadação de impostos. O caminho mais viável seria a valorização da matéria de procedência brasileira e não uma corrida na direção das oscilações de mercado cedidas pelos atores da cadeia mediante a falta de incentivos fiscais.

### **2.3.1 A percepção de valor dos materiais por parte do usuário**

A importância da avaliação dos materiais por parte dos usuários se deve à possibilidade de obter uma compreensão das reações e opiniões que possibilitem adequação e melhorias dos mesmos. Nesta pesquisa os designers de joias são os pesquisados por serem os responsáveis pela aplicação das gemas nos projetos de joias e por conhecerem as suas variedades. O trabalho de Ashby e Johnson (2011) tornou possível encontrar, além das propriedades e atributos técnicos dos materiais, notas de design e atributos estéticos, permitindo avaliações como quente ou frio, macio ou duro, abafado ou ressonante, dentre outros. O estudo tornou mais transparente e gerenciável a tarefa de seleção dos materiais para os projetos. De acordo com Karana et al (2014), o designer assume a responsabilidade sobre os fatores humanos em relação à seleção dos materiais. Considerar as experiências dos designers é tão relevante quanto considerar as experiências do usuário final, pois elas irão afetar diretamente as escolhas de materiais para criação das sensações pretendidas.

### **2.3.2 Métodos gerais aplicados à pesquisa de percepção com materiais**

Pesquisadores desenvolveram técnicas que avaliam a percepção dos usuários em relação aos materiais, produtos, comunicação e outros fatores ligados à interação com os indivíduos. Um diálogo entre pesquisadores, profissionais e a indústria é promovido pela Design and Emotion Society integrando temas importantes na experiência emocional para a profissão do design. São disponibilizadas 69 ferramentas e métodos utilizados para medir essas experiências emocionais com diversas finalidades, sendo distribuídas em seis categorias. Dias (2009), realizou um estudo profundo de alguns desses métodos além de outros encontrados na bibliografia. Foram formados quatro grandes grupos englobando essas ferramentas de acordo com os objetivos almejados em sua aplicação: medir

características sensoriais, medir a expressão, significado e reação emocional do produto, bem como suas características. Dentro dos quatro grupos, trinta e nove ferramentas de avaliação foram pré-selecionadas, das quais foram filtradas as quinze mais relevantes. Um levantamento foi feito acerca das vantagens e desvantagens de cada um dos métodos e ferramentas, desde os mais generalistas aos mais específicos, alguns com aplicação mais simplificada e outros com exigência de mais recursos. As análises serviram de embasamento para a criação de um novo modelo de avaliação da percepção dos materiais. Denominado como modelo Percepção dos Materiais pelos Usuários (PERMATUS), este modelo foi desenvolvido por Dias (2009) a partir da análise dos diversos métodos levantados e pela identificação de lacunas. Nesses métodos, o modelo de aplicação simples e de baixo custo possui como objetivo quantificar aspectos subjetivos na interação do usuário, além de fornecer um embasamento robusto para a obtenção de perfis de interpretação dos materiais pelos usuários, provendo diversas ferramentas com finalidades específicas para essa construção.

O modelo desenvolvido por Van Kesteren (2008), denominado Materials Selection Activities (MSA), foi criado a partir da análise dos métodos e ferramentas existentes com a finalidade de facilitar a atividade de seleção de materiais pelos designers. Os pesquisados foram designers com a intenção de entender como o processo de seleção dos materiais se insere em sua metodologia de projeto, possibilitando a criação de categorias de atividades de seleção de materiais. As informações fizeram parte de um mapa que oferece diretrizes ao profissional de como organizar a seleção de materiais ao longo do projeto.

Um modelo também envolvendo designers foi sugerido por Karana (2009), incentivando-os a envolver considerações acerca dos significados dos materiais na tarefa de seleção dos mesmos em seus projetos de produtos. Denominado como Meaning of Materials (MoM), considera que os mesmos partam do pressuposto de que diferentes significados podem ser atribuídos aos materiais de acordo com a aplicação e o contexto. A ferramenta MoM consiste em um banco de dados derivados de atividades conduzidas com pessoas convidadas a associar materiais e significados, avaliando os materiais do ponto de vista das propriedades sensoriais. Foram levantados 76 significados relevantes para a atividade de design, permitindo aos designers o requerimento de estudos complementares para significados que não constem na plataforma visando a uma ampliação dos significados

já existentes, ou maior foco nos significados atribuídos por pessoas de uma cultura específica, por exemplo, propiciando a evolução e o crescimento da plataforma.

Dentre os métodos e ferramentas existentes foram priorizados nesta pesquisa aqueles que atendem às suas necessidades de investigação com usuários. Foram agrupados da seguinte forma: (1) avaliação da percepção subjetiva dos materiais; (2) avaliação emocional dos materiais; (3) avaliação da percepção dos significados do material.

### **2.3.3 Avaliação da percepção subjetiva dos materiais**

Para uma avaliação subjetiva dos materiais uma análise sensorial permite qualificar e quantificar os atributos concretos do produto, em relação ao material, com alto grau de precisão, sofisticação e segurança, de acordo com Almeida Junior (2013). Neste estudo, os atributos subjetivos estéticos são considerados por provocarem emoções estéticas, podendo ser traduzidos pela cor, transparência e translucidez das gemas. Segundo Almeida Junior (2013), a interpretação destes atributos é feita pelos órgãos dos sentidos e processadas através de áreas correspondentes do cérebro. Tal interpretação se diferencia não apenas com os indivíduos humanos, mas com os contextos ambientais particulares (ALMEIDA JUNIOR, 2013).

### **2.3.4 Avaliação emocional dos materiais**

Desmet e Hekkert's (2007) relacionam as emoções com as experiências vivenciadas pelos usuários, que podem ser estética, de significado ou emocional. A experiência emocional está relacionada a fenômenos afetivos como amor e aversão, medo e desejo, orgulho e desespero, dentre outras. O PAD Emotion Scales (Pleasure, Arousal, Dominance Theory of Emotions), desenvolvido por Albert Mehrabian, em 1978, avalia as reações emocionais dos usuários de serviços, produtos, software ou combinações deles. Para se obter os dados, produtos semelhantes são comparados, identificando elementos positivos em um produto e negativos em outros com base na comparação.

Neste estudo uma amostra de gema em seu estado natural é comparada a uma segunda amostra de cor mais intensa ou modificada pelo beneficiamento pedindo ao pesquisado que atribua valor emocional utilizando apenas a visão e luz natural.

### 2.3.5 Avaliação da percepção dos significados do material

O Diferencial Semântico, desenvolvido por Osgood et al (1967), é muito utilizado em diversas áreas do conhecimento. Sua aplicação no design serve para medir os valores conotativos de produtos, imagens e serviços. Ao considerar o produto dentro da dimensão semântica, os valores conotativos são de maior interesse do que os denotativos, de acordo com Quarante (1992). São eleitos descritores ou adjetivos apropriados para obter as informações desejadas, que realmente expressem uma mesma dimensão. Não é aconselhável trabalhar com um número excessivo de descritores para não dificultar a interpretação e nem tão reduzido a ponto de desconsiderar percepções e significados necessários para a interpretação ideal. Um vocabulário léxico pode ser utilizado, o qual se define como o conjunto de palavras que as pessoas de uma determinada língua possuem para expressar-se, seja de forma oral ou escrita. No caso deste estudo os substantivos, adjetivos e verbos foram escolhidos baseados em pesquisas na literatura, em atribuições nos dicionários de gemologia. Este vocabulário serve como um direcionamento para evitar inadequações ou inconstâncias nas etapas de avaliação com os usuários. Em seu estudo Dias (2009) utilizou como vocabulário léxico para cor os seguintes atributos: berrante, branca, cinza, clara-escuro, contrastante, decorado, desbotada, durável, fluorescente, fria-quente, furta-cor, marcante, monocromática, natural, neutra, pastel, varia cores, viva.

A técnica Eye-tracking funciona através de software de computador e câmera apropriada para o registro da ocorrência visual do usuário. Após ser apresentado um objeto ao avaliador, um rastreamento e leitura dos movimentos dos olhos por meio de câmera registram informações acerca das formas do produto, rótulos e identidade da marca. Uma coloração intensa de tom avermelhado é registrada no local onde a permanência dos olhos é maior. Para este estudo o uso da visão sem equipamentos foi a forma encontrada para o registro de avaliação da percepção da cor. De acordo com Dias (2009), estando em um ambiente iluminado, os olhos são capazes de registrar informações que nenhum outro sistema pode detectar, especialmente as cores das superfícies.

Em sua pesquisa com designers Karana (2009) verificou que as propriedades sensoriais eficazes em atribuir significados a materiais são na sua maioria relacionadas com as modalidades sensoriais visuais e táteis. A brilhância foi considerada como a propriedade

sensorial mais eficaz na atribuição de significado por designers holandeses. Outras propriedades eficazes relacionadas com a sensação de visão foram a intensidade da cor, refletividade e transparência.

### **2.3.6 O valor percebido nas gemas e joias**

A joia comunica com o usuário uma multiplicidade de valores e de significados culturais a que o mesmo pertence. Tais valores podem ir além do valor comercial e alcançar a percepção do usuário. Do ponto de vista do material, as gemas podem ser avaliadas e percebidas tanto pelos seus atributos objetivos detectados pelos sentidos do tato e da visão, quanto pelos atributos subjetivos associados aos significados e sentido conotativo das mesmas, principalmente quando da aplicação nas joias. Para um melhor entendimento do valor percebido se faz necessária uma análise dos atributos percebidos pelo usuário nas gemas como material.

#### **2.3.6.1 Atributos objetivos das gemas como material**

Os materiais possuem propriedades sensoriais, definidas como aquelas percebidas pelo homem através dos órgãos sensoriais provocando respostas fisiológicas e psicológicas (ALMEIDA JUNIOR, 2013). Enquanto as propriedades físicas e técnicas são completamente objetivas, as sensoriais são duplamente objetivas e subjetivas. Os atributos objetivos são as características que existem fisicamente no material. De acordo com Dias (2009), os atributos objetivos se subdividem em:

- Gerais: envolvem preço e densidade do material
- Técnicos: envolvem comportamento físico, mecânico, térmico, elétrico, e de processo de fabricação.
- Ambientais: relacionados à legalidade, disponibilidade, uso de recursos naturais, impactos da extração de recursos, conteúdo energético, conteúdo de material reaproveitado, qualidade do ambiente de uso do material.
- Estéticos: quantificam valores acústicos, táteis, óticos, olfativos e de paladar dos materiais.
- Sociais: envolvem aspectos sociais decorrentes da extração de recursos em manufatura.
- Econômicos: envolvem os custos de ciclo de vida dos materiais quando aplicados nos produtos.



Os atributos objetivos estéticos recebem maior enfoque pelo fato desta pesquisa avaliar os aspectos de coloração das gemas. De acordo com Ashby e Johnson (2011), os atributos estéticos são os que se relacionam com os sentidos: visão, tato, olfato, audição e paladar. Esta relação pode ser vista na Figura 5.

Figura 5: atributos estéticos e seus respectivos sentidos

<b>TATO</b>	<b>VISÃO</b>	<b>AUDIÇÃO</b>	<b>PALADAR/OLFATO</b>
Quente	Oticamente claro	Abafado	Amargo
Frio	Transparente	Mortiço	Doce
Macio	Translúcido	Agudo	
Duro	Opaco	Ressonante	
Flexível	Refletivo	Campainha	
rígido	Brilhante	Tom grave	
	Fosco	Tom agudo	
	Texturizado		

Fonte: (Adaptado de Ashby e Johnson, 2011, p. 76)

### 2.3.6.2 Atributos subjetivos dos materiais

Segundo Dias (2009), o perfil subjetivo de um material se pauta em características intangíveis determinadas pelos significados atribuídos e pelas emoções evocadas, não podendo ser identificadas por valores numéricos. Os atributos subjetivos possuem importância neste estudo por estarem atrelados ao valor emocional que o usuário confere ao material ou produto de acordo com Krucken (2009). São os atributos subjetivos estéticos os que provocam as emoções estéticas, podendo ser traduzidos pela cor, forma, transparência, brilho, tato, som, cheiro, sabor, temperatura, propriedades físicas e mecânicas, e expressas pelo processo de fabricação (DIAS, 2009).

O perfil subjetivo de um material, de acordo com Dias (2009), se pauta em características intangíveis determinadas pelos significados atribuídos e pelas emoções evocadas, não podendo ser identificadas por valores numéricos. A interpretação destes atributos é feita pelos órgãos dos sentidos e processadas através de áreas correspondentes do cérebro, fazendo com que esta se diferencie não apenas com os indivíduos humanos, mas com os contextos ambientais particulares (ALMEIDA JUNIOR, 2013).

A cor é o atributo de maior importância neste estudo, uma vez que a intensidade varia com o uso das técnicas de beneficiamentos aplicadas. Do ponto de vista emocional, a cor pode criar uma disposição de ânimo e levar a uma resposta no usuário ou consumidor, de acordo com Dias (2009). A mente acaba por associar cores e combinações de cores com

certos estados emocionais, sentimentos e valores.

De acordo com Schumann (2006), a aparência da cor das gemas pode variar muito, sendo que algumas se apresentam em todas as cores do espectro, como no caso do berilo, mas também de forma incolor. Esta última é sua cor verdadeira, denominada “cor inerente”, sendo as demais produzidas por impurezas. Esta é uma cor constante que pode auxiliar na identificação de uma pedra. Pode ser vista riscando a pedra sobre um prato de porcelana desvitrificada, denominado como placa para risco. O pó resultante após o experimento tem o mesmo efeito como se fossem plaquetas transparentes, mostrando a cor verdadeira da gema.

Com relação às características das gemas são considerados para este experimento os atributos estéticos como transparência e cor apenas, desconsiderando os aspectos técnicos do quartzo como dureza, gravidade específica e ocorrência uma vez que não foram utilizados equipamentos para análise, mas sim apenas o uso da visão. Os aspectos estéticos considerados de acordo com Crowe (2007) foram:

- Pleocroísmo: propriedade que se refere ao efeito de variação de cor e tonalidade das gemas quando observadas de outro ângulo. Aquelas que mostram duas cores ou tonalidades são chamadas de dicróicas, enquanto as de três são tricróicas.
- Brilho e brilho: a sua origem depende do reflexo causado pela luz incidente e do índice de reflexão da pedra e da sua superfície, mas não da cor. De acordo com Schumann (2006), quanto maior a refração da pedra, mais intenso será seu brilho.
- Transparência: é um fator que interfere na valorização da pedra, pois a ausência de substâncias estranhas, bolhas de ar ou fissuras no seu interior impedem a passagem de luz, tornando-a opaca como no caso das calcedônias, lápis-lazúli ou turquesa.
- Interferência: são padrões de interferências causados pela reflexão da luz nas superfícies internas da gema criando uma separação de cores. Suas características se destacam com o polimento.

### **2.3.6.3 A percepção sensorial das gemas pelos usuários**

Os estudos de análise sensorial derivam de trabalhos de psicofisiologia, sendo utilizados tanto no desenvolvimento de novos produtos, quanto na pesquisa das diferenças

e similaridades entre produtos concorrentes. A identificação de preferências dos usuários e a obtenção de referência para a otimização produtiva e melhoria da qualidade dos produtos também se utilizam dos estudos de análise sensorial (ALMEIDA JUNIOR, 2013). De acordo com Karana (2009), as propriedades sensoriais dos materiais aparecem como mediadoras da interação material-usuário e nos ajudam a avaliar os materiais e os significados atribuídos a ele. Desta forma, a construção dos significados dos materiais se amplia em dois cenários diferentes: (1) o material familiar, como metais, plásticos, vidro, etc., possuem um efeito principal no significado do material, ou (2) as propriedade sensoriais particulares de um material, por exemplo, brilho, rugosidade, suavidade, cor, etc, exercem um efeito principal sobre o significado de um material. Cabem nesse segundo cenário a suavidade e a semi-transparência de um material como exemplos, qualidades que quando unidas em um mesmo material trazem a conotação de sensualidade.

A percepção sensorial avaliada nesta pesquisa se utiliza dos atributos objetivos estéticos para criar atributos subjetivos, os quais irão fornecer dados que representem o que o usuário percebe como valor nas gemas. Os usuários neste caso são representados nesta pesquisa pelos designers de joias, pois são responsáveis pela escolha das gemas para o projeto da joia. Conhecem o usuário profundamente a ponto de fornecer informações acerca das suas preferências e escolhas no ato da compra. A pedra aplicada na joia como um produto final proporciona ao usuário a experiência que na maioria das vezes desperta emoções baseadas nas sensações, heranças culturais e vivencias pessoais. De acordo com Desmet e Hekkert's (2007), a experiência pode se apresentar em três níveis:

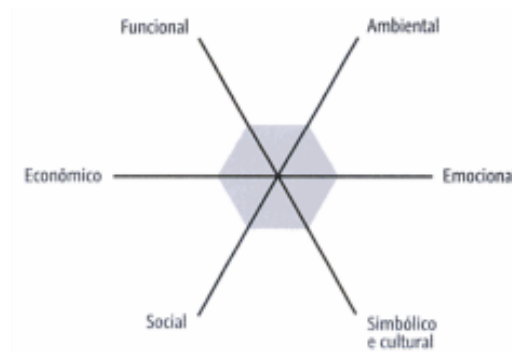
- Experiência estética, na qual o objeto agrada a um ou mais sentidos do indivíduo;
- Experiência de significado, cujos processos cognitivos são envolvidos como interpretação, acesso à memória e associações, permitindo que o indivíduo estabeleça conexões simbólicas e interpretações semânticas dos objetos, dependendo de sua cultura e repertório;
- Experiência emocional, relacionada a fenômenos afetivos como amor e aversão, medo e desejo, orgulho e desespero, dentre outras.

Na pesquisa com usuários, de acordo com Krippendorff (2006), a atribuição de significados que os mesmos conferem aos materiais está relacionada com experiências passadas e gostos pessoais. As diferenças demográficas como idade, sexo, educação, renda, e origens culturais podem afetar a forma como as pessoas avaliam materiais e quais tipos de

significados atribuem a eles (KARANA, 2009).

A percepção do usuário vai além de questões tangíveis e mensuráveis no momento da experiência com o produto. Krucken (2009) considera que “qualidade percebida” é experimentada pelo consumidor antes, durante e após consumir o produto. Dentro desse contexto é construída a relação de confiança entre consumidor e produto quanto à sua origem e local de comercialização. De acordo com Krucken (2009), dentre os valores apreciados pelos consumidores estão a história do produto, do território e da comunidade que o produz, bem como iniciativas de preservação do território e dos serviços ambientais associados. A Figura 6 traz a “estrela de valor”, que dimensiona e avalia produtos e serviços.

Figura 6: Dimensão de valor de um produto ou serviço



Fonte: KRUCKEN, 2006, p.28

De acordo com Krucken (2006), são seis as dimensões de valor representadas:

1. Valor funcional ou utilitário: são atributos objetivos caracterizados pela “adequação ao uso”. Envolve tanto as qualidades intrínsecas do produto como material, composição, e outros, como também aspectos ergonômicos;
2. Valor emocional: de caráter subjetivo, envolve motivações afetivas, sensoriais, dimensão “memorial” relativa a lembranças positivas e negativas de acontecimentos passados;
3. Valor ambiental: vincula-se ao uso sustentável dos recursos naturais e à conservação da biodiversidade;
4. Valor simbólico e cultural: se associa ao desejo de manifestar a identidade social, pertença a um grupo étnico, posicionamento político influenciado pelo contexto sociocultural;
5. Valor social: relacionados aos aspectos sociais que permeiam os processos de

produção, comercialização e consumo dos produtos;

6. Valor econômico: envolve as questões de custo/benefício em termos monetários.

O valor de um produto se estabelece de forma interativa, sendo um equilíbrio entre o “valor potencial”, criado pelos produtores, e o “valor real”, atribuído pelo consumidor e/ou usuário quando adquire e utiliza o produto (Krucken, 2009). Na atribuição de valor alguns aspectos são considerados pertinentes como: o aspecto formal do produto; o fator emocional; e o fator material. Os aspectos formais e o material da joia estabelecem signos e significados simbólicos que se comunicam com o usuário, influenciando no fator emocional. Segundo Gola (2008), a joia sempre está acompanhada de significados, os quais a tornam um objeto simbólico como forma de criação de identidade. As gemas possuem significados de acordo com sua origem e cor que despertam sentimentos e emoções no consumidor. Dentre a infinidade de materiais que foram e são aplicados às joias, um destaque é conferido às pedras, segundo Teixeira (2001), as quais assumem conceitos mágicos e atributos de poder conectados à sua forma e cor. O fator material é considerado pelo consumidor ao atribuir valor ao produto, pois de acordo com Ashby e Johnson (2011), o material possui dentre muitas dimensões, uma que deriva de suas características, do modo como o material é percebido, de suas tradições, da cultura de sua utilização, de suas associações e personalidade.

O aspecto físico do material se associa à história do produto, do território e da comunidade que o produz. Em se tratando das gemas, a sua origem e procedência são informações que despertam no consumidor o anseio de valorizar determinado local, território ou país. Segundo Teixeira (2001), independente de fatores como durabilidade, valor intrínseco ou dos significados simbólicos atribuídos às gemas, elas podem conferir ao produto final uma diferenciação, além de refletir o contexto de onde são concebidos.

#### **2.3.6.4 O papel do design no setor joalheiro**

O design possui uma grande relevância como modificador e impulsionador do setor de gemas e joias. Sua atuação como modificador da cadeia de valor para um cenário mais favorável se aplica nas diversas etapas, como:

1. propondo formas de beneficiamentos de matéria-prima que agreguem valor e as torne mais competitiva no mercado;
2. promovendo a capacitação de mão de obra produtiva como lapidários

- garimpeiros e comunidades produtoras de joias;
3. aplicando o uso de metodologias que resultem em produtos com identidade brasileira e que comuniquem com o consumidor, e por fim,
  4. promovendo integração entre os atores da cadeia para que se fortaleçam resultando em uma maior competitividade da cadeia como um todo.

Uma atuação de forma sistêmica tem motivado alguns setores da indústria brasileira almejando agregar valor a seus produtos que gerem maior competitividade, tanto no mercado interno, quanto externo. Embora, de acordo com Teixeira (2001), os equívocos ainda existam confundindo o design com a arte relegando-o ao plano do desenho apenas. Raramente o design faz parte do planejamento estratégico empresarial, pelo fato deste não entender que, ao contrário da arte, o design possui um caráter prático, funcional, significativo e concreto focado em uma necessidade a ser atendida. Mas mesmo sem um completo entendimento do papel do design, a indústria brasileira investe em tecnologia, pois de acordo com Gola (2008) por volta de 1980, neste quesito, essa se comparava às de Primeiro Mundo. Porém não investia em capacitação de profissionais que conseguissem operar as máquinas, o que acontece ainda hoje quando tais profissionais são formados dentro da própria empresa ou aprendem o ofício com os pais. Nos últimos dez anos, de acordo com Canaan (2013), a indústria brasileira vem buscando melhorar seus padrões de qualidade e de competitividade investindo na importação de máquinas, ferramentas e insumos. Esta é uma iniciativa motivada pela concorrência dos produtos importados e contrabandeados que entram livremente no Brasil. A intenção é potencializar seu poder de exportação agregando valor às joias brasileiras que no mercado internacional têm encontrado boa receptividade.

A realidade é um pouco diferente quando se volta para as micro e pequenas empresas (MPEs), foco de apoio e incentivo do SEBRAE. De acordo com La Rovere (2001), as MPEs apresentam limitações no seu desempenho competitivo tanto nos países desenvolvidos como em desenvolvimento. O autor atribui tais limitações ao uso de tecnologias obsoletas, administração inadequada e uma dificuldade de comercializar e inserir novos produtos no mercado. Estas empresas não parecem ter consciência dos possíveis ganhos em competitividade proporcionados pelo investimento em inovação. Ainda, de acordo com o autor, a baixa capacitação da MPEs é um gerador de dificuldades em conquistar o mercado.

As ações governamentais que buscam a capacitação profissional são uma forma de agregar valor às joias brasileiras, uma vez que agem nos diversos níveis, junto aos beneficiadores, transformadores e indústrias, e agentes responsáveis pela comercialização e distribuição de produtos. O design tem chegado a estes profissionais por meio de ações apoiadas pelo SEBRAE e o Ministério da Ciência e Tecnologia, e os projetos atendem as APLs (Arranjos Produtivos Locais), as quais podem ser definidas como:

aglomerações de empresas localizadas em um mesmo território, que apresentam especialização produtiva e mantêm vínculos de articulação, interação, cooperação e aprendizagem entre si e com outros atores locais, tais como: governo, associações empresariais, instituições de crédito, ensino e pesquisa (SEBRAE, 2003, p.12).

A integração de interesses locais entre os processadores como os lapidários, pode ser vista segundo SEBRAE (2006) no Arranjo Produtivo da Opala na região de Pedro II, cuja ação conjunta do Sebrae/PI com o Governo do Estado, por meio da Secretaria Estadual de Desenvolvimento Econômico, Prefeitura Municipal de Pedro II, Ministério das Minas e Energia, Associação dos Joalheiros e Lapidários de Pedro II, Centro de Tecnologia Mineral e Cooperativa dos Garimpeiros de Pedro II e Ministério da Ciência e Tecnologia. Tendo como objetivo tornar a cadeia produtiva mais competitiva inicialmente houve a capacitação de ourives, seguida da capacitação de lapidários criando o Centro Tecnológico de Artefatos Minerais, que oferece oficinas de lapidação e de joalheria agregando valor à produção. A meta na época era de gerar 270 novos empregos em Pedro II, nas áreas de ourivesaria e lapidação, o que por sua vez beneficiaria diretamente cerca de mil pessoas, uma vez que o trabalho envolve também as famílias desses profissionais.

Em 2003, o projeto Via Design foi realizado na cidade de São José do Rio Preto (SP) com a missão de elevar a competitividade das micro e pequenas empresas pertencentes àquele polo. O projeto também buscou promover a participação das empresas nas exportações por meio da utilização do design como elemento de agregação de valor em produtos e serviços. De acordo com Morais (2004), toda a rede local de empresas, universidades e associações de classe da região de Rio Preto- SP foi mobilizada em torno do tema. Foram cadastrados os designers atuantes no setor em uma base de dados própria e estimulados a participar de cursos, palestras e concursos. Foi possível observar uma elevação da competitividade com um aumento nas exportações em 25%.

O pertencimento dessas MPEs a uma rede pode ser um fator que contribui para um aumento na competitividade das mesmas, pois isso as torna mais motivadas a

estabelecerem laços de cooperação. Duarte (2011) exemplifica os (i) clusters (termo substituído por APL) que são aglomerações setoriais e espaciais de empresas e as (ii) alianças estratégicas que são relacionamentos que empresas de uma cadeia produtiva dispersa geograficamente estabelecem, como modelos nos quais as MPEs experimentam um maior acesso às informações e ao conhecimento. O investimento tecnológico e econômico por parte de incentivos governamentais gera a necessidade de investimento em conhecimento e aprendizados interativos por parte das empresas.

Um importante papel do design é o de fomentar o comportamento colaborativo entre os atores do processo produtivo de forma que reflita em produtos que atendam às expectativas dos consumidores. Segundo SEBRAE (2006) a produção brasileira de gemas não é bem organizada, com visão estruturada de mercado, comportamento esse visto como um problema. Sem planejamento os garimpeiros correm para uma região descoberta como fonte de produção de uma nova gema, aumentando a oferta e conseqüente queda nos preços. Para evitar tal situação, a saída seria a criação de pequenas empresas e associações de garimpeiros com melhor planejamento de inserção das gemas no mercado. As associações que podem ser vistas no estado de Minas Gerais, região de Teófilo Otoni reúnem municípios como Carai, Catuji e Padre Paraíso. De acordo com Canaan (2013), nestas APLs existe a concentração de empreendimentos que são relevantes para o contexto econômico local, indivíduos que atuam nas atividades relacionadas ao setor, porém não existe uma cooperação entre os atores o que impede que as associações se fortaleçam. Um diagnóstico foi realizado da situação, propondo a organização de cooperativas de 3 mil lapidários de acordo com SEBRAE (2006). Foi percebido que unido em cooperativas o setor teria melhores condições de trabalho, poder de comercialização das gemas eliminando a presença de atravessadores, além de maior poder de reivindicação de participação de projetos. O design nesse caso inserido na formação de redes pode aproximar os produtores dos consumidores, incentivando a participação dos mesmos em feiras de joias e gemas nacionais e internacionais, de acordo com Krucken (2009).

#### **2.3.6.5 O designer brasileiro no setor de joias**

A função do designer de joias até bem pouco tempo foi desconhecida por parte dos agentes econômicos e sociais, vindo a ser inserida no contexto como uma atividade especializada só por volta dos anos 1990. Lentamente, o papel de conceber, embasado em dados ergonômicos, econômicos e formais, um produto que estabeleça um diálogo com o



consumidor e atenda às suas necessidades, vem sendo compreendido por parte das empresas.

O emprego incorreto do termo design para o desenho de ilustração de joias ainda é muito comum. Conforme Llaberia (2009), muitos profissionais se identificam hoje como designers, mas não possuem formação na área de desenvolvimento de projetos. Na maioria das vezes criam ilustrações frequentemente distantes dos aspectos produtivos e do desenho de produção.

Diante da abertura do mercado brasileiro às importações na década de 90, surge a inevitável comparação por parte do consumidor, forçando a joalheria nacional a buscar conhecimento e qualificação. As exigências para com os designers oscilam não apenas no universo do conceito, mas também dos processos produtivos, domínio de recursos tecnológicos, de representação gráfica e de produção. O mercado requer profissionais que utilizem os conhecimentos gerais, culturais, as tendências de mercado, sem, contudo, esquecer-se das questões éticas e ambientais (GOLA, 2008).

O designer utiliza seu acervo de experiências para passar pelo processo de design, que se constitui em: análise dos problemas; geração de alternativas; avaliação e seleção das soluções para o desenvolvimento de um produto material (LOBACH, 2001).

A Figura 7 mostra um broche em ouro e quartzo fumê com lapidação diferenciada finalista do Prêmio IBGM de Design 2010, cuja criação do designer Paulo Armando Ferrara se inspirou no estilo Art Deco.

Figura 7: Peça finalista do Prêmio IBGM Design 2010



Fonte: [http://www.infojoia.com.br/news\\_portal/noticia\\_11936](http://www.infojoia.com.br/news_portal/noticia_11936)

Dentre as atribuições necessárias ao designer para o desenvolvimento de um

novo produto, no que se refere à joia, se faz necessária uma percepção da sua parte dos aspectos físicos e formais que conferem simbologia à mesma. De acordo com Balaguera (2013) as peças de joias trazem consigo uma mensagem transmitida por quem a criou que por sua vez tornam-se resultado de quem as interpreta.

A simbologia se representa não apenas nos aspectos formais, mas também nos materiais. O material utilizado numa peça de joalheria influencia a associação do objeto com um conjunto de significados atribuídos pelos membros de uma dada sociedade. Análises estatísticas mostraram que a influência do material sobre o significado percebido na joia é de 43,8% (BALAGUERA, 2013).

As gemas brasileiras ao serem aplicadas nas joias, além de um significado simbólico intrínseco, possuem também o papel de comunicar a origem do material que compõe a joia. A Figura 8 (a) mostra o colar 'Flor do cerrado', peça finalista do concurso promovido pelo IBGM e pelo International Colored Gemstone Association (ICA) em 2011. A peça criada pela autora desta pesquisa teve como inspiração a flora do cerrado brasileiro, uma vez que o tema promovia o uso de pedras brasileiras coloridas. Foram utilizadas diversas variedades de quartzo como a prasiolita, *green-gold* e citrino, rubelita, água-marinha e diamantes.

Figura 8: Colar Flor do Cerrado (a), prasiolita (b), rubelita (c)



Fonte: Elaborado pela autora, 2015

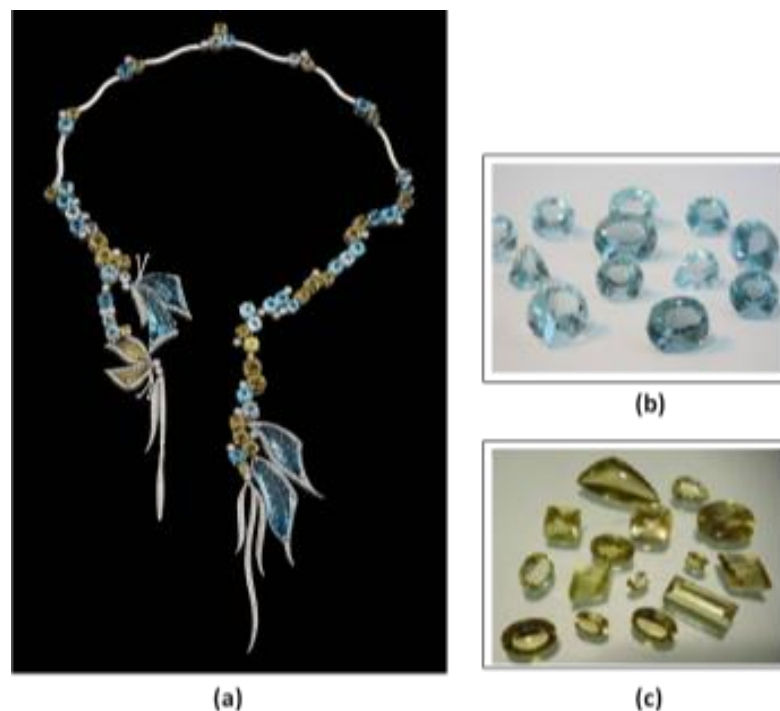
Representar seus aspectos culturais foi um caminho encontrado pelo design de joias na busca por uma identidade brasileira por volta dos anos de 1990. Um processo que

começou no design brasileiro por volta dos anos de 1980 com a crise produtiva industrial, que por sua vez levou ao seu amadurecimento e um apontamento para o conceito de multiculturalidade (MORAES, 2006).

Os concursos de joias internacionais que surgiram a partir do final dos anos 1980 tiveram grande participação de brasileiros com expressiva classificação como finalistas em joias que representavam a 'brasilidade'. Mas foi em 1990 com a criação do 1º Prêmio IBGM de Design, que houve uma diferenciação do design de joias brasileiro no mercado internacional. O prêmio é um poderoso instrumento de incentivo e avaliação de novos talentos abrindo oportunidades para a valorização do profissional (GOLA, 2008).

Com o objetivo de aplicação de gemas tratadas por irradiação a Empresa brasileira de Radiações (EMBRARAD) promoveu o Prêmio EMBRARAD de Design de joias. A Figura 9 mostra uma peça vencedora da segunda edição em 2005 da designer Ruth Grieco, conhecida internacionalmente pela forma como aplica em suas criações as gemas brasileiras. O colar da Figura 9 (a) confeccionado em ouro branco recebeu cravação de gemas irradiadas como os topázios azuis *sky* e *swiss* irradiados (b), quartzos *green-gold* (c) e oliva.

Figura 9: Colar em ouro branco e gemas brasileiras irradiadas



Fonte: [www.ruthgrieco.com.br](http://www.ruthgrieco.com.br)

A liberdade de inovação é uma das principais motivações dos designers em

participar dos concursos. Assim como em qualquer segmento do design ela é uma ferramenta que visa à competitividade do setor. É importante que o processo de inovação seja dominado no melhor momento levando em consideração a velocidade e o estresse da competição (KELLEY E LITTMAN, 2001).

As iniciativas de entidades que buscam criar condições para que o design se constitua como uma forma de diferenciação do produto brasileiro são muito importante. Teve início em 1990 com a criação de um planejamento estratégico para o setor no Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade (PBQB), de acordo com Henriques (2002). Junto ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) o IBGM implantou o Núcleo Setorial de Design (NSD), órgão operacional responsável por apoiar o design desenvolvendo atividades com o objetivo de fortalecer o desenho de gemas e joias, integrando o designer com o setor industrial (GOLA, 2008).

### **2.3.7 O beneficiamento na valorização das gemas**

O beneficiamento como forma de agregar valor à matéria-prima é uma forma de minimizar o problema ambiental, uma vez que reduz o interesse pela venda da pedra bruta e com isso diminui a extração. As gemas brasileiras passam por beneficiamento como lapidação e coloração por irradiação, processos que aumentam seu preço de venda. O quartzo incolor pode ser citado como exemplo por ser abundante no solo brasileiro, estando o país entre os principais produtores mundiais.

O tratamento por irradiação ainda é desconhecido por parte de muitos dos atores da cadeia produtiva, principalmente garimpeiros que desconhecem a agregação de valor que o processo oferece às gemas. Ao propor novas formas de irradiação que irão gerar diferentes formas de coloração significa conduzir ações em nível sistêmico e estabelecer redes favoráveis ao desenvolvimento local. Segundo Favacho (2001), ao ser irradiado, o quartzo agrega um valor de aproximadamente 400% sobre o valor original de uma gema que possuía uma cor fraca ou incolor.

De acordo com diagnóstico realizado pelo IBGM e SEBRAE, um dos gargalos dos processos de produção utilizados pelas indústrias joalheiras, o tratamento das pedras se apresenta como um dos maiores, conforme pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2:  
Problemas nos processos produtivos joalheiros

<b>GARGALOS/PROBLEMAS NOS PROCESSOS UTILIZADOS PELAS INDÚSTRIAS DE LAPIDAÇÃO DE PEDRAS E DE ARTEFATOS DE PEDRAS- GRAU DE IMPORTÂNCIA EM PERCENTUAL</b>				
<b>Itens específicos</b>	<b>Pequeno%</b>	<b>Médio%</b>	<b>Grande%</b>	<b>Inexistente%</b>
Design/concepção do produto	32	06	13	48
Tratamento das pedras	13	16	23	48
Corte das pedras	19	25	22	34
Modelagem dos artefatos	22	17	17	44
Lapidação calibrada	23	27	12	38
Lapidação livre	24	24	03	48
Lapidação diferenciada	21	21	21	38
Polimento	37	27	07	30
Acabamento/montagem	33	19	07	41
Embalagens	36	08	04	52
Outros	13	-	38	50

(Fonte: Adaptado de IBGM, 2005)

A interpretação dos dados permite observar que os maiores problemas apresentados pelas empresas de lapidação e de artefatos de pedras dizem respeito ao corte, representado como de média e grande importância por 47% das empresas. A lapidação diferenciada foi indicada por 42% das empresas como de média e grande importância, enquanto que o tratamento das gemas se apresentou com 39%. A lapidação calibrada também foi um dos itens apontados por 39% das empresas como médio e grande gargalos. Os aspectos concernentes ao design e concepção não foram muito assinalados nas pesquisas quantitativas, ao contrário das pesquisas qualitativas nas quais eles foram enfatizados nas percepções dos empresários entrevistados. As entrevistas qualitativas também confirmaram e salientaram a necessidade de se ampliar a lapidação diferenciada, além de maior escala e produtividade para as pedras calibradas.

### **2.3.8 As gemas como um indicador geográfico**

Os produtos feitos com matéria-prima local possuem uma importância para o usuário que atribui valor à origem. De acordo com Krucken (2009), o valor de um produto se constrói de forma interativa através de um equilíbrio entre o “valor potencial”, determinado pelos produtores, e o “valor real”, atribuído pelo consumidor ou usuário ao adquirir e utilizar o produto.

Foi estabelecido pela Lei 9279/96 de 14 de maio de 1996 o registro dos Indicadores Geográficos (IGs) e com isso o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) passou a ter plenos poderes para estabelecer as condições de registro das indicações

geográficas. De acordo com Krucken (2009), as indicações geográficas designam os produtos agrícolas e alimentícios que apresentam uma ou mais qualidades relacionadas com a zona de produção. Possuem como principais funções a de agregar valor ao produto e proteger a região produtora, segundo Giesbrecht (2014). Além disso, elas são fonte de contribuição para a biodiversidade, do conhecimento que se perpetua e dos recursos naturais.

Para as economias locais e para o dinamismo regional elas contribuem positivamente pelo fato de propiciar a criação de valor local e impedem as falsificações. De acordo com Sardinha (2015), o INPI registra as IGs por meio de duas modalidades:

- Indicação de Procedência (IP), que pode ser solicitada quando um território é conhecido como um centro de produção de um determinado produto específico;
- Denominação de Origem (DO), que resulta de características únicas de um produto resultantes de um modo de produção específico, advindo tanto de fatores físicos como solo, clima e relevo, como de fatores humanos como a tradição na produção.

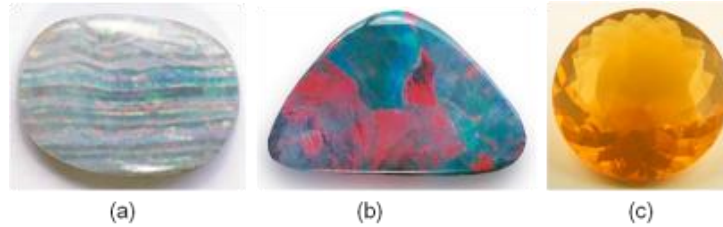
De acordo com Krucken (2009), no Brasil até o ano de 2006 havia apenas duas indicações geográficas: o Café do Cerrado, no estado de Minas Gerais, e o Vale dos Vinhedos, no estado do Rio grande do Sul. Este último foi a primeira IG registrada no Brasil, em 2003, para vinhos tintos, brancos e espumantes. Atualmente o país possui 41 registros de IGs, das quais 33 são de indicações de procedência. No setor de artesanato se destacam a Paraíba como IG para têxteis em algodão colorido, São João Del Rei para peças artesanais em estanho, Goiabeiras do Espírito Santo para panelas de barro, região de Jalapão do Estado de Tocantins para artesanato feito em Capim Dourado e Pedro II para as joias artesanais feitas com opalas de Pedro II (Piauí), o qual será detalhado a seguir por tratar do setor de gemas e joias.

A cidade de Pedro II se situa ao norte do Piauí, numa área de garimpo e está assentada por serras de até 850 metros de altitude, de clima frio e seco durante todo o ano. Conhecida como pedra da boa fortuna, a opala ocorre em terrenos áridos, a profundidades rasas abaixo da superfície, que variam de 15 a 40 metros. De acordo com IBGM (2014), o INPI deferiu em janeiro de 2012, o pedido de indicação geográfica (IG), na modalidade de procedência para as opalas preciosas e as joias produzidas na cidade.

A Figura 10 (a) mostra a imagem de uma opala branca com jogo de cor (ou iridescência) muito comum na região de Pedro II (PI). A Figura 10 (b) mostra a opala negra

que possui maior ocorrência na Austrália, enquanto a Figura 10 (c) mostra a opala de fogo de maior ocorrência no México.

Figura 10: Amostras das variedades de opala (a) opala branca; (b) opala negra e (c) opala de fogo



Fonte: (IBGM, 2005, p.68)

As joias desenvolvidas com a aplicação da opala são artesanais combinadas ao ouro, prata e tucum. Os projetos são dos próprios artesãos que conferem às peças uma identidade artística na forma de colares, pingentes, brincos e anéis com valor agregado pelo diferencial. Segundo IBGM (2014), a produção das joias artesanais de opalas do Piauí é oriunda praticamente 100% da cidade de Pedro II que possui joalherias estruturadas com lapidação, fundição, maquinários e mão de obra qualificada.

Além da opala, podem ser citadas como pedras de procedência brasileira o topázio imperial, encontrado em Minas Gerais na região de Ouro Preto e a turmalina Paraíba originária da região do Seridó Ocidental Paraibano, num município conhecido mundialmente de nome Salgadinho. De acordo com Giesbrecht (2011) o Brasil é o segundo produtor mundial de topázio imperial, seguido da Rússia, Irlanda, Japão, Grã-Bretanha, Índia, Sri Lanka e Estados Unidos.

Figura 11: Topázio imperial



Fonte: IBGM, 2005, p.91

A Figura 11 mostra uma imagem de um topázio imperial de cor característica da região de Ouro Preto (MG). De acordo com Carvalho (2009), o topázio imperial recebeu esta denominação em homenagem a D. Pedro II, e comercialmente refere-se aos de cor laranja a vermelha, enquanto as variedades amarelas são denominadas topázio precioso. Não são

conhecidos topázios imperiais sintéticos, embora existam alguns citrinos e quartzo fumê irradiados que podem ser confundidos com topázios naturais.

## **2.4 QUARTZO: COMPOSIÇÃO E CARACTERÍSTICAS**

### **2.4.1 Composições químicas e cristalográficas do quartzo**

Dentre os minerais, a classe que possui maior número de espécies é a dos silicatos, que constituem quase 60% da crosta terrestre e se caracterizam por ânions em forma de tetraedros de tetróxido de silício ( $\text{SiO}_4$ ). O quartzo é um exemplo de mineral que representa a sílica pura em seu estado cristalino, contendo, de acordo com Soares Filho (1990), 46,7% de silício e 53,3% de oxigênio. Junto ao quartzo, a tridimita e a cristobalita, coesita e stishovita, que são polimorfismos (mesma composição química e diferentes arranjos atômicos diante de variação de pressão e temperatura) do quartzo, também são formas de sílica cristalina, sendo a primeira oriunda de rochas magmáticas efusivas ácidas de alta temperatura, e a segunda proveniente de pedras ígneas localizadas em áreas de atividade vulcânica.

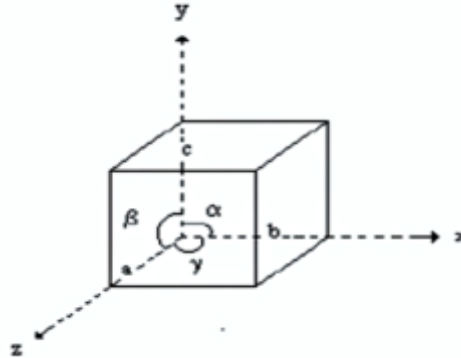
O arranjo formado por quatro átomos de oxigênio ao redor de um silício tetraédrico forma uma unidade estrutural básica. De acordo com Klein (2002), nos vértices do tetraedro estão os átomos de oxigênio prontos para compartilhar com outros grupos vizinhos, formando uma rede cristalina tridimensional. No caso de nenhum oxigênio ser compartilhado, a carga negativa dos mesmos que contribui para o grupo aniônico é por sua vez equilibrada pela presença de cátions na estrutura da sílica. Em uma análise estrutural, uma célula unitária é uma forma de representação da unidade que se repete indefinidamente formando a estrutura cristalina, e esta, por sua vez, representa matematicamente as posições relativas de todos os átomos ou íons num cristal ideal.

A geometria da célula unitária, de acordo com Callister (2012), é completamente definida em termos de seis parâmetros como: os comprimentos das três arestas,  $a$ ,  $b$  e  $c$  e os três ângulos  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ . Estes parâmetros são chamados de parâmetros da rede e compõem um sistema cristalino. Também denominados de eixos coordenados ou eixos cristalográficos estes parâmetros são representados por qualquer uma das linhas imaginárias que atravessam um cristal e se encontram em seu centro. Compõem o conjunto um eixo frontal, chamado de  $a$ ; um eixo vertical, chamado de  $c$ ; e um eixo perpendicular a esses dois,



chamado de eixo b. Os ângulos formados entre tais eixos são: ângulo alfa ( $\alpha$ ) entre eixos c e b; ângulo beta ( $\beta$ ) entre os eixos a e c; e o ângulo gama ( $\gamma$ ) entre os eixos a e b, conforme mostra a Figura 12. Como medidas de dimensões da célula unitária são usados eixos a, b e c em vez de eixos x, y e z. Tais medidas de dimensões relativas e os valores dos ângulos servem para determinar a qual sistema cristalino o cristal pertence.

Figura 12: Eixos cristalográficos de um sistema cristalino



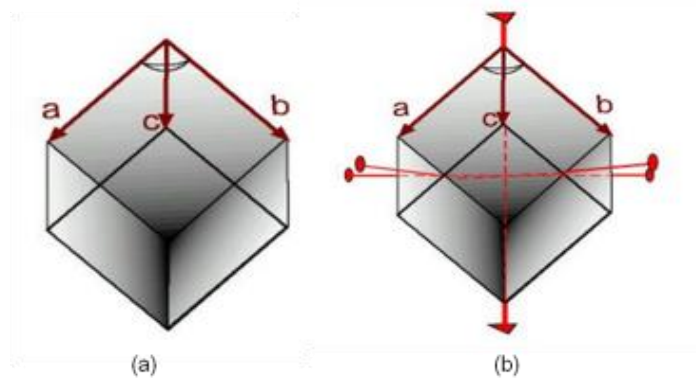
Fonte: [www.mineralogiaequimicadosolo.blogspot.com.br](http://www.mineralogiaequimicadosolo.blogspot.com.br)

O sistema cristalino é representado pela combinação entre os eixos cristalográficos com os ângulos formados entre si, sendo que cada uma destas representa um sistema cristalino distinto, de acordo com Callister (2012). São conhecidas sete combinações ou sistemas cristalinos, a saber: cúbico, tetragonal, ortorrômbico, monoclinico, triclínico, hexagonal e trigonal, os quais se subdividem formando 32 classes cristalinas. Devido ao fato do quartzo pertencer ao sistema trigonal, apenas este sistema será detalhado nesta pesquisa.

O sistema Trigonal ou Romboédrico, segundo Branco (2014), se caracteriza por três eixos cristalográficos horizontais e de comprimentos iguais, os quais formam entre si um ângulo de  $120^\circ$ , e um eixo perpendicular aos demais, diferindo deles no comprimento e na simetria ternária (em um giro completo do cristal a mesma imagem se repete três vezes). Há uma diferença deste sistema para o Hexagonal quanto à simetria do eixo, pois neste último é senária (em um giro completo do cristal a imagem se repete seis vezes).

A Figura 13 (a) mostra a estrutura básica com os eixos cristalográficos, enquanto a Figura 13 (b) mostra que o eixo vertical representado pela seta em vermelho se refere à direção do eixo cristalográfico c, enquanto as linhas horizontais pontilhadas em vermelho representam as direções de eixos a e b e correspondem a direções de eixos normais a planos.

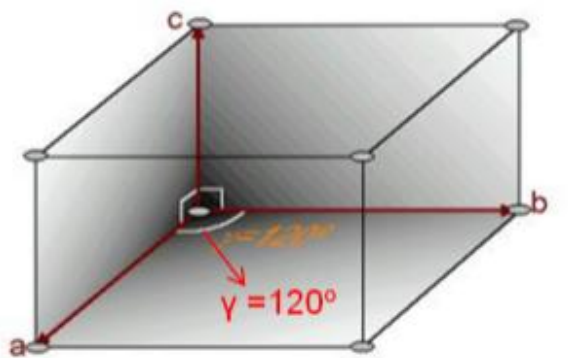
Figura 13: Sistema cristalino trigonal do quartzo



Fonte: [www.fempatrimoni.cat](http://www.fempatrimoni.cat)

O sistema cristalino hexagonal é ilustrado na Figura 14 com a finalidade de justificar o sistema trigonal como uma subdivisão do sistema hexagonal, pois mostra que em vez de dois eixos horizontais existem três, todos de igual tamanho e separados por ângulos de  $120^\circ$ .

Figura 14: Sistema Cristalino Hexagonal



Fonte: [www.fempatrimoni.cat](http://www.fempatrimoni.cat)

Soares Filho (1990) explica que o quartzo que apresenta faces do prisma estriadas horizontalmente e terminadas, geralmente por uma combinação de romboedro positivo e negativo, muitas vezes têm estas faces desenvolvidas de maneira tão igual que passam a impressão de uma bipirâmide hexagonal. Por outro lado, as faces do prisma podem estar ausentes e a combinação dos dois romboedros confere a aparência de uma bipirâmide hexagonal duplamente terminada (conhecida como quartzóide). O reconhecimento das faces do prisma através das suas estriações horizontais é possível, principalmente naqueles cristais com más formações. São observadas as faces trigonais trapezoédricas, que nada mais são do que pequenas truncaturas entre uma face do prisma e a de um romboedro adjacente.

De acordo com Cornejo e Bartorelli (2010), duas modalidades são reconhecidas:

a trigonal ou quartzo-alfa, presente em todas as variedades gemológicas e geradas a temperaturas abaixo de 573°C, enquanto que acima desta temperatura se forma o quartzo-beta ou hexagonal. Soares Filho (1990) cita a denominação de quartzo A para o tipo hexagonal-R, trigonal, trapezoédrica e quartzo B, para a hexagonal-trapezoédrica.

Segundo Havlac (1983), o quartzo recebe suas denominações de acordo com a mudança de fase em função da temperatura. O quartzo-alfa é uma fase em temperatura ambiente podendo transformar-se em quartzo-beta a 573°C, em tridimita a 870°C e em cristobalita a 1470°C até atingir o ponto de fusão a 1713°C. Para Hlavac (1983), estas são as várias modificações polimórficas da sílica e suas inversões mútuas envolvem mudança em volume, que podem ter efeitos desfavoráveis ambos no processamento adequado e nas propriedades dos produtos. Segundo o autor a fusão não-equilibrada de quartzo a temperaturas entre 1400°C e 1450°C foram frequentemente observadas, e neste caso a cristobalita é então formada secundariamente de seu derretimento.

#### **2.4.2 Variedades de quartzo**

Os minerais cristalinos recebem uma distinção pelo aspecto visual de acordo com sua transparência, translucidez ou opacidade. As variedades de quartzo macrocristalinos apresentam cristais individuais visíveis a olho nu, enquanto as variedades criptocristalinas são visíveis apenas sob grande ampliação. De acordo com Anderson (2005), existem duas variedades de quartzo:

- i. Quartzo cristalino: se apresenta em cristais individuais de hábito trigonal bem visível, possui como exemplos: o cristal de rocha, a ametista, o citrino, o quartzo róseo e o *cairngorm* ou quartzo fumê.
- ii. Quartzo criptocristalino: apresenta como variedades típicas a calcedônia, a ágata, o crisoprásio, a cornalina, o sardo, o heliotrópio e o jaspe.

Segundo Soares Filho (1990), dentre as variedades cristalinas ou de maior granulação existem os quartzos com inclusões. O autor também destaca que as variedades criptocristalinas de quartzo existem as fibrosas e as granulares, as quais não se diferenciam sem a ajuda de um microscópio. Dentro das variedades granulares encontram-se o sílex, que se assemelha à calcedônia na aparência, porém com mais opacidade e de cor mais escura; a chert, uma rocha maciça e compacta formada por sílica; o jaspe, geralmente colorido em vermelho pela presença de hematita e o prázio, de cor verde opaca.

Um exemplo que não se insere em nenhuma das duas variedades citadas é a opala que ao contrario das outras gemas, não é um material cristalino, mas sim um gel de sílica endurecido. Mesmo em estado sólido, ela consegue reter as quantidades variáveis de água, e sua cor mais ocorrente é o branco, porém existe uma variedade chamada de opala preciosa que possui jogo de cores, ou lampejos de cores que são na maioria espectralmente puros. A sua relevância para esta pesquisa incide no fenômeno de coloração que detectado pelos aumentos microscópicos.

Um enfoque maior nesta pesquisa será dedicado às variedades cristalinas pelo fato de apresentarem potencial de coloração e pelas propriedades físicas favoráveis à irradiação.

#### **2.4.2.1 Quartzo cristal de rocha**

Denominado como quartzo incolor ou hialino, de acordo com Cornejo e Bartorelli (2010), também possui outros nomes usados pelos garimpeiros, como: “ovo de pomba”, “ovo de ema” e “pingo-d’água”. Mas a denominação cristal de rocha é muito usada, mesmo sendo para Branco (2014) um tanto inadequada, uma vez que minerais formam cristais e as rochas também são formadas de minerais.

A aplicação do quartzo incolor como gema normalmente é pouco atraente, mas muito procurado por colecionadores na forma de entalhes, contas e bolas de cristal. Segundo Cornejo e Bartorelli (2010), a sua exploração adquiriu importância no início do século XX e alcançou o seu auge com a demanda gerada com a Segunda Guerra Mundial, uma vez que era apropriado para uso técnico em instrumentos de precisão. Nas últimas décadas destina-se ao uso industrial, lapidação e coleção, saindo do Distrito de Diamantina e da província Pegmatítica Oriental de Minas Gerais, sendo que nesta ultima destacam-se os produtores de turmalina do distrito de Divino das Laranjeiras, Galileia, São Geraldo do Baixio, Goiabeira, Conselheiro Pena e Resplendor, e o distrito de Coronel Murta, Virgem da Lapa, Araçuaí e Itinga. A região de Corinto e Curvelo, em Minas Gerais, com destaque para a jazida do Morro do Cristal, também apresenta o quartzo incolor em forma de druzas atapetadas, chegando a atingir três metros. De acordo com Favacho (2001), o comércio de minerais de coleção com hábitos diferentes ou incomuns agrega valor aos cofres das cidades de Diamantina, Corinto, Araçuaí, Teófilo Otoni e Governador Valadares. Estão em Diamantina as típicas *flashstones*, nas quais os cristais de quartzo mostram sulcos originados

pela ação dos raios.

Segundo Favacho (2001), os principais depósitos de quartzo hialino e coloridos presentes no estado de Minas Gerais com qualidade gemológica estão inseridos em dois grandes contextos geológicos: a Serra do Espinhaço, com domínio de quartzos de origem hidrotermal, e a Província Gemológica Oriental Brasileira, com domínio de quartzos de origem pegmatíticas.

A Figura 15 mostra as principais variedades de quartzo, sendo a primeira imagem correspondente ao cristal de rocha ou quartzo hialino.



Fonte: Adaptado de IBGM, 2005

#### 2.4.2.2 Ametista

Considerada a variedade mais valiosa de quartzo, a ametista apresenta coloração em vários tons da cor púrpura ou violeta por causa da presença de ferro em sua composição. Segundo Anderson (2005), uma variação de tonalidade das ametistas oscila da malva pálida à violeta mais escura e a sua falta de uniformidade da cor composta por diferentes zonas torna-se favorável na sua distinção com os vidros.

De acordo com Cornejo e Bartorelli (2010) a descoberta da ametista data de 1560, e ocorreu nas mediações entre os sertões de Minas Gerais e Bahia. Do período colonial até o século XVIII, era considerada entre as principais pedras preciosas, mas a descoberta de abundantes jazidas no Brasil fez diminuir seu valor.

O Brasil é um dos maiores produtores de ametista, sendo que as principais

jazidas se localizam na região do Alto Uruguai no Rio Grande do Sul, que compreende mais de 370 áreas de garimpo. Os municípios em ordem de importância são: Ametista do Sul, Planalto, Rodeio Bonito, Frederico Westphalen, Cristal do Sul, Iraí, Trindade do Sul e Gramados de Loureiros. No estado de Minas Gerais, Favacho (2001) destaca a Serra do Espinhaço como fonte de extração de ametista de coloração acentuada proveniente da Fazenda Sobrado (Felício dos Santos). A Figura 15 mostra imagem de ametista beneficiada por lapidação facetada.

#### **2.4.2.3 Citrino**

De acordo com Cornejo e Bartorelli (2010), o nome citrino provém do latim “citrus” ou “limão” por causa da cor amarelo pálido a escuro pela presença de ferro. Esta coloração caracteriza um citrino natural, pois segundo o autor, a maioria dos exemplares vendidos como citrino são, na verdade, ametistas aquecidas ou quartzos submetidos a irradiação gama, com coloração amarela, amarelo-acastanhada, alaranjada ou marrom-avermelhada, sob a denominação comercial de “topázio Bahia” ou “topázio Rio Grande”. Segundo Favacho (2001), os citrinos podem variar do amarelo a laranja e chegar até os tons laranja-amarronzados, como pode ser visto na Figura 15. Ocorrem naturalmente em Minas Gerais, mas de acordo com Maschmeyer e Lehmann (1983), grande parte dos citrinos disponíveis são tratados com irradiação gama.

#### **2.4.2.4 Quartzo rosa**

O quartzo rosa possui coloração de cor-de-rosa pálida a escura, apresentando ocasionalmente algumas nuances púrpuras e ocorre nos pegmatitos próximos a Itinga e Galileia, em Minas Gerais. A cor se origina de vestígios de manganês e titânio, de acordo com Millidge (1998). Segundo Cassedane (1991), entre as numerosas jazidas brasileiras podem ser citadas: o Alto Feio, vizinho de Pedra Lavrada, na Paraíba; a Mina do Piabanha, perto de Joaima, Minas Gerais; e os pegmatitos do Ribeirão do Largo, em Macarani, na Bahia, e da Fazenda São Jorge, em São João do Paraíso, Minas Gerais.

Segundo Miranda *et al* (2012), grande quantidade de quartzo rosa é encontrado na Província Pegmatítica da Borborema, localizada no Sudeste da faixa de dobramento do Seridó, localizada nos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte. A autora cita que grande parte desses quartzos rosa são rejeitados e descartados pela qualidade óptica inferior. A

Figura 15 mostra uma imagem de quartzo rosa em lapidação redonda.

#### **2.4.2.5 Quartzo azul**

Segundo Schumann (2006), este é um quartzo de granulação grossa que apresenta em seu interior inclusões de crocidolita, ou agulhas de rutilo, que causam a cor azul-turva. Sua aplicação é destinada como pedra decorativa e se origina em jazidas no Brasil, Escandinávia, Áustria (Salzburg), África do Sul e EUA (Virgínia).

#### **2.4.2.6 Quartzo fumê ou *Cairgorm***

O quartzo fumê ou enfumaçado apresenta coloração cinzento-escura a quase preta ou marrom-clara a escura pela exposição à radioatividade natural, que ocorre em cristais transparentes a quase opacos. Segundo Cornejo e Bartorelli (2010), esta variedade apresenta variações quanto à sua agregação de cristais, denominado de quartzo “jacaré” quando se apresenta como um agregado de cristais achatados ou em “placas” ou em formato de “catedral”, quando em um grupamento de cristais paralelos. Uma variação de cristais prismáticos e de cor marrom muito escuro ou quase preto é chamado de morion.

Favacho (2001) relata que a presença de impurezas de alumínio e lítio no quartzo está relacionada com a cor fumê diante de radiação natural. O mesmo perde a cor quando submetido a temperaturas entre 140–400°C. Quando combinados irradiação e tratamento térmico, alguns cristais de Minas Gerais tornam-se laranja-amarronzados, principalmente os da região da Província Gemológica Oriental Brasileira. Na Figura 15 é possível ver a imagem de um quartzo fumê com lapidação facetada.

#### **2.4.2.7 Quartzos com inclusões**

As inclusões que se encontram esparsas no interior dos cristais de quartzo podem ser fluídas, na forma de substâncias líquidas, gasosas, sólidas, ou na forma de cristais microscópicos. As espécies minerais que ocorrem como inclusão podem ser o rutilo, hematita, turmalina, mica, diversos anfibólios, cloritas e sulfetos. De acordo com Anderson (2005), fibras de rutilo vermelho-castanho são vistas penetrando num quartzo incolor numa aparente orientação desordenada caracterizando o chamado quartzo rutilado, cujo nome fantasia é “cabelo de vênus” ou *fleches d’amour* (flechas de amor). O quartzo aventurinista verde contém inclusões de diminutas lâminas de fuchsite verde (mica), sendo formado por

uma massa de cristais de quartzo diminutos. Tal característica o coloca numa classificação de uma variedade de quartzito. A Figura 16 mostra uma imagem de um quartzo originário do Rio Grande do Sul com inclusões de goethita, um mineral constituído por óxido de ferro.

Figura 16: Quartzo com inclusão de goethita



Fonte: Hyrst e Niedermayr, 2003

No que se refere à influência das inclusões na coloração destes quartzos, Cornejo e Bartorelli (2010), relata que elas podem levar a alterações de cor, e dentre vários exemplos foram destacados apenas três aqui nesta pesquisa. O caso do quartzo leitoso que apresenta a cor branca leitosa por inclusões fluídas é um exemplo, o quartzo verde que deve esta cor às inclusões de mica fuchsite e o quartzo hematóide que se apresenta na forma de druzas com cristais de cor vermelho-sangue devido às inclusões de ferro. No caso do quartzo rutilado o que pode variar de cor é a inclusão dos finos cristais aciculares de rutilo, sendo que a cor dourada caracteriza um teor muito baixo de ferro (cerca de 0,5 por cento), a partir de um por cento o rutilo se torna vermelho, chegando ao preto com um teor de cerca de dois por cento.

#### **2.4.2.8 Relação da composição e origem do quartzo com a cor**

Dentre as propriedades físicas e químicas, bem como as cristalográficas do quartzo, a de maior relevância nessa pesquisa diz respeito à coloração, uma vez que os beneficiamentos estudados e propostos atuarão diretamente sobre a mesma. Segundo Cornejo e Bartorelli (2010) as variedades de quartzo distinguem-se por uma particular falta de uniformidade, decorrente do fato das mesmas serem faces de maturação de uma solução



hidrotermal de sílica. Antes de abordar os fatores relacionados à composição e origem do quartzo cabe entender algumas propriedades das gemas resultantes de efeitos causados pela incidência da luz, os quais são de grande importância na coloração das mesmas. De acordo com Crowe (2007), os cristais raramente possuem cor e intensidade perfeitamente consistentes em toda a sua superfície. Possuem propriedades a saber:

- Zonalidade da cor: é uma das propriedades das gemas, caracterizada por marcas de crescimento como as bandas de cor presentes na ágata ou zonas de cor como na safira. Ocorre durante o seu processo de formação fenômenos como trocas de temperatura, pressão e comportamento dos ingredientes químicos em contato.
- Pleocroísmo: propriedade que se refere ao efeito de variação de cor e tonalidade das gemas quando observadas de outro ângulo. Aquelas que mostram duas cores ou tonalidades são chamadas de dicroicas, enquanto as de três são tricóicas. Segundo Schumann (2006), nos sistemas tetragonal, hexagonal e trigonal (quartzo) fala-se de dicroísmo pela presença de duas cores principais, enquanto que nos sistemas rômico, monoclinico, e triclinico ocorre o tricroísmo ou pleocroísmo.
- Brilho e brilhaça: a sua origem depende do reflexo causado pela luz incidente e do índice de reflexão da pedra e da sua superfície, mas não da cor. De acordo com Schumann (2006), quanto maior a refração da pedra mais intenso será seu brilho.
- Transparência: é um fator que interfere na valorização da pedra, pois a ausência de substâncias estranhas, bolhas de ar ou fissuras no seu interior impedem a passagem de luz, tornando-a opaca como no caso das calcedônias, lápis-lazúli ou turquesa.
- Interferência: são padrões de interferências causados pela reflexão da luz nas superfícies internas da gema criando uma separação de cores. Suas características se destacam com o polimento.

Cornejo e Bartorelli (2010) denominam como opalescência a característica da opala em apresentar o fenômeno de difusão, refração e interferência luminosa que ocorrem simultaneamente em uma solução coloidal, e atribui ao fato da mesma conter em sua composição 31 % de água. Tal fenômeno produz colorações brilhantes e vivas, as quais

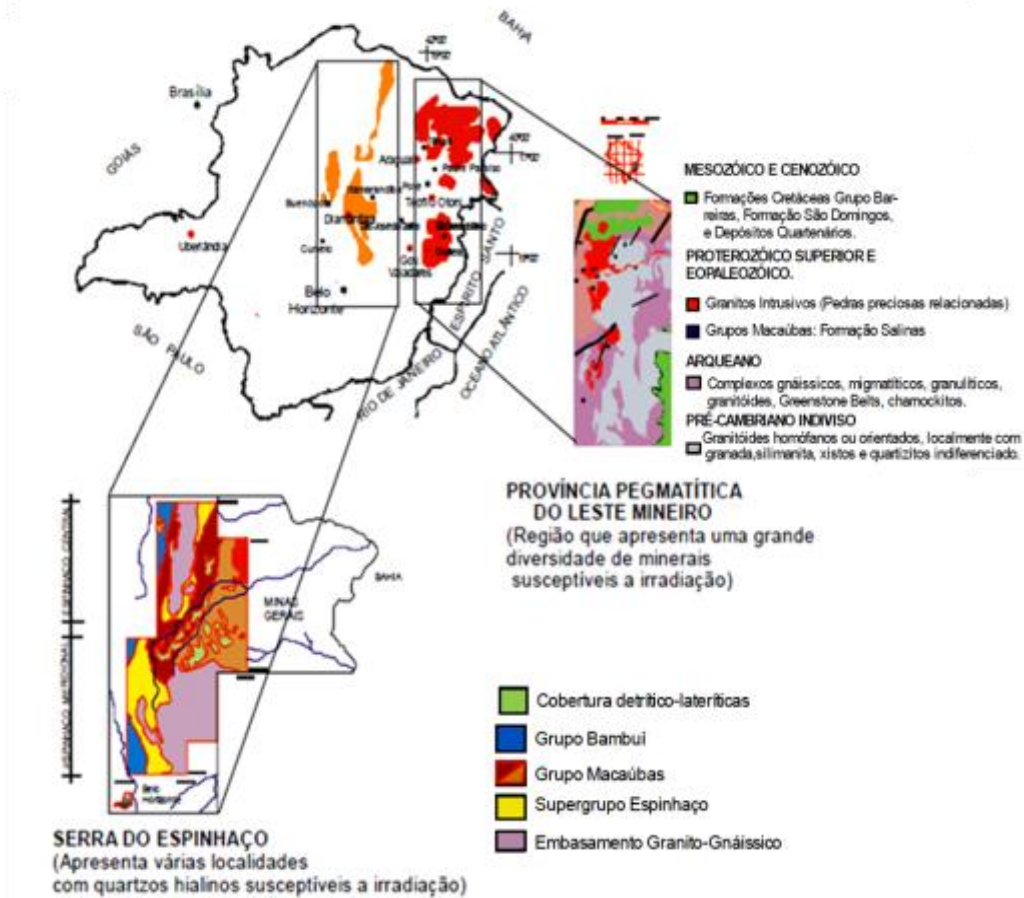
variam com a incidência da luz. Para Anderson (2005), algumas teorias tentam explicar o fenômeno, mas estudos microscópicos demonstraram que na opala preciosa existem áreas de empacotamento de esferas de sílica amorfa, as quais provocam o fenômeno da difração da luz dando lugar a jogos de cores. Para Schumann (2006) a opalescência não deve ser confundida com opalização que se refere ao jogo de cores da opala que varia de acordo com o ângulo de observação.

Dois fatores relacionados à cor desse mineral podem ser abordados, como: a presença de impurezas como íons na sua estrutura e a presença de inclusões no seu interior. De acordo com Soares Filho (1990), dentre todos os minerais, o quartzo é um composto químico de pureza completa, pois possui propriedades físicas constantes. Mas, as análises espectrográficas mostram que mesmo os cristais mais perfeitos possuem traços de lítio, sódio, potássio, alumínio, ferro férrico, manganês bivalente e titânio. Estes elementos quando expostos à radiação natural ou à radiação emitida por substâncias radioativas resultam na coloração do quartzo, embora no primeiro caso o processo possa demorar anos para acontecer. Segundo Alkmim (2012), uma ametista é um exemplo de quartzo contendo pequenas quantidades de alumínio, ferro, hidrogênio, lítio, sódio e potássio que adquiriu a coloração violeta pela exposição à radiação natural.

Segundo Pinto *et al* (2011), embora a origem da cor no quartzo venha sendo estudada ainda há incertezas. Mesmo que seja sabido que a presença de íons na unidade estrutural do quartzo seja determinante na sua cor, segundo os autores a quantidade ainda é uma incerteza, pois quartzo contendo cerca de 20-80 ppm de ferro pode ser incolor, violeta (ametista), amarelo ao marrom (citrino) ou verde (prasiolita). De acordo com Favacho (2001), o conteúdo de impurezas presentes dentro dos cristais depende do ambiente no qual ocorreu a sua cristalização.

É importante ressaltar que o quartzo hialino ou incolor ocorre preferencialmente em dois ambientes geológicos: o hidrotermal e o pegmatito. Os principais depósitos de quartzo hialino e coloridos presentes no estado de Minas Gerais com qualidade gemológica, segundo Favacho (2001), estão inseridos em dois grandes contextos geológicos: a Serra do Espinhaço, com domínio de quartzos de origem hidrotermal, e a Província Gemológica Oriental Brasileira, com domínio de quartzos de origem pegmatítica. A Figura 17 mostra a localização geográfica dessas duas principais ocorrências em Minas Gerais.

Figura 17: Localização geográfica das ocorrências de quartzo no estado de Minas Gerais



Fonte: [www.cnen.gov.br/acnen/pnb/Palestra5-1-Processamento-Irradiação-Gemas.pdf](http://www.cnen.gov.br/acnen/pnb/Palestra5-1-Processamento-Irradiação-Gemas.pdf)

Cornejo e Bartorelli (2010) enfatizam os domínios geológicos, nos quais são encontrados depósitos de quartzo hialino e colorido de qualidade gemológica no estado de Minas Gerais. Como exemplo o autor cita: o quartzo hialino oriundo da Serra do Espinhaço, mais precisamente da lavra da Fazenda Rainha, em Buenópolis, que após tratamento transforma-se em ametista; a ametista da Fazenda Sobrada, em Felício dos Santos e a de Montezuma, cujos cristais tornam-se verdes após aquecimento originando a prasiolita; a ametista da Fazenda Riacho do Barreiro, em Grão Mogol que perde a cor em poucos dias; o citrino claro da região de Diamantina e o quartzo enfumaçado e *morion* de Sopa, em Diamantina. Nas proximidades de Taquaral, em São Paulo também se encontra citrino, assim como a ametista escura perto de Teófilo Otoni, em Minas Gerais, e em Pancas, no Espírito Santo e o quartzo rosa que ocorre na região de Itinga, em Minas Gerais.

## 2.5 QUARTZO: FORMAS DE BENEFICIAMENTOS

O beneficiamento das pedras leva a alterações estéticas nas pedras uma vez que altera a forma por meio de lapidação ou a cor por meio de tratamentos térmicos ou por irradiação. As melhorias agregam valor às pedras que apresentam imperfeições ou cores pouco comerciais. As diversas formas de lapidação também são uma forma de agregar valor às pedras, pois realçam a cor uma vez que criam novos planos de incidência da luz.

De acordo com Favacho *et al* (2001), dentre as motivações pela coloração das pedras estão o aspecto estético ao proporcionar uma cor mais intensa em uma pedra inicialmente incolor, além de aumentar a disponibilidade de materiais gemológicos, melhorando por sua vez os segmentos de exportação e do comércio de gemas.

Segundo Weldon (s.d), além dos beneficiamentos como corte, lapidação e polimento as gemas podem ser tratadas com o objetivo de alteração de cor e de melhora na clareza das mesmas. Além disso, o tratamento pode também melhorar (ou em alguns casos, diminuir) a durabilidade da gema. São exemplos de tratamentos realizados nas gemas como forma de coloração:

- Clareamento (*Bleaching*): obtido através do uso de produtos químicos para alterar ou reduzir um componente da gema porosa ou da totalidade da sua cor. Algumas gemas são branqueadas e, em seguida, tingidas como uma forma de ‘tratamento combinado’. Utilizado nas pérolas, no coral, calcedônia e quartzo olho de tigre.
- Tingimento (*Dying*): introdução de corantes coloridos em gemas porosas ou fraturadas com o objetivo de mudança de cor. Essas fraturas são por vezes propositadamente induzida pelo aquecimento da gema para que a mesma aceite mais facilmente o corante.
- Tratamento com alta pressão e alta temperatura (HPHT): o aquecimento de um diamante a altas temperaturas, confinado sob altas pressões pode remover ou alterar sua cor. Usado nos diamantes para remover sua cor acastanhada tornando-o incolor.
- Preenchimento de fratura ou cavidade: uso de vidro, resina, cera ou óleo para esconder a visibilidade da fratura e para melhorar a clareza aparente de gema.
- Revestimento de superfície (*surface coating*): alteração da cor de uma gema pela

aplicação de um agente de coloração como tinta. A Figura 18 mostra a imagem de cristais de quartzo brutos e lapidados, os quais foram coloridos pela deposição de óxidos metálicos. Uma fina camada deles é capaz de alterar a cor das gemas.

Figura 18: Cristais de quartzo com revestimento de superfície



Fonte: <http://www.gia.edu/gem-treatment>

- Impregnação (*impregnation*): a superfície de uma gema porosa é impregnada com um polímero, cera ou plástico conferindo-lhe uma maior durabilidade e melhora da sua aparência.
- Irradiação (*irradiation*): exposição a uma fonte artificial de radiação para mudar sua cor. É comum o uso seguido do tratamento térmico para modificar ainda mais a cor como um 'tratamento de combinação'. Utilizado nos diamantes, coríndum, topázio, quartzo, pérolas e outras gemas.
- Perfuração a laser: envolve o uso de um feixe focado estreito de luz laser para queimar um canal aberto a partir da superfície de um diamante com o objetivo de alcançar inclusões escuras.
- Difusão estrutural (*lattice diffusion*): penetração de certos elementos na rede atômica de uma pedra preciosa durante o tratamento térmico, com o objetivo de mudar ou acentuar a sua cor.
- Tratamento térmico (*heat treatment*): exposição da gema a altas temperaturas com o objetivo de alterar sua cor ou melhorar a clareza. Mais comumente aplicado no âmbar, na safira, na ametista, água-marinha, citrino, rubi, tanzanita, turmalina, zircão e topázio. A Figura 19 mostra uma imagem de um topázio imperial cortado em duas metades, sendo que a metade da direita foi tratada

termicamente gerando a coloração rosa-arroxeadada.

Figura 19: Topázio imperial tratado termicamente



Fonte: <http://www.gia.edu/gem-treatment>

Esta pesquisa terá como foco principal o beneficiamento por meio do tratamento térmico e do tratamento por irradiação.

### 2.5.1 Beneficiamento por tratamento térmico

De acordo com Favacho *et al* (2001) o tratamento térmico é um beneficiamento capaz de provocar alterações em uma gema por meio de aplicação de calor sob condições adequadas. São determinantes nos resultados e alterações para cada tipo de gema fatores como: a temperatura máxima a ser atingida, o tempo de duração em que a temperatura máxima é mantida, a taxa de aquecimento e resfriamento da temperatura do forno, a natureza química e a pressão atmosférica, assim como a natureza do material em contato com a gema.

Em casos de gemas com inclusões deve ser feita uma avaliação prévia segundo Liz (2008), pois as inclusões podem apresentar coeficiente(s) de dilatação diferente(s) da própria gema. Ao serem submetidas a temperaturas superiores às da sua formação estas inclusões geram uma zona de alta pressão/tensão ao seu redor podendo levar à fratura da gema. O tratamento térmico pode contribuir para um diagnóstico dessas fraturas.

As técnicas podem se utilizar de aquecimento de gemas em tubos de ensaio ou aquecimento em sofisticados fornos elétricos ou a gás com controle de temperatura, pressão e atmosfera. Quanto às temperaturas utilizadas no tratamento térmico, segundo Liz (2008), elas dependem dos objetivos a serem atingidos e da natureza do material a ser tratado, mas variam entre 150°C e 1900°C para os diversos tipos de tratamentos térmicos de interesse prático.

### 2.5.1.1 Principais gemas tratadas termicamente

No que se refere à melhora da transparência e a cor das gemas, o tratamento térmico tem sido amplamente aceito e usado em rubis, safiras, âmbar, água-marinha, ametista, citrino, tanzanita, zircão, topázio e turmalina.

De acordo com Favacho *et al* (2001), a aplicação do tratamento térmico no quartzo se deve aos seguintes objetivos:

1. Filtragem das tonalidades fumê em ametistas naturais ou irradiadas;
2. Filtragem dos tons fume em citrinos naturais ou irradiados;
3. Transformação do citrino laranja-amarronzado (*whiskey*) para cores laranja ou conhaque;
4. Filtragem do fumê para o aparecimento do *green-gold* e *olive*;
5. Transformação de ametistas naturais em citrinos (Rio Grande do Sul e Pará);
6. Transformação de ametistas em quartzo verde (prasiolita), por exemplo a de Montezuma (MG).

#### 2.5.1.1.1 Ametistas

Com o tratamento térmico variando de 300 °C a 560 °C a ametista pode se tornar incolor, ou apresentar cores verdes e amarelas. Embora as cores verdes já tenham sido observadas nas ametistas de Montezuma (MG), ainda não foram observadas as cores amarelas após o aquecimento de ametistas oriundas do estado. A cor fumê resulta de doses de irradiação elevadas e por não ser comercialmente valorizada os tratamentos térmicos com temperaturas que não ultrapassem os 300°C são os utilizados para se obter a cor violeta (FAVACHO *et al*, 2001).

De acordo com De Biasi *et al* (2010) em estudo realizado com ametistas da região de Chopinzinho, no Estado do Paraná foram encontradas algumas variações após o tratamento térmico. As ametistas oriundas de jazidas dessa região ao serem tratadas termicamente se caracterizam em dois tipos:

- Grupo I (de cor violeta menos intensa) e grupo II (de cor violeta mais intensa) as ametistas que ao receberem tratamento térmico tornam-se citrinos;
- Grupo III aquelas que ao serem tratadas termicamente perdem totalmente sua coloração violeta tornando-se quartzo leitoso.

Tabela 3:  
Ametistas tratadas termicamente

VARIACÃO DE COR NOS GRUPOS DE AMETISTAS TRATADAS TERMICAMENTE		
Grupo I	Grupo II	Grupo III
		
<b>Resultado</b> Coloração violeta menos intensa	<b>Resultado</b> Coloração violeta mais intensa	<b>Resultado</b> Quartzo branco leitoso tratado a 480°C com tempo de exposição de 360 minutos

(Fonte: Adaptado de De Biasi et al, 2010)

O estudo mostra também que as do grupo I e II após se tornarem citrinos ao receberem tratamento térmico à temperatura elevada para 600°C tornam-se quartzo leitoso. A Tabela 3 mostra uma divisão por grupo de ametistas tratadas termicamente de acordo com o tempo de exposição.

#### 2.5.1.1.2 Citrinos

Favacho *et al* (2001) relata que os citrinos laranja-amarronzados naturais oriundos da Província Gemológica de Minas Gerais após tratamento térmico a 300°C têm sua cor intensificada pela retirada dos tons marrons que existem nessa variedade. Com o uso desse tratamento, Minas Gerais pode chegar a ser um grande produtor de citrinos com coloração laranja e laranja-amarronzados, sendo os principais produtores as regiões pertencentes à Província Gemológica Oriental Brasileira.

A Tabela 4 mostra um estudo realizado com ametistas da região de Chopinzinho (PR) que tem como um dos objetivos os tratamentos térmicos efetuado nas ametistas para a otimização da obtenção de citrinos mostra, de acordo com De Biasi *et al* (2010), que as colorações resultantes nos citrinos dependem do grupo de ametistas tratadas.

A comparação de cores, as temperaturas e tempo de exposição utilizado podem ser vistas na tabela, sendo que as ametistas do Grupo I (de cor violeta menos intensa) geram citrinos de cor amarelo-claro, enquanto as ametistas do grupo II (de cor violeta mais intensa) geram citrinos de coloração amarelo-alaranjado.



Tabela 4:  
Citrinos resultantes de Ametistas

CITRINOS RESULTANTES DE AMETISTAS TRATADAS TERMICAMENTE				
	Grupo	Temp. (°C)	Tempo (Min)	Citrino resultante
GRUPO I		450	120	
GRUPO II		500	120	

Fonte: adaptado de De Biasi et al, 2010

De acordo com Pinto *et al* (2011), normalmente o citrino é obtido pelo tratamento térmico da ametista a temperaturas de cerca de 500°C, um processo geralmente irreversível. Segundo Schmetzer (1989), citrinos podem resultar tanto de ametistas do Rio Grande do Sul e Pará, quanto de quartzos fumê submetidos ao tratamento térmico. No caso das ametistas, ao serem submetidas a 470°C, tornam-se amarelo-clara, e à temperatura de 550–560°C tornam-se amarela escura a parda-avermelhada, enquanto que os quartzos fumê resultam em citrinos a 300–400°C.

Lehmann e Moore (1966) relataram que a concentração intersticial de Fe<sup>3+</sup> relacionados com defeitos durante o tratamento térmico transforma ametista em citrino. A cor do citrino está associada à precipitação de partículas de ferro na rede de quartzo.

#### 2.5.1.1.3 Quartzo fumê

Segundo Drummond; Mendes; Lameiras (2010), o quartzo fumê se encontra dentre as variedades raras produzidas de quartzo de pegmatitos altamente diferenciados, que contêm minerais de lítio. A combinação de irradiação seguida de tratamento térmico em alguns cristais de Minas Gerais resulta na coloração laranja-amarronzado, principalmente aqueles provenientes da região da Província Gemológica Oriental Brasileira, porém as

amostras provenientes da Serra do Espinhaço apresentam maior estabilidade (FAVACHO *et al*, 2001).

No que se refere à perda da cor dos quartzos fumê:

estudos qualitativos relataram que os quartzos fumê naturais poderiam ser descoloridos aquecendo-se a 600°C durante 5 min, porém o método mais adequado seria o que envolve temperaturas em torno de 400°C durante 10 min, pois não modificam a estrutura cristalina do mineral cujo limite é de 573°C. (FAVACHO *et al*, 2001)

Os quartzos fumês também são precursores dos citrinos obtidos do aquecimento a baixas temperaturas (150°C e 250°C) de quartzos fumê pegmatíticos (região de Itinga), bem como também a partir da irradiação de quartzos hialinos dessa mesma região, seguida de subsequente tratamento térmico a baixas temperaturas. São obtidos citrinos de cor laranja, marrom-alaranjada e marrom, oriundos dos depósitos de Minas Gerais (FAVACHO *et al*, 2001).

A Figura 20 mostra uma relação entre quartzos da região de Minas Gerais com suas colorações resultantes após tratamento térmico apenas ou após a combinação de irradiação e tratamento térmico.

Figura 20: Tratamento térmico em quartzos de Minas Gerais

GEMA	ORIGEM (MG)	TRATAMENTO	COLORAÇÃO
Quartzo fumê (irradiado)	São José da Safira	Térmico	Verde-oliva Verde-amarelado
Quartzo fumê (irradiado)	São José da Safira	Térmico	Amarelo intenso ( <i>beer</i> ) Amarelo-amarronzado ( <i>cognac</i> ) Marrom-alaranjado ( <i>wiskey</i> )
Quartzo fumê (natural)	Itinga e Araçuaí	Térmico	Citrino amarelo
Ametista (natural ou irradiada)	Fazenda Rainha-Buenópolis	Térmico	Incolor
Ametista	Montezuma	Térmico	Verde (prasiolita)
Ametista	Serra do Sudário-São Caetano	Térmico	Amarelo intenso

Fonte: Adaptado de Favacho et al, 2001

## 2.5.2 Beneficiamento por irradiação

O processo de coloração que a radiação natural provoca sobre uma gema consumindo cerca de milhões de anos pode ser realizado em algumas horas com irradiação artificial. Segundo Favacho *et al* (2001), a causa da cor em grande parte das gemas é a presença de defeitos em sua rede cristalina, conhecidos como ‘centros de cor’, os quais podem ser ativados pela radiação natural presente nos depósitos ou pela irradiação de

gemas em indústrias e laboratórios. De acordo com Pinto *et al* (2011), o mecanismo de coloração no quartzo tem sido associado à presença de íons na sua estrutura do quartzo. Segundo Lameiras *et al* (2006) o alumínio é uma impureza muito comum no quartzo. Ele ocorre em teores relativamente baixos, por exemplo, entre 80 e 100 ppm. Os estudos sobre a presença de lítio, sódio, potássio e hidrogênio como influenciadores na cor em variedades gemológicas de quartzo são mais recentes, pois no passado as apostas eram nas influências do alumínio e do ferro. (FAVACHO, 2001).

Quanto à presença de hidrogênio, lítio e sódio, Lameiras *et al* (2006) o citam como neutralizadores de carga elétrica e devido a isso, o alumínio sempre acontece associado a esses três elementos. De acordo com os autores, é comum encontrar os três elementos simultaneamente nos quartzos, porém o teor desses elementos é variável. Quanto à capacidade de desenvolver cores para a joalheria, os índices mais elevados estão naqueles quartzos com um alto teor de lítio, em relação à soma dos teores de hidrogênio e sódio.

### **2.5.2.1 Tipos de radiações**

Os raios X, raios Gama, nêutrons e aceleradores de elétrons são os principais tipos de radiação utilizados nas gemas. Ao contrário dos raios gama que são mais penetrativos, os raios X possuem baixo poder de penetração o que faz com que as gemas coloridas por esse processo não sejam muito aceitas comercialmente. Ambos os processos não deixam radioatividade nas gemas (Favacho *et al*, (2001). A radiação ionizante dos raios-X possui energia limitada para induzir ativação no material irradiado e baixa penetração dos feixes de elétrons, o que a torna pouco interessante comercialmente (Omni, 2006).

A radiação neutrônica possui maior poder de penetração no material e apresenta energia maior que os raios X. Segundo Favacho *et al* (2001), ela produz colorações mais intensas nas gemas, porém as torna radioativa e por isso necessita que a gema fique isolada por um período de quarenta dias após a irradiação.

#### **2.5.2.1.1 Aparelhos de radiação gama**

Com relação ao mecanismo de ação dos raios gama os feixes de elétrons produzidos pelos aceleradores industriais transferem energia durante a interação com os elétrons das órbitas dos átomos que constituem o objeto irradiado. De acordo com Calvo

(2005), as tecnologias de processamento de materiais por raios gama e feixes de elétrons estão consolidadas. No mundo existem mais de 160 irradiadores gama industriais e 1.300 aceleradores industriais de elétrons em operação. No Brasil, segundo Calvo (2005), existem sete irradiadores gama com capacidade máxima entre 60 kCi a 3 MCi em  $^{60}\text{Co}$ , dos quais cinco fabricados pela MDS *Nordion Ion Technologies*. A Tabela 5 mostra os modelos de irradiadores instalados no país com capacidade máxima entre 60 kCi a 3 MCi em  $^{60}\text{Co}$ .

Tabela 5  
Irradiadores gama instalados no Brasil

EMPRESA/ INSTITUIÇÃO	SISTEMA DE TRANSPORTE DO IRRADIADOR/ MODELO	CAPACIDADE DA PLANTA DE IRRADIAÇÃO (KCI)	LOCALIZAÇÃO NO PAÍS	ANO DA INSTALAÇÃO
Johnson & Johnson	Tote Box (JS-6500)	1.500	São José dos Campos/SP	1978
Empresa Brasileira de Radiações - EMBRARAD	Tote Box (JS-7500)	1.500	Cotia/SP	1981
	Tote Box (JS-9500)	3.000		1999
Companhia Brasileira de Esterilização - CBE	Pallet	3.000	Jarinu/SP	1999
Tech Ion	Pallet (IR-176)	3.000	Manaus/AM	2000
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN-CNEN/MG	Panorâmico	60	Belo Horizonte/MG	2002
Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA/USP	Conveyor (IR-198)	3.000	Piracicaba/SP	2002
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP	Tote box (Multipropósito)	2.000	São Paulo/SP	2004

Fonte: Adaptado de Calvo, 2005, p. 26

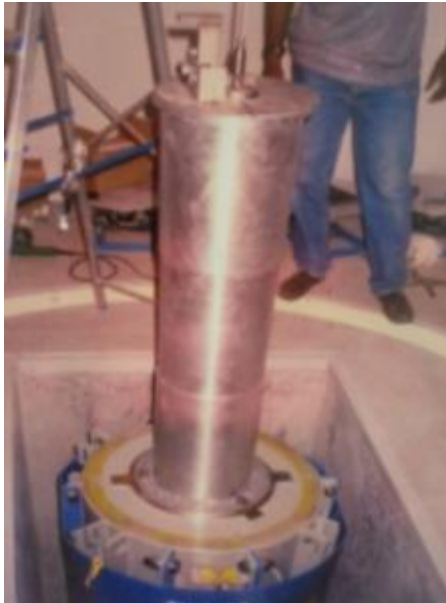
Os aparelhos irradiadores podem variar de pequeno a grande e por isso são classificados, de acordo com IEAE (2008) em:

- Irradiadores independentes: usados em aplicações que necessitam doses pequenas e relativamente pequenas, tais como irradiação de sangue e esterilização reprodutiva de insetos para programas de manejo de pragas.
- Irradiadores panorâmicos: mais indicado para irradiações em escala comercial completas, pois a fonte é constituída por várias fontes Cobalto-60.

O aparelho utilizado nesta pesquisa é o Irradiador Panorâmico Múltipropósito de Categoria II, fabricado pela MDS Nordion no Canadá, Modelo/número de série IR-214 e tipo GB-127, equipado com uma fonte de Cobalto-60 estocada a seco com atividade máxima de

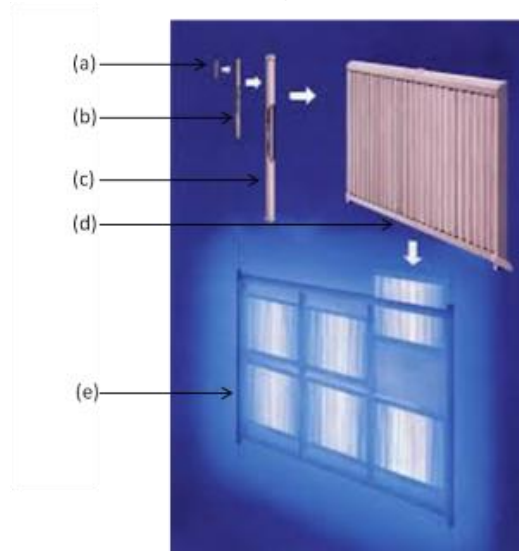
2.200 TBq ou 60.000 Ci. Este aparelho está localizado no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN-CNEN/MG situado em Belo Horizonte (Figura 21).

Figura 21: Fonte Irradiador Panorâmico Multipropósito



Fonte: CDTN-CNEN/MG

Figura 22: Esquema de fontes radioativas dos irradiadores gama industriais



Fonte: Adaptado de IAEA, 2006

De acordo com Miranda (2013), o Brasil tem mostrado uma maior aplicação de uso de irradiação gama e de aceleradores de elétrons para escala comercial e industrial. Este status de aplicação industrial mostra que o crescimento tecnológico depende do desenvolvimento econômico e da necessidade de tornar os produtos fabricados nas indústrias locais competitivos em qualidade e preço para mercado interno e externo.

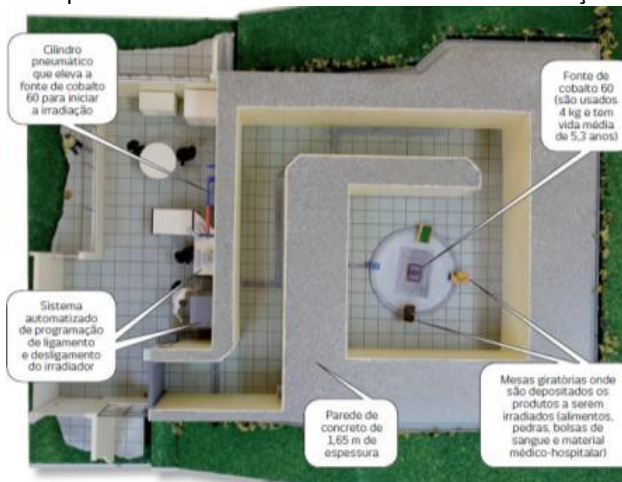
As principais aplicações industriais de radiação, de acordo com IAEA (2008) são a esterilização de produtos de saúde, incluindo farmacêuticos, irradiação de alimentos e produtos agrícolas, materiais de modificação como a polimerização e a coloração de pedras preciosas. Os aparelhos existentes no Brasil, segundo Miranda (2013), possuem as funções de esterilização por radiação de produtos médicos descartáveis, modificação de fios, cabos de comunicação, produtos térmicos, polietileno, espuma, pré-vulcanização de pneus de borracha componentes, irradiação de alimentos, descontaminação, tais como especiarias, frutas desidratadas e grãos e tratamento de gemas.

Com relação à fonte de radiação destes aparelhos, o Cobalto-60 é quase exclusivamente utilizado como fonte de radiação gama para uso industrial, segundo IAEA (2008). Isto se deve ao fato do mesmo ser facilmente produzido e pela sua não solubilidade

em água. As cápsulas de cobalto-60 são duplamente encapsuladas em aço inoxidável AISI 316L no formato cilíndrico denominado de 'lápiz', sendo distribuídos de forma planejada, em posições predeterminadas nos magazines dos racks de fontes radioativas. A Figura 22 mostra uma montagem esquemática do rack de fontes radioativas dos irradiadores gama industriais, sendo: (a)  $^{59}\text{Co}$  (99,98 %); (b)  $^{60}\text{Co}$  em cápsula de Zircaloy; (c) lápis de  $^{60}\text{Co}$ ; (d) magazine com lápis de  $^{60}\text{Co}$  e lápis frios em aço inoxidável AISI316L; (d) rack de fontes com os magazines.

Com relação à localização da fonte, de acordo com IAEA (2008) ela pode estar na sala de irradiação ou no seu espaço de armazenamento blindado (geralmente localizado sob a sala de irradiação), o que pode ser seco ou molhado. O aparelho usado nos testes desta pesquisa utiliza o armazenamento seco e sua localização pode ser vista no desenho esquemático do laboratório de irradiação do CDTN na Figura 23.

Figura 23: Esquema funcionamento do laboratório de irradiação do CDTN



Fonte: CDTN-CNEN/MG

Em casos de sistemas de armazenagem úmida a água é utilizada por possuir várias características desejáveis como uma blindagem de material, pela sua disponibilidade, facilidade de circulação por transferência de calor e transparência, de acordo com IAEA (2008). No que se refere ao modo de irradiação pode ser uma operação contínua ou descontínua, sendo que nessa o processo é interrompido e outros produtos são levados para a sala de irradiação com a fonte totalmente blindada. De acordo com Omi (2006), quanto à exposição do material durante a irradiação a maioria se baseia na translação simples do material em frente à fonte. Mas em alguns modelos como da Picowave Technology o produto irradiado gira em torno do seu eixo, sendo indicado para irradiações em lotes.

O controle da dose de aplicação pode ser feito pelo operador ajustando o tempo que o material é exposto à radiação, quer através da seleção do intervalo de tempo de irradiação ou selecionando a velocidade do transportador. De acordo com IAEA (2008) o longo tempo de uso de um aparelho pode causar variações na saída da fonte tendo como consequência uma redução na sua atividade. A atividade de uma fonte de cobalto diminui em cerca de 12% ao ano, sendo necessária uma compensação por parte do operador.

Com relação às doses de radiação aplicadas é importante entender que ao ser irradiado por raios gama, o material irradiado absorve a energia oriunda de duas origens: (i) pela interação direta com o fóton emitido, sendo que tal interação diminui com a distância e a quantidade de material existente entre a fonte e o material; (ii) pela radiação secundária gerada no material que esteja dentro do campo da influência da fonte. Omi (2006) menciona que na prática, quanto maior a presença de material existente entre a fonte e o ponto de absorção, maior será a fração da dose devida às radiações secundárias.

Segundo Lameiras e Nunes (2004), para amostras de quartzo de São José da Safira (MG), as doses de irradiação variam entre 45 kGy e 400 kGy, sendo que 1 Gy (Gray) equivale a 1 Joule por quilograma. Em seus estudos, Lameiras e Nunes (2004) percebem que ao ser irradiado com doses baixas, abaixo de 100 kGy, são obtidas colorações esverdeadas no quartzo, enquanto que para doses intermediárias, entre 150 kGy e 200 kGy, são obtidas tonalidades amareladas, e as doses superiores a 250 kGy proporcionam tonalidades amarronzadas. Mas, a ocorrência do quartzo de determinada região é o fator determinante da dose exata para se obter uma dada cor e deve ser ajustada para cada caso. A Figura 24 mostra um resumo das cores resultantes nas gemas em função das doses aplicadas, de acordo com Lameiras e Nunes (2004).

Figura 24: Doses de radiação gama aplicada em quartzos

DOSES EM KGY	COLORAÇÃO RESULTANTE NO QUARTZO
100	Cores esverdeadas
Entre 150 e 200	Cores amareladas
Acima de 250	Tonalidades amarronzadas

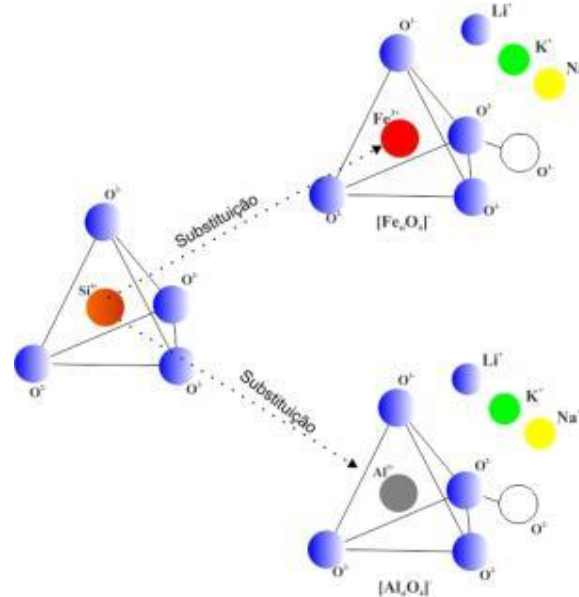
Fonte: adaptado de Lameiras e Nunes, 2004, p. 20

### 2.5.2.2 Centro de cor no quartzo

O quartzo em sua unidade estrutural básica se apresenta como  $\text{SiO}_4$ , estruturado de forma que cada átomo de silício esteja ligado a quatro átomos de oxigênio, estando esses

localizados em cada vértice do tetraedro. Entre os tetraedros vizinhos os oxigênios são compartilhados e formam a rede cristalina tridimensional. Comumente, impurezas na forma de íons estão presentes no quartzo substituindo o silício por  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Fe}$ . A Figura 25 mostra uma estrutura básica de um tetraedro de quartzo puro contendo silício e dois outros contendo impurezas de alumínio e ferro, representados por  $[\text{Al}_{\text{Si}}\text{O}_4]^-$  e  $[\text{Fe}_{\text{Si}}\text{O}_4]^-$ , respectivamente.

Figura 25: Impurezas responsáveis pela coloração no quartzo



Fonte: Adaptado de Favacho, 2001, p. 231

Segundo Rossman (1994), tal substituição causa um desequilíbrio eletrônico, por esses cátions possuírem valência 3+, diferentemente do Si que possui valência 4+. Tal desequilíbrio faz com que compensadores eletrônicos ou íons alcalinos como  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{H}^+$ , se instalem na vizinhança dos tetraedros na busca de um rápido restabelecimento do equilíbrio. A Figura 25 mostra uma estrutura básica de um tetraedro de quartzo puro contendo silício e dois outros contendo impurezas de alumínio e ferro, representados por  $[\text{Al}_{\text{Si}}\text{O}_4]^-$  e  $[\text{Fe}_{\text{Si}}\text{O}_4]^-$ , respectivamente.

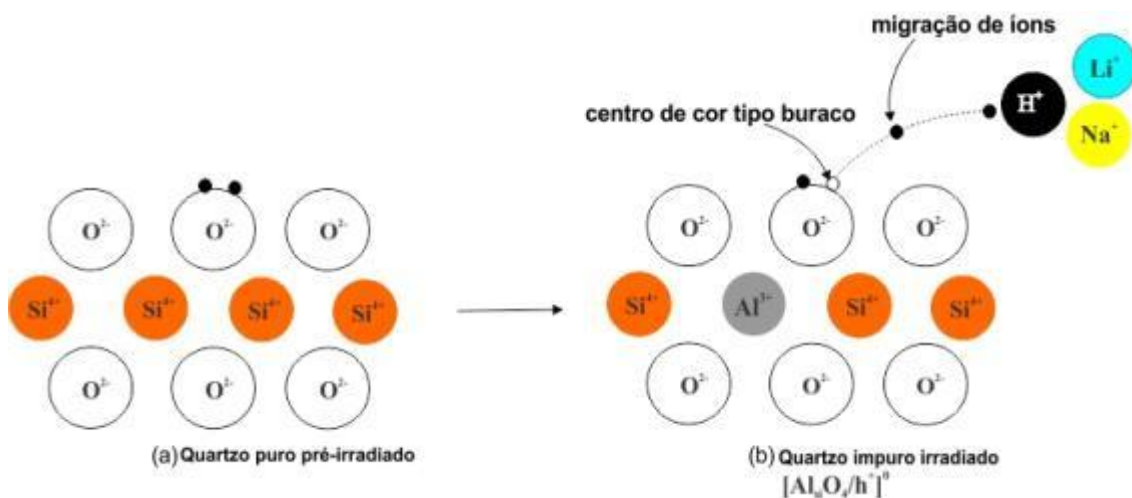
De acordo com Rossman (1994) as impurezas podem ocupar os sítios substitucionais ou os sítios intersticiais. São denominados de substitucionais aqueles sítios tetraédricos do silício coordenados por quatro átomos de oxigênio. Na Figura 25 o ferro e o alumínio ocupam os sítios substitucionais enquanto os demais íons ocupam os sítios intersticiais.

A formação do centro de cor se dá por uma vacância eletrônica que se cria no



orbital p não ligante de um íon oxigênio adjacente ao alumínio substitucional. Aqui o modelo eleito para explicação é a associação desses íons de oxigênio ao hidrogênio. Um conjunto de defeitos associados ao hidrogênio decorrente da radiação ionizante foi proposto por Nuttall e Weil (1981). Na Figura 26 o modelo (a) mostra uma molécula de quartzo incolor antes da irradiação enquanto que o modelo (b) mostra a substituição de íons de silício pelo alumínio e a formação do centro  $[Al_{Si}O_4/h^+]^0$  após exposição à radiação ionizante. Segundo Alkmin (2012), os átomos de silício presentes no centro ficam protegidos por blindagem eletrostática. Um elétron de um oxigênio removido gera um buraco eletrônico criando um defeito na estrutura cristalina do quartzo. Acontece um rearranjo na estrutura, por meio de uma recombinação do buraco eletrônico gerado com os íons positivos de hidrogênio da área intersticial, resultando de acordo com Nunes (2008) o centro  $[(3H) O /h]^{++}$ . De acordo com Favacho *et al* (2001) isso recarrega o átomo compensador inicial criando uma configuração final conhecida como centro de cor que irá gerar o aparecimento da cor fumê no quartzo.

Figura 26: Modelo de centro de cor no quartzo fumê



Fonte: Adaptado de Favacho, 2001, p. 230

Segundo Omni (2006), após o elétron do oxigênio ser ejetado e capturado pelos íons de hidrogênio forma-se um centro de elétron o qual interage com as ondas do espectro de luz e absorve fótons de determinado comprimento de onda. A cor do material será alterada uma vez que os fótons absorvidos estiverem no espectro visível e o centro de captura de elétron passa a ser conhecido como centro de cor.

### 2.5.2.3 Identificação do potencial de coloração nos quartzos

Embora o quartzo seja um mineral abundante no solo brasileiro, apenas uma

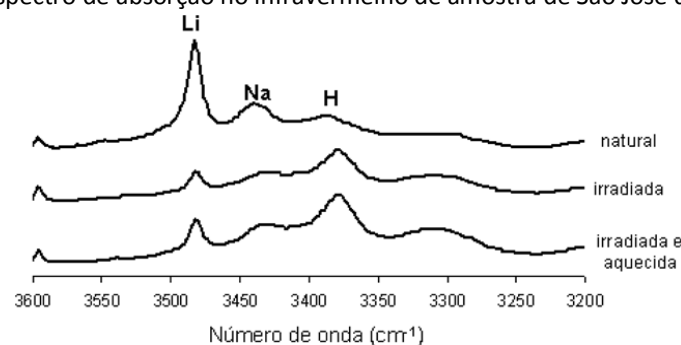
pequena fração das amostras incolores pode desenvolver cores pela irradiação. A identificação do potencial de coloração feita através de testes de irradiação e aquecimento em amostras representativas enviadas para irradiadores é um procedimento demorado, que não atende a necessidade do mercado de pedras semipreciosas (LAMEIRAS *et al*, 2006).

A demanda pela irradiação, muitas vezes se apresenta por parte de quem adquiriu lotes de quartzo de um terceiro, o que dificulta determinar a sua origem. Além disso, muitas vezes os lotes trazem uma mistura de pedras de diferentes origens. Para o irradiador isso se torna um complicador, uma vez que as amostragens para a realização dos testes são inadequadas e fornecem resultados inválidos para o processamento de todo o lote. Conseqüentemente o demandante do serviço deixa de ter acesso a parâmetros importantes do processo de produção de quartzo colorido (LAMEIRAS *et al*, 2006).

O ideal seria a identificação de elementos dopantes, aqueles que causam impurezas no quartzo, tornando-o capaz de desenvolver colorações ao ser irradiado. Para Drummond; Mendes; Lameiras (2010), caso apareçam novas cores, significa que o quartzo porta elementos dopantes como o Al, Fe, Li, Na e H, os quais precisam ser medidos. A identificação pode ser feita, segundo Lameiras *et al* (2006), por meio do uso da espectroscopia na região do infravermelho.

A análise de amostras de quartzo incolor por meio de espectroscopia identifica bandas de absorção do lítio ( $h_{Li}$ ), do sódio-hidrogênio ( $h_{Na}$ ), e do hidrogênio ( $h_H$ ), conforme estudo de Lameiras *et al* (2006). Usando amostras de quartzo incolor, de quartzo irradiado e de quartzo irradiado e aquecido, os espectros foram obtidos com um espectrofotômetro MB 102 da ABB Bomem Inc. com precisão de  $4\text{ cm}^{-1}$ . A Figura 27 mostra que a banda do lítio diminui bastante da amostra natural, para a irradiada e aquecida, enquanto que para o hidrogênio o pico aumenta na mesma ordem observada.

Figura 27: Espectro de absorção no infravermelho de amostra de São José da Safira (MG)



Fonte: LAMEIRAS *et al*, 2006, p. 3

O cálculo das bandas de absorção foi feito usando como referência o ponto de inflexão da curva do espectro localizado entre as bandas do lítio e do sódio-hidrogênio. São medidas as alturas relativas a essa linha das bandas do lítio,  $h_{Li}$ , do sódio-hidrogênio,  $h_{Na}$ , e do hidrogênio,  $h_H$ , localizadas, respectivamente, em  $3476\text{ cm}^{-1}$ ,  $3433\text{-}3450\text{ cm}^{-1}$  e  $3380\text{ cm}^{-1}$ . Tomando-se o número de onda onde ocorre o máximo de intensidade para cada banda, foi possível calcular o “fator do lítio”,  $f_{Li}$ , utilizando a equação:

$$f_{Li} = \frac{h_{Li}}{h_{Na} + h_H}$$

O estudo mostrou que quanto maior o valor desse fator, maior será o potencial da amostra de quartzo em desenvolver cor, além do que os fatores maiores do que 2 ( $>2$ ) fornecem cores de valor comercial.

O uso da espectroscopia em amostras de quartzos de ambientes hidrotermal e pegmatítico de algumas regiões de Minas Gerais, como Serra do Espinhaço em Buenópolis e Serra do Cabral em Francisco Dumont e Galiléia, foi realizado por Drummond; Mendes; Lameiras (2010). O objetivo do estudo foi realizar um mapeamento dos quartzos com potencial de mudança de cor e seus ambientes gemológicos no qual os mesmos estão inseridos. Um resumo do estudo é apresentado na Tabela 6 com amostras pesquisadas, doses respectivas de irradiação e suas origens.

As amostras foram submetidas a ensaios por espectroscopia de absorção na região do infravermelho por transformada de *Fourier (FTIR)* e irradiação gama seguida ou não de tratamento térmico. Com essa técnica é possível definir os cristais com possibilidade de aparecimento de novos matizes de cores. A relação entre as novas cores e a presença de elementos dopantes como o Al, Fe, Li, Na e H nas amostras das regiões pesquisadas tornou possível o mapeamento desejado. Um resumo do estudo é apresentado na Tabela 6 com amostras pesquisadas, doses respectivas de irradiação e suas origens.

Tabela 6:  
Caracterização de quartzos com estudos de espectroscopia

ORIGEM	PESO	DOSE kGy	ESPECTRO OBSERVADO	AMOSTRA INICIAL	RESULTADO
Mina do Tião (MG)	17,2 g	200 kGy	Banda de $3.585\text{cm}^{-1}$ (típico da ametista)		
Mina da Comecha (MG)	27,7 g	300 kGy	Bandas de $3.380, 3.404, 3.434\text{cm}^{-1}$ (típico do fumê)		
Mina da Comecha (MG)	20,8 g	300 kGy	Bandas de $3.485$ e $3.510\text{cm}^{-1}$ (típico do fumê)		
Mina boca Rica (MG)	23,4 g	400 kGy	Bandas de $3.383, 3.434, 3.485$ e $3.595\text{cm}^{-1}$ (típico do cognac)		
Mina do Bode (MG)	33,0 g	65 kGy	Bandas de $3.383, 3.434, 3.485$ e $3.595\text{cm}^{-1}$ (típico do green gold)		

Fonte: adaptado de Drummond; Mendes; Lameiras, 2010

#### 2.5.2.4 Principais gemas tratadas com irradiação

Ao ser exposta tanto à radiação natural como artificial as gemas são capazes de mudar de cor, porém a radiação artificial leva algumas horas para fazer o que a natureza poderia levar milhões de anos. As impurezas presentes na estrutura cristalina das gemas são um fator determinante para o desenvolvimento da cor. Estudos realizados por Nunes (2005) mostraram que a associação do alumínio ao lítio, os quais são elementos que aparecem como impurezas no quartzo incolor, é a condição necessária para o desenvolvimento de cor.

A simples presença de impureza não significa alteração de cor diante da radiação gama. De acordo com Omi (2006), a radiação de cobalto-60 provoca a ejeção de elétrons nos retículos cristalinos, propiciando a formação de centros de cor apenas se existirem precursores desses centros. Isso explica o fato de algumas gemas não apresentarem nenhuma alteração de cor após serem irradiadas. As mesmas possuem as suas propriedades

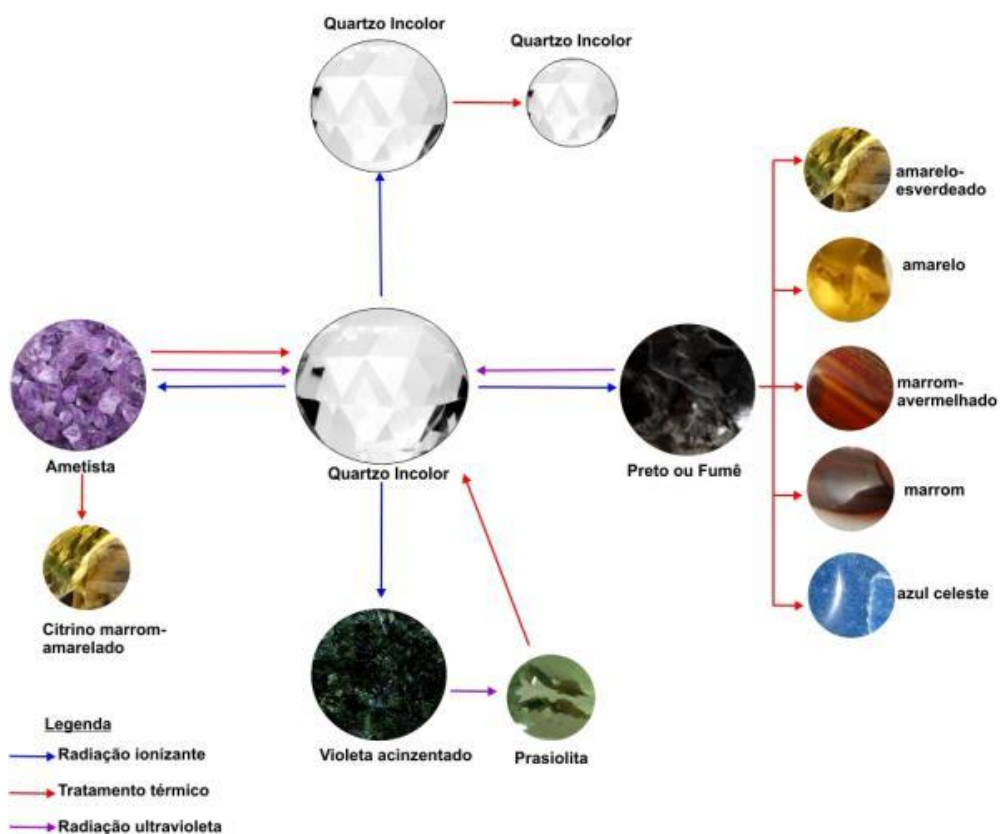
ópticas geradas principalmente pela presença de impurezas e apresentam seus centros de cor estáveis. Segundo Omi (2006), o rubi que possui a cor vermelha determinada pela simples presença do cromo como impureza, não terá sua cor mais acentuada com a radiação ionizante, independente da dose imposta.

As gemas que se beneficiam desse processo são, principalmente, topázios, quartzos, turmalinas, alguns berilos, como heliodora e morganita, e diamantes verdes e amarelos (FAVACHO *et al*, 2001).

De acordo com Nunes *et al* (2009), apenas uma pequena fração de quartzos incolores presentes na natureza podem desenvolver cores de valor comercial. Segundo Favacho (2001), Minas Gerais apresenta uma das maiores reservas de quartzo gemológico do mundo, os quais podem ser beneficiáveis por tratamentos térmicos e irradiações Gama. Tais depósitos encontram-se distribuídos, principalmente, na Serra do Espinhaço e na Província Pegmatítica Oriental brasileira.

A Figura 28 mostra um esquema de cores desenvolvidas pelo quartzo após irradiação, tratamento térmico e irradiação ultravioleta.

Figura 28: Esquema de cores resultantes de diferentes processos



Fonte: Elaborado pela autora, 2015

As colorações adquiridas pela irradiação podem ser revertidas com o tratamento térmico como no caso da ametista, prasiolita e quartzo *morion*, indicado pela seta vermelha no quadro esquemático. A radiação ultravioleta, indicada pela seta roxa, também pode tornar essas gemas incolores mesmo que em um processo mais demorado.

Amostras das regiões de MG de origem hidrotermal e pegmatítica das regiões de Mina Comecha, boca Rica e Mina do Bode ao serem irradiadas e aquecidas apresentaram resultados distintos no estudo de Drummond; Mendes; Lameiras (2010). A cor acastanhada a preta é originada quando aquecido a 180 e 360°C, podendo voltar a cor inicial, ou apresentar matiz variando de amarelo a acastanhado de acordo com doses de 65 ou 400 kGy. Ainda dependendo da dose em kGy a cor violeta da ametista pode surgir com a irradiação gama. Para doses de irradiação inferior a 150 kGy um matiz amarelo-esverdeado (típico do *green gold*) será gerado e, para doses de irradiação de 300kGy, haverá o aparecimento do matiz acastanhado (típico do *whisky*) e matiz de conhaque (*cognac*).

#### **2.5.2.4.1 Ametistas**

A ametista comumente tem sua coloração roxa atribuída à impureza de ferro, mas de acordo com Balitsky *et al*, (2000), sua cor não se relaciona somente a essas impurezas, sendo necessária a sua exposição à radiação ionizante para o desenvolvimento da cor roxa. Para Rossman (1994), a coloração púrpura é observada apenas nas amostras onde os locais específicos são ocupados por íons de Fe<sup>3+</sup>.

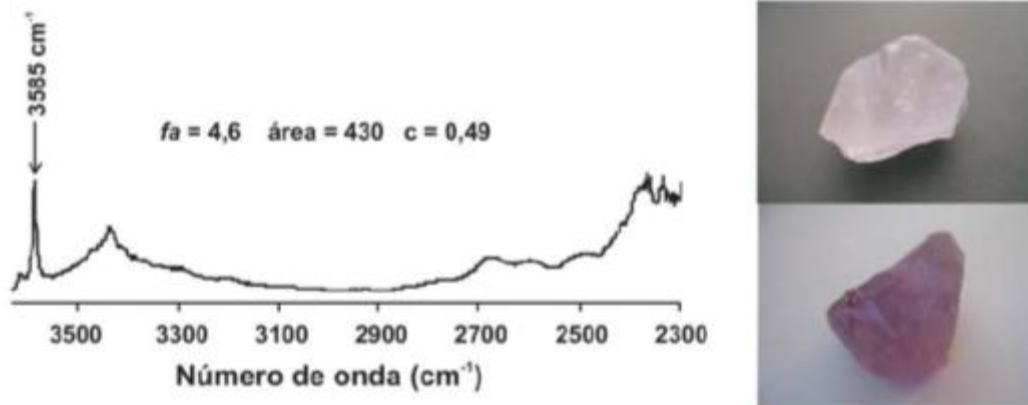
O fato da ametista se originar de um ambiente hidrotermal ou pegmatítico mostra influencia na alteração da sua cor, conforme estudos de Drummond; Mendes; Lameiras (2010). O ferro é considerado o responsável pela cor na ametista natural de origem hidrotermal. Porém o estudo concluiu que, nas amostras da região de quartzo hidrotermal da Mina Comecha localizada na Serra do Cabral (MG), a irradiação gerou cores não comerciais. O fato pode indicar que somente a presença do ferro, no quartzo de ambiente hidrotermal, não é responsável por ametista gemológica de cor intensa. Os autores sugerem uma possível associação entre ambiente formador do quartzo e outro elemento químico, que talvez junto ao ferro venha a ser o responsável pelo matiz violeta-intenso.

O estudo realizado por Drummond (2009) mostra que a utilização de quartzo hialino de origem hidrotermal com teor anômalo de ferro pode desenvolver a cor violeta, enquanto aqueles provenientes de núcleos pegmatíticos altamente rico em lítio, irradiados

de 65 a 400 kGy, podem mostrar cor amarelo-esverdeado.

A Figura 29 mostra parte do estudo realizado por Drummond; Mendes; Lameiras (2010) com quartzo hialino da região da Mina do Tião, no município de Buenópolis (MG), o qual foi irradiado a 200 kGy, resultando na coloração violeta.

Figura 29: Espectro de absorção de quartzo hialino e coloração resultante



Fonte: Drummond, et al 2010, p. 453

#### 2.5.2.4.2 Citrinos

Favacho *et al* (2001) observa que um quartzo hialino proveniente de ambiente pegmatítico, como por exemplo as lavras de São José da Safira (MG), ao receber irradiação seguida de tratamento térmico se torna um citrino. O ambiente pegmatítico não torna única a ocorrência, pois também é considerado citrino um quartzo proveniente de depósitos hidrotermais como o de Cristalina em Goiás.

#### 2.5.2.4.3 Prasiolitas

Também conhecidas como *green-quartz*, geralmente as prasiolitas se mostram em cores claras, sendo indicada a irradiação com raios gama na tentativa de realçar sua cor. Neumann e Schmetzer (1984) relataram que os cristais de prasiolita podem ser obtidos por tratamento térmico de amostras de ametista.

Schmetzer (1989) ressalta que não podem ser consideradas prasiolitas os quartzos verde-amarelados resultantes de irradiação e tratamento térmico em quartzos hialinos oriundos de algumas regiões de Minas Gerais. Podem ser considerados citrinos.

O estudo realizado por Enokihara (2013) com amostras de quartzos da região de Quaraí (RS), Artigas (Uruguai), Soledade (RS), Santana do Livramento (RS), Chopinzinho (PR), Uberlândia (MG), mostra que após serem irradiados adquiriram coloração esverdeada

podendo variar de uma tonalidade verde clara a verde intenso e alguns exibindo ainda um tom verde acinzentado. Aproximadamente 70 a 80% das amostras irradiadas com doses de 300 a 450 kGy exibiram tonalidade verde acinzentada, enquanto que 10 a 30% das amostras permaneceram incolores, e aproximadamente 10% adquiriram uma coloração violeta da ametista. A Figura 30 mostra ametistas da região de Ametista do Sul, irradiadas com doses de 450 kGy resultando em tonalidades verdes, roxas e incolores.

Figura 30: Amostra de ametistas irradiadas a 450 kGy



Fonte: ENOKIHARA, 2013, p. 93

#### 2.5.2.4.4 Quartzo green-gold

De acordo com Favacho *et al* (2001), *Green-gold, Cognac, Whiskey, Beer* são nomes comerciais de quartzos verdes produzidos exclusivamente pela irradiação artificial realizada em laboratório.

Segundo Favacho (2001) os tons verde-amarelados gerados com a irradiação do quartzo são provenientes de três processos:

- I. Irradiação de quartzos incolores por raios gama;
- II. Irradiação de quartzos incolores até que se tornem fumê seguido de tratamento térmico a temperaturas relativamente baixas entre 150–250°C;
- III. Tratamento térmico de quartzo fumê natural submetido a baixas temperaturas.

De acordo com Favacho (2001), os cristais de quartzo geradores de tons verde-amarelados se caracterizam por possuírem alto conteúdo de  $Al^{3+}$ ,  $H^+$  e  $Li^+$  e pertencem exclusivamente à Província Gemológica oriental brasileira.

Os quartzos provenientes de ambiente pegmatítico não mostraram grande variação de cor após irradiação gama, seguida de tratamento térmico de acordo com



Drummond (2009), em estudo realizado com amostras da região da Mina Boca Rica e da Mina do Bode, ambas de Minas Gerais. Ao serem irradiados a 65 kGy e aquecidos, geraram um matiz amarelado com um t nuo esverdeado, produzindo o *green gold*, e matiz acastanhado, quando irradiado a 400 kGy. A Figura 31 mostra a imagem de quartzos *green gold* irradiados ainda bruto e após lapida o.

Figura 31: Quartzos *green gold* bruto e lapidado tratado por irradia o



Fonte: [www.ipen.br](http://www.ipen.br)

#### 2.5.2.4.5 Quartzo fumê

De acordo com Nunes e Lameiras (2005), o quartzo incolor torna-se fumê ou fumê escuro (quartzo *morion*) quando exposto aos raios gama. O quartzo enfumaçado pode se tornar esverdeado, amarelado, acastanhado, ou incolor depois do tratamento térmico, enquanto o quartzo incolor   rotineiramente colorido por irradia o com raios gama e de tratamento térmico para a produ o de joias.

Segundo Favacho *et al* (2001), o tratamento do quartzo fumê irradiado ou natural leva ao desbotamento total da amostra, na maioria dos casos. Em especial os que são provenientes da Província Gemológica Oriental Brasileira, tornam-se laranja-amarronzado quando submetidos   combina o de irradia o e tratamento térmico.

### 2.5.3 Normas para comercializa o de gemas tratadas

As informa es pertinentes aos tratamentos pelos quais as gemas passaram devem, por questões  ticas, serem informadas pelo vendedor ao consumidor. São exigências criadas pela Comissão Federal de Comércio (FTC) e pelo comit  de vigilância dos joalheiros (*Jewelers Vigilance Comit e*). O Instituto Brasileiro de Gemas e Joias (IBGM), juntamente com a Associa o Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) atuam de forma a normatizar o

setor joalheiro-gemológico do país no que se refere aos diferentes tratamentos aplicados em gemas (FAVACHO, 2001).

De acordo com manual elaborado pela JVC e AGTA (2008), as gemas tratadas por irradiação estão sob as normas da Nuclear Regulatory Commission (NRC). O quartzo irradiado com raios gama não está sob essa norma porque não se torna radioativo ao ser tratado, assim como as pérolas tratadas, as safiras amarelas e a maioria das turmalinas vermelhas e kunzitas irradiadas.

Segundo Favacho *et al* (2001), a normatização e normalização no que se refere aos tipos de tratamentos de gemas precisa ser mais refinada. O Comitê Brasileiro de Siderurgia e Mineração (CBI/ABNT) criou em agosto de 1993 um grupo de estudo para elaboração de duas novas normas técnicas para o setor. Uma iniciativa do IBGM que foi acatada pela ABNT que gerou o Comitê Brasileiro de Normalização (CB33) para joalheria, metais preciosos e bijuterias, cuja coordenação está a cargo do IBGM.

Quanto às Normas Brasileiras para o setor joalheiro totalizam quatro, de acordo com Favacho *et al* (2001):

- NBR 10.630: classifica os materiais gemológicos e apresenta o modelo para emissão do Certificado de Identificação da gema;
- NBR 8.000: fixa as condições exigíveis para a comercialização de ouro refinado;
- NBR 8.001: prescreve os métodos para a determinação do título de ouro refinado.

Além das normas de classificação para materiais gemológicos existe a NBR 12.310 para diamantes lapidados a qual estabelece e especifica a terminologia e critérios para a descrição e classificação de diamantes destinados à comercialização. Com relação aos aspectos mercadológicos das gemas, são considerados como principais fatores pertinentes ao tratamento a não modificação da estrutura original do mineral, a estabilidade do resultado e o custo do processo. Isso divide em dois patamares os tratamentos realizados nas gemas como: aqueles que modificam a estrutura cristalina original do mineral como o uso de difusão de óxidos; e aqueles que não modificam a estrutura cristalina como é o caso do tratamento térmico e irradiação. Contudo, é importante considerar que o tratamento das gemas com irradiação e tratamento térmico não as torna artificial, apenas acelera o processo que levaria anos para acontecer naturalmente. As normas devem levar em consideração que a estrutura cristalina permanece inalterada (FAVACHO *et al*,2001).

## Capítulo 3

# METODOLOGIA

### 3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1.1 Fundamentação teórica

3.1.2 Escolha de técnicas e amostras

3.1.3 Pesquisa aplicada com usuários

3.1.4 Tratamento e análise dos dados

3.1.5 Catalogação de amostras

3.1.6 Análise e compilação de dados e de amostras

## Capítulo 3

# METODOLOGIA

Uma pesquisa de caráter exploratório é definida por Godoy (1995) como a que se destina a compreender melhor um contexto ou situação e levantar problemas de pesquisa. Do ponto de vista dos objetivos esta pesquisa possui caráter exploratório por querer explicitar o problema da pouca valorização da matéria-prima brasileira, observando e analisando junto aos atores da cadeia produtiva joalheira o seu destino final.

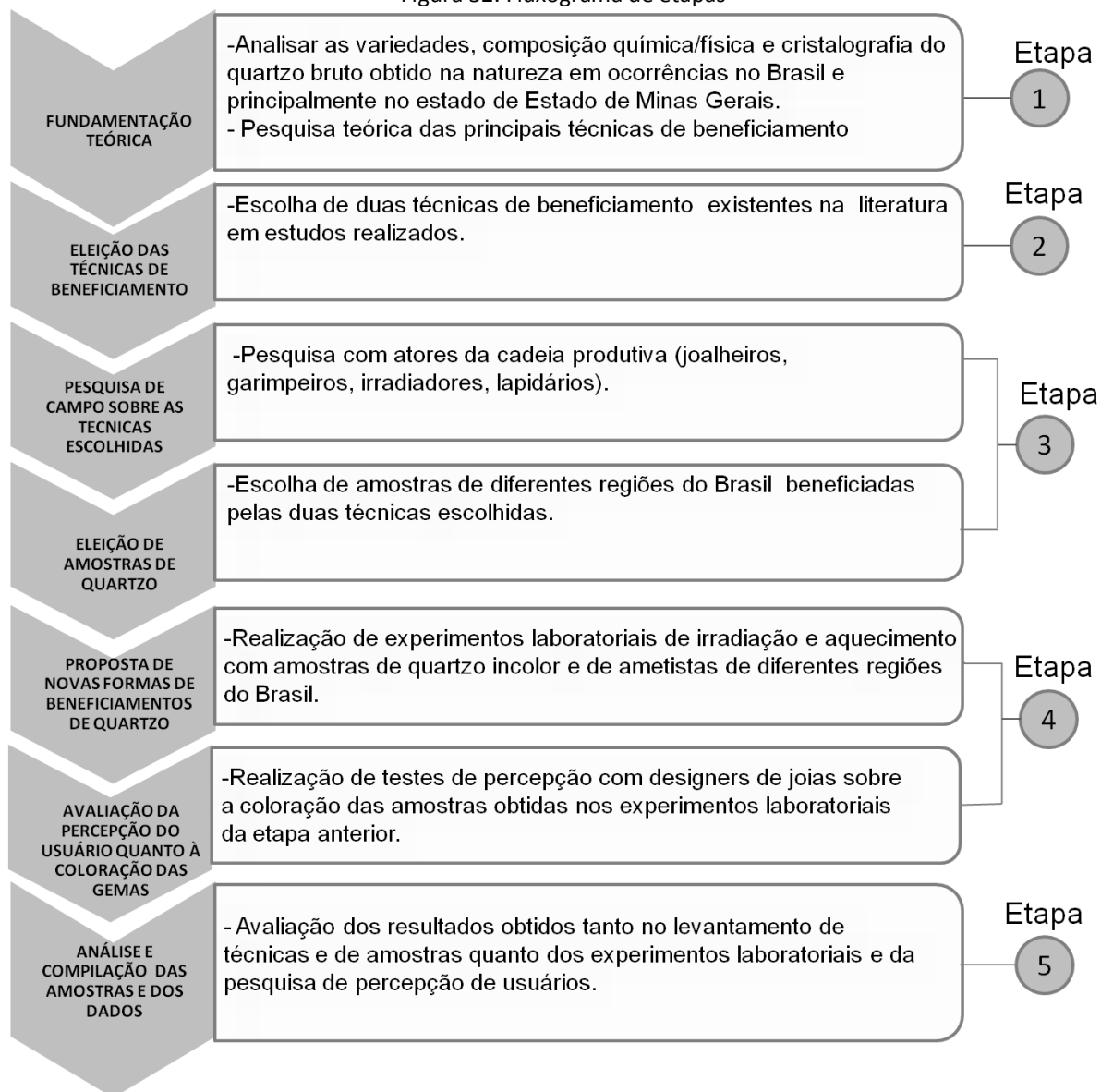
A pesquisa aplicada possui como finalidade a busca de conhecimentos necessários à solução de problemas detectados, por meio da elaboração de um modelo a ser aplicado (SILVA, 2005). Sendo assim, essa pesquisa se caracteriza como pesquisa aplicada, pois objetiva se valer do conhecimento em técnicas de coloração do quartzo como forma de resolver o problema da sua pouca valorização como matéria-prima a ser usada no design de joias.

De acordo com White (2012), existem dois tipos básicos de pesquisa ou fontes de informação: as de dados primários, na qual se obtém informação original a respeito de um assunto e a de dados secundários, na qual a informação é obtida de fontes publicadas e produzidas anteriormente, podendo ser adquirida em uma biblioteca ou na internet. As pesquisas de dados primários podem ser dirigidas a uma amostra da população, conseguidas através de questionários e entrevistas, coletadas diretamente pelo pesquisador, podendo ser de natureza qualitativa ou quantitativa. Essa pesquisa além de utilizar dados secundários como fonte de pesquisa se valerá de dados primários por meio de entrevistas com pessoas ligadas ao setor de gemologia e joalheria. A elaboração de questionários para pesquisa de percepção de usuários e designers de joias quanto à coloração de amostras de pedras escolhidas também será utilizada.

### 3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O processo metodológico a ser aplicado no desenvolvimento desta pesquisa está detalhado na Figura 32 a seguir:

Figura 32: Fluxograma de etapas



### **3.1.1 Fundamentação teórica**

A **etapa 1** da pesquisa consistiu no levantamento teórico sobre o design de joias e sua significativa relação com o setor joalheiro dando maior ênfase ao uso de matéria-prima brasileira como o quartzo, um mineral abundante no país. A pesquisa bibliográfica baseada em materiais publicados, em livros, periódicos ou materiais disponíveis na internet serviu de embasamento para o conhecimento sobre o quartzo, sua ocorrência nos estados brasileiros, suas características físico-químicas e composição.

Na segunda fase desta etapa foi realizada uma pesquisa na literatura sobre os estudos realizados acerca das técnicas de beneficiamentos mais utilizadas.

### **3.1.2 Eleição das técnicas de beneficiamento**

Dentre as técnicas de beneficiamento pesquisadas na literatura foram eleitas duas técnicas mais utilizadas para serem pesquisadas e mais detalhadas nesta pesquisa. Fez parte da **etapa 2** uma seleção baseada no maior número de publicações sobre a técnica, assim como a facilidade de emprego e acessibilidade de pesquisa.

### **3.1.3 Pesquisa de campo sobre as técnicas de beneficiamento escolhidas**

A **etapa 3** consistiu em uma pesquisa por meio de conversas com atores da cadeia produtiva joalheira com o objetivo de conhecer as formas de aplicações das técnicas de beneficiamento escolhidas e sobre a existência de métodos empíricos utilizados. Consistiu também na pesquisa sobre as colorações resultantes de amostras de quartzo incolores de determinadas ocorrências do Brasil. Com base no levantamento realizado foram selecionadas cerca de trinta amostras de quartzo de diversas regiões brasileiras que foram coloridos por meio das técnicas de beneficiamento escolhidas para esta pesquisa. As amostras foram selecionadas levando em consideração os aspectos estéticos como a intensidade da cor.

### **3.1.4 Proposta de novas formas de coloração de quartzo**

Com base na pesquisa de campo sobre as técnicas de beneficiamento a **etapa 4** consistiu em duas fases, sendo a primeira delas referente à realização de experimentos e testes laboratoriais com três amostras de quartzos incolores oriundos de regiões diferentes

do Brasil e duas amostras de ametistas de Brejinho das Ametistas (BA). Os testes consistiram em submetê-los às técnicas escolhidas variando as doses de irradiação e tempo de duração do aquecimento e temperatura de forma a se obter um resultado estético favorável.

### **3.1.5 Avaliação da percepção do usuário quanto à coloração das gemas**

Na segunda fase da **etapa 4** foi realizada uma pesquisa com 16 designers de joias acerca da percepção de cor obtida nas amostras resultantes dos experimentos da primeira fase desta etapa. Foram realizados testes com perguntas e tarefas realizadas pelos pesquisados utilizando as amostras de quartzo incolor, quartzo negro, *Green gold*, ametista violeta e suas derivações obtidas pelo aquecimento e irradiação. Foram avaliados atributos referentes à cor e seus aspectos subjetivos. De acordo com Ashby e Johnson (2011), os atributos de estética e percepção são menos fáceis de definir do que os técnicos, mas para que o material desempenhe seu papel no produto tal percepção deve ser captada e discutida. De acordo com Dias (2009), o processo perceptivo pode explicar a percepção dos materiais, baseado nas funções mentais do indivíduo, que são: a cognição, o afeto, a volição e outras influências. Ainda no âmbito da estética, a autora comenta que essa esteve por muitos anos relacionada à visão, sendo que o que apreciamos é o que vemos e que cada um de nós vê a sua beleza da sua própria maneira. Para o usuário se torna difícil falar sobre os materiais usados nos produtos, sendo uma tarefa do designer a de expressar a materialidade de cada objeto, segundo Ashby e Johnson (2011).

### **3.1.6 Análise e compilação de dados e de amostras**

Na **etapa 5** foi realizada uma compilação das amostras coletadas e das amostras submetidas aos testes de beneficiamento. Os dados comparativos incidiram no aspecto estético da cor das pedras levando em consideração o fator intensidade, uma vez que este é um critério que torna uma gema mais ou menos comercial. Serviram de base os dados obtidos pelos testes de percepção realizado designers de joias e profissionais do setor de gemas, pois permitiram a avaliação do grau de conhecimento sobre as técnicas de beneficiamento e do valor que as mesmas agregam às gemas. Os resultados devem ser analisados como sugere White (2012), buscando informações comuns que possam ser combinadas, pois uma análise isolada de cada pergunta pode levar a interpretações erradas.

# **ESTUDOS EXPERIMENTAIS**

**4.1 ESTUDO EXPERIMENTAL 1**

**4.2 INFLUÊNCIAS DA COMPOSIÇÃO DO QUARTZO NA OBTENÇÃO DE COR**

**4.3 INFLUÊNCIAS DA ORIGEM DAS GEMAS NA GERAÇÃO DA COR**

**4.4 ESTUDO EXPERIMENTAL 2**

**4.5 TESTE 1: PERCEPÇÃO DA MUDANÇA DA INTENSIDADE DA COR**

**4.6 TESTE 2: PERCEPÇÃO DA PERDA DA TRANSLUCIDEZ NAS AMETISTAS**

**4.7 TESTE 3: PERCEPÇÃO DA MUDANÇA DE COLORAÇÃO NAS AMETISTAS**



## Capítulo 4

# ESTUDOS EXPERIMENTAIS

Esta etapa consiste em dois estudos experimentais, sendo o primeiro constituído por um levantamento de amostras de quartzos para realização de testes laboratoriais de irradiação e tratamento térmico. As amostras resultantes deste experimento serviram de material para o segundo experimento que consistiu em uma análise da percepção dos designers de joias acerca da coloração e aspectos estéticos como translucidez de quartzos e ametistas.

### 4.1 ESTUDO EXPERIMENTAL 1

Pesquisas foram realizadas por meio de entrevistas com atores da cadeia produtiva joalheira, como lapidários, pedristas, empresários comerciantes de pedras e técnicos de irradiação. O objetivo deste levantamento se concentra em conhecer as colorações de quartzo resultantes das técnicas de irradiação e tratamento térmico, sejam elas já registradas cientificamente ou advindas de métodos empíricos utilizados. As amostras coletadas serviram de material para a realização de testes laboratoriais e testes de percepção com usuários.

#### 4.1.1 Materiais e métodos utilizados

As amostras levantadas e coletadas na pesquisa de campo mostram que existe uma grande variedade de colorações geradas por meio das técnicas de beneficiamentos escolhidas para esta pesquisa. Os testes foram divididos em grupos, sendo o primeiro em ametistas naturais, o segundo com quartzos incolores com potencial para geração de cor, e um terceiro com coloração bicolor comparando amostras naturais com amostras obtidas por irradiação, aquecimento térmico em forno ou com chama.

Para a realização dos testes foram utilizados cerca de 3 quilos de pedras de diferentes origens brasileiras, em estado bruto e de tamanhos variados. Algumas amostras precisaram de martelagem ou de corte em fatias menores que foi realizado em equipamento com serra diamantada da marca Lapidart. Os testes de irradiação foram realizados por meio de ensaios de irradiação gama, utilizando irradiador Panorâmico Múltipropósito de

Categoria II, fabricado pela MDS Nordion no Canadá, Modelo/número de série IR-214 e tipo GB-127, equipado com uma fonte de Cobalto-60 estocada a seco com atividade máxima de 2.200 TBq ou 60.000 Ci. Este aparelho está no Laboratório de irradiação Gama (LIG) do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN-CNEN/MG. As amostras foram embaladas em papel alumínio, envolto em fita adesiva com a identificação da dose a ser aplicada em kGy ficando o tempo de exposição a cargo do operador técnico responsável.

O tratamento térmico das pedras foi realizado no laboratório do CDTN utilizando forno tipo mufla e termopar da marca Minipa para medição da temperatura. A temperatura desejada para cada teste em particular foi atingida de forma lenta e gradual para que não ocorressem fraturas nas amostras.

A Figura 33 (a) mostra imagem do forno no qual foram realizados os tratamentos térmicos com o uso do termopar, e em (b) podem ser vistas as amostras de ametistas sendo retiradas do forno.



Fonte: da autora, 2016

Os testes de *FTIR* foram realizados no Laboratório de Espectrometria na Região do Infravermelho e Ultravioleta e Visível (LABESPEC) do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/BH). O aparelho utilizado nos ensaios foi um Bomem, modelo MB 102. A preparação das amostras para FTIR foi de fragmentos de quartzo medindo de 3 a 8 mm de espessura, os quais foram obtidos por meio de martelagem.

## 4.2 INFLUÊNCIAS DA COMPOSIÇÃO DO QUARTZO NA OBTENÇÃO DE COR

Para esta etapa foram selecionadas amostras de quartzo de estados brasileiros beneficiados por irradiação e/ou tratamento térmico, com o objetivo de realizar um mapeamento das variedades e seus respectivos potenciais para geração de cor.

### 4.2.1 Quartzos incolores beneficiados

Mesmo sendo abundante no solo brasileiro apenas uma pequena fração das amostras incolores de quartzo podem desenvolver cores pela irradiação. Recebem maior destaque nesta pesquisa pela sua grande ocorrência no Brasil e pela possibilidade de coloração por meio de tratamentos de irradiação ou térmicos.

É importante que uma identificação do potencial de coloração seja feita por meio do uso da espectroscopia na região do infravermelho que irá identificar elementos dopantes presentes nas amostras. Foram coletadas amostras de quartzos incolores de diferentes regiões do Brasil com potencial para geração de cor de acordo com sua composição química.

#### 4.2.1.1 Quartzo incolor do Pará

Figura 34: Quartzo incolor do Pará de peso 98 gramas



Fonte: da autora, 2016

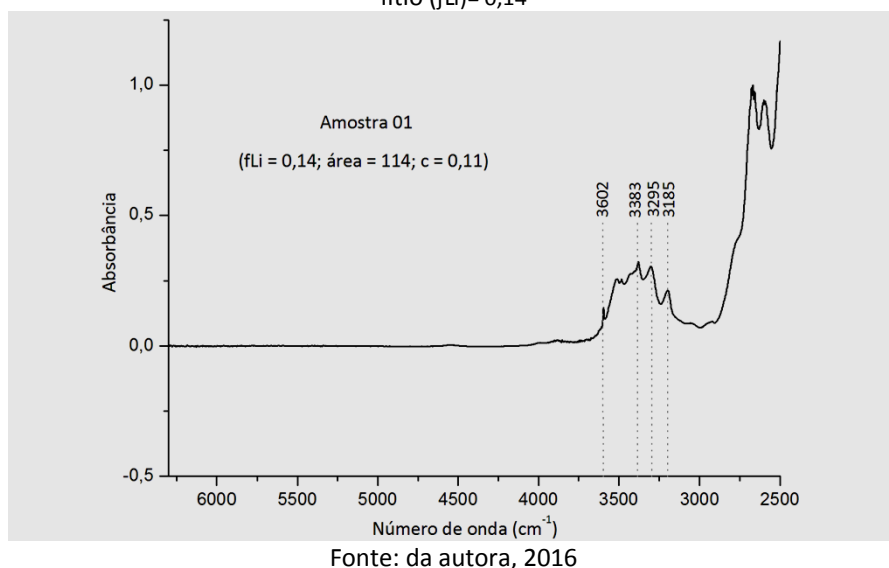
A amostra selecionada é um quartzo hialino originário do estado do Pará, pesando 98 gramas que foi submetida a testes de análises de espectroscopia de absorção na região do infravermelho por transformada de *Fourier (FTIR)*. A Figura 34 mostra a imagem da amostra com algumas imperfeições em sua superfície.

O estado do Pará possui as maiores reservas de quartzo do Brasil, concentrando cerca de 64% das jazidas do país, de acordo com Ministério das Minas e Energia (MME),

(2009). As análises de espectroscopia de absorção na região do infravermelho por transformada de *Fourier (FTIR)* foram realizadas por serem, de acordo com Drummond et al (2010), indicadores seguros de que o quartzo hialino de origem hidrotermal e pegmatítica poderá desenvolver cor depois de submetido à irradiação gama seguido ou não de tratamento térmico.

A Figura 35 mostra um espectro FTIR da amostra. Conforme Lameiras (2012), este espectro é típico de amostras que desenvolvem a cor verde oliva acinzentado após a irradiação gama. O componente acinzentado pode ser eliminado com aquecimento. Entretanto, devido à baixa intensidade das bandas entre  $3100\text{ cm}^{-1}$  e  $3650\text{ cm}^{-1}$ , esta amostra irá desenvolver cores fracas.

Figura 35: Espectro FTIR de quartzo incolor do Pará, com bandas entre  $3100\text{ cm}^{-1}$  e  $3650\text{ cm}^{-1}$  com valor de Fator lítio ( $f_{Li}$ )= 0,14



A Figura 36 mostra a sequência de etapas de beneficiamentos para obtenção de quartzo fumê e citrino. Inicialmente a amostra incolor submetida à irradiação com dose de 40–70 kGy origina o quartzo fumê como pode ser visto em (b). Ao ser aquecida em forno tipo mufla a uma temperatura de 300–360°C a coloração esverdeada obtida é característica da variedade de quartzo oliva, vista em (c).

Figura 36: etapas de tratamento em quartzo incolor do Pará para coloração oliva, (a) quartzo incolor do Pará, (b) quartzo fumê, (c) quartzo *Green gold*



Fonte: da autora, 2016

#### 4.2.1.2 Quartzo incolor do estado do Espírito Santo

O estado do Espírito Santo junto com Minas Gerais e parte do sul da Bahia fazem parte da Província Pegmatítica Oriental que é caracterizada por pegmatitos e veios hidrotermais (BARRETO, BITTAR, 2010). A Figura 37 mostra a imagem de um quartzo incolor, pesando 225,2 gramas, oriundo do estado do Espírito Santo.

Figura 37: Amostra de quartzo incolor do estado do Espírito Santo, peso 225,2 gramas

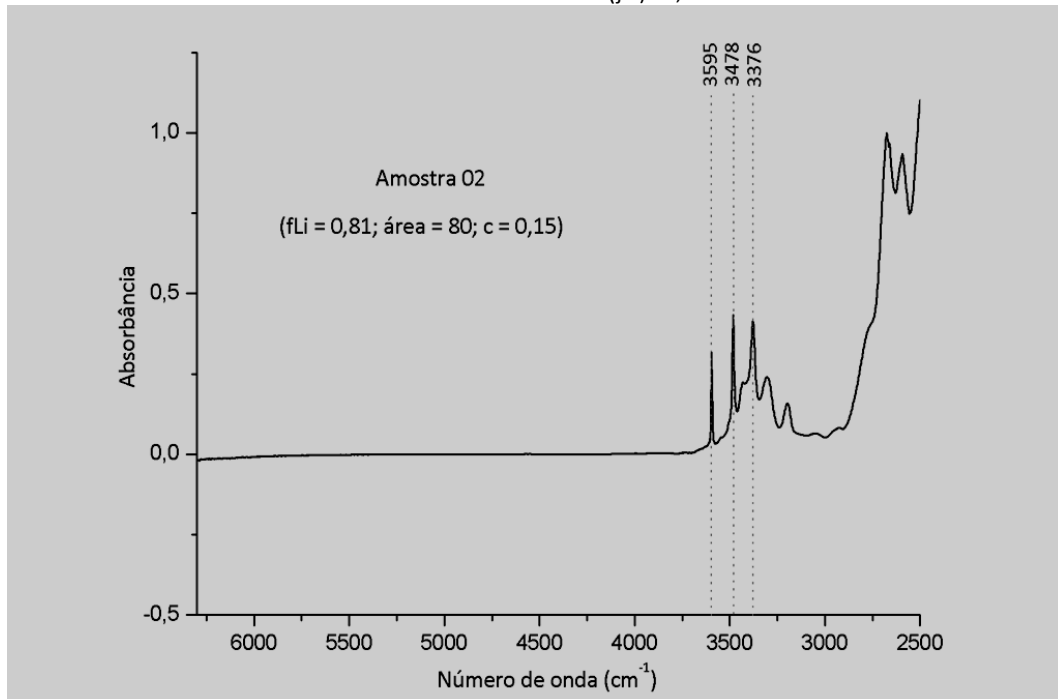


Fonte: da autora, 2016

Os ensaios de *FTIR* foram realizados na amostra para identificar o potencial de coloração para cores que variam do fumê ao verde. De acordo com Nassau (1978 a), para que o centro de cor exista no quartzo fumê é necessária a presença de impureza  $Al^{3+}$  substituindo íons  $Si^{4+}$  por alguns íons alcalinos, como por exemplo,  $Na^{+}$  ou  $H^{+}$  nas proximidades para manter eletroneutralidade. O potencial de coloração detectado pelo ensaio de *FTIR* pode ser visto na Figura 38 que mostra uma intensa banda em  $3478\text{ cm}^{-1}$ . O resultado vai de encontro aos levantamentos em estudos de Lameiras (2006), cujas bandas

intensas em  $3476\text{ cm}^{-1}$ , ou bandas em  $3380\text{ cm}^{-1}$  e  $3433\text{--}3450\text{ cm}^{-1}$ , indicam um potencial do quartzo para desenvolver cores.

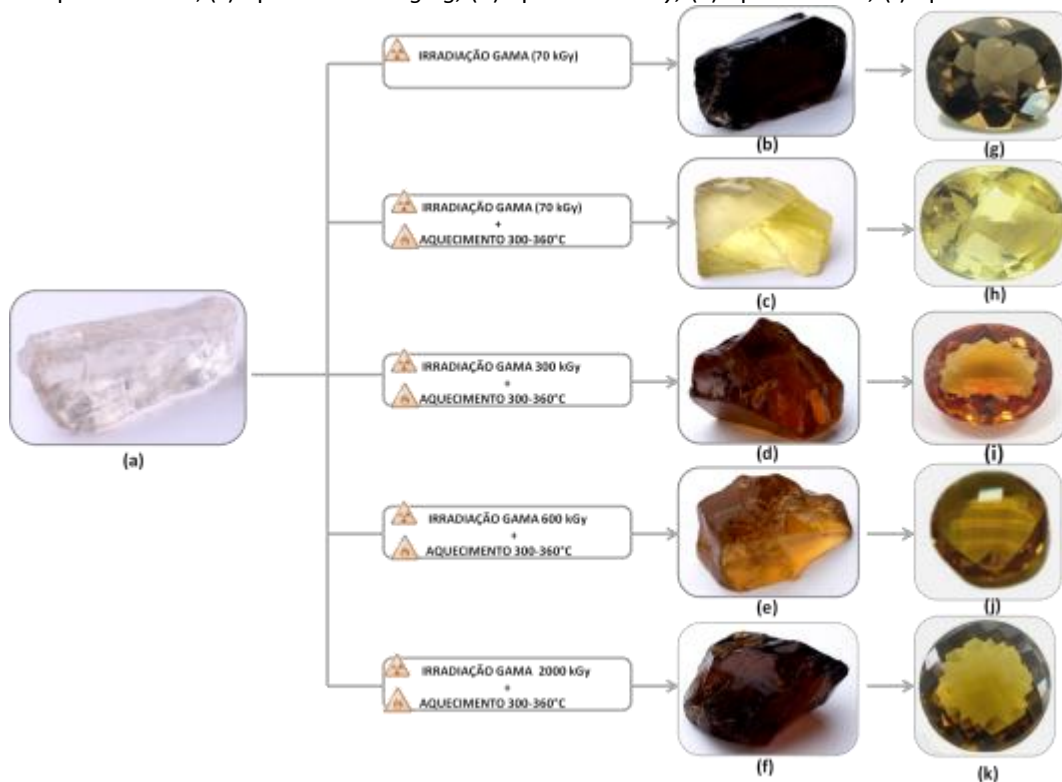
Figura 38: Espectro FTIR de quartzo incolor do estado do Espírito Santo, com bandas entre  $3376\text{ cm}^{-1}$  e  $3478\text{ cm}^{-1}$  com valor de Fator lítio (fLi)= 0,81



Fonte: da autora, 2016

As possibilidades de coloração que podem resultar do tratamento por irradiação seguido de tratamento térmico a partir desta amostra analisada podem ser vistas na Figura 39. A amostra vista em (a) quando submetida a uma dose de irradiação gama de 70 kGy resulta em um quartzo fumê que pode ser visto em (b). Ao ser aquecida a uma temperatura de  $300\text{--}360^\circ\text{C}$  a amostra adquire a cor característica de um quartzo *Green gold* (c). Quando a amostra incolor passa por uma irradiação de 300 kGy com subsequente aquecimento de  $300\text{--}360^\circ\text{C}$  adquire a cor *whisky* que pode ser vista em (d). Uma irradiação de 600 kGy seguida de aquecimento térmico de  $300\text{--}360^\circ\text{C}$  gera a cor *beer*, vista em (e), enquanto que a irradiação a uma dose elevada para 2000 kGy seguida de aquecimento variando de  $300\text{--}360^\circ\text{C}$  gera a cor *conhaque*, vista em (f). As amostras correspondentes beneficiadas pela lapidação facetada podem ser vistas nas figuras de (g) a (k).

Figura 39: Possibilidades de cores no quartzo incolor do Estado do Espírito Santo, (a): quartzo incolor, (b): quartzo fumê, (c): quartzo *Green golg*, (d): quartzo *whisky*, (e): quartzo *beer*, (f): quartzo conhaque



Fonte: da autora, 2016

Este processo converge para o que argumenta Nassau (1978a) sobre a compensação de carga providenciada pelo  $Al^{3+}$  substituindo por  $Si^{4+}$ , resultante da irradiação que ejeta elétrons de um oxigênio adjacente do Al. A exposição de tais quartzos à radiação com raios X, raios gama, nêutrons, ou aos materiais radioativos que emitem níveis baixos de tal radiação provoca a ejeção de um dos pares de elétrons presentes num dos átomos de oxigênio adjacentes a cada alumínio. Os resultados de coloração obtidos neste teste corroboram com o que explicam Nassau e Prescott (1977) sobre os efeitos causados pela irradiação e aquecimento sobre os elétrons. Ao ser exposto à radiação o elétron deslocado fica "preso" em outro lugar no cristal de quartzo, causando absorção de luz. Por meio de aquecimento do quartzo a 400°C este elétron pode ser liberado e assim retornar ao centro de cor. O aquecimento faz com que os elétrons sejam emparelhados novamente tornando o quartzo incolor, o qual poderá ter sua cor restabelecida mediante uma nova radiação. De acordo com Nassau (1978), a temperatura de branqueamento não é uma característica do próprio centro de cor, mostrando variações para cada quartzo.

A amostras de quartzo hialino, vista na Figura 40, de peso 94 gramas, é oriunda do estado do Espírito Santo pertencente à Província Pegmatítica Oriental, característicos de

depósitos primários e secundários, os quais possuem característica dopante para irradiação (DRUMMOND, 2010).

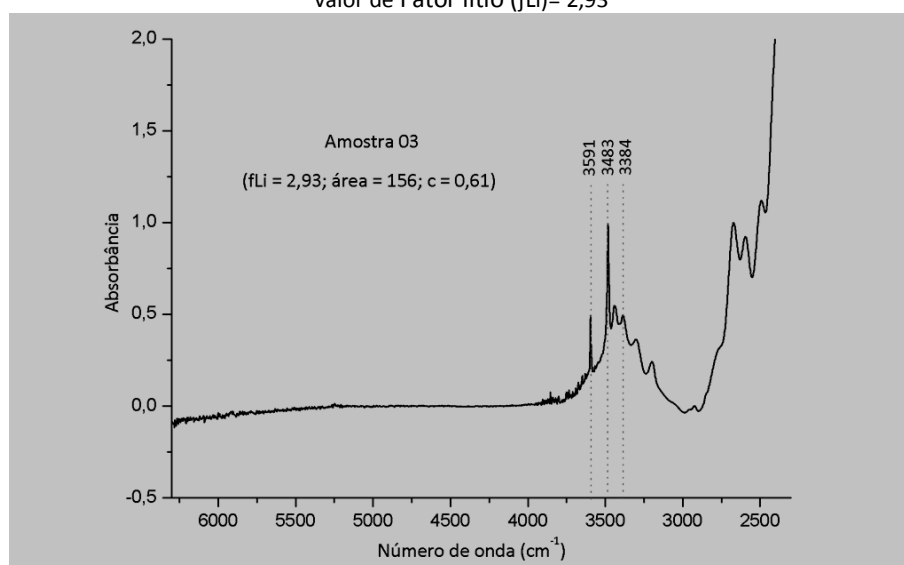
Figura 40: Amostra de quartzo incolor do estado do Espírito Santo, peso 94 gramas



Fonte: da autora, 2016

Os ensaios de *FTIR* ilustrados em gráfico na Figura 41 mostram o fator lítio (fLi), um indicador do potencial de geração de cor no quartzo hialino.

Figura 41: Espectro FTIR de quartzo incolor do estado do Espírito Santo, com bandas intensa em  $3483\text{ cm}^{-1}$  com valor de Fator lítio (fLi)= 2,93



Fonte: da autora, 2016

De acordo com Drummond (2010), um  $fLi \geq 2,0$  apresenta um potencial para desenvolver a cor moriom (variedade de cor castanho escuro a negro e opaco), *green gold* ou conhaque.

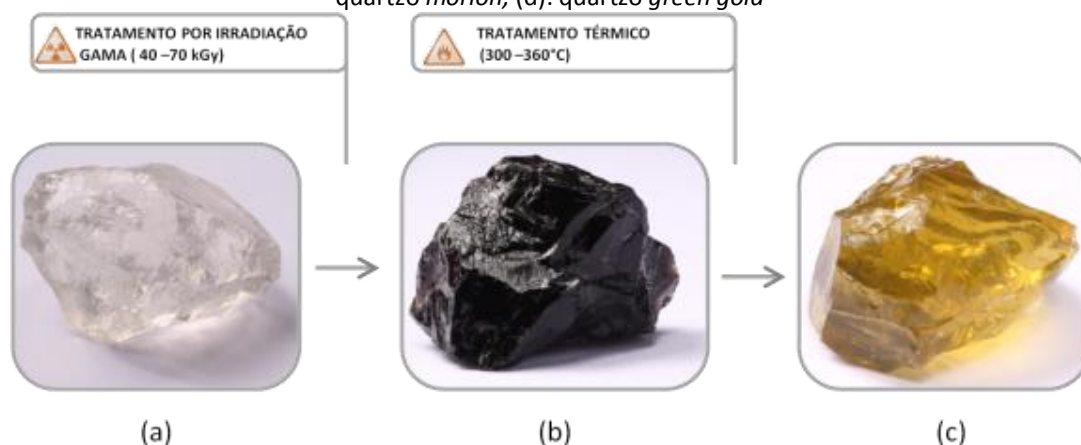
A banda intensa em  $3483\text{ cm}^{-1}$  vai de encontro ao que Lameiras (2007) observa quanto ao potencial para cores amarelo- esverdeadas. Segundo o autor, as bandas de  $3.380\text{ cm}^{-1}$  podem aparecer em qualquer quartzo, não sendo considerada como um potencial de



desenvolvimento de cor, contrárias àsquelas de  $3.483 \text{ cm}^{-1}$  que fornecem indício de Al compensado pelo Li, o que pode gerar um matiz amarelo-esverdeado. O núcleo quartzoso de pegmatito ígneo contém elementos responsáveis pela obtenção das cores *green gold*, *beer*, *cognac*, *whisky* e *champagne*. Neste caso o Li desempenha um papel fundamental na mudança de cor, e apenas naqueles pegmatitos com presença de lítio o quartzo tem potencial para desenvolver novas cores.

A sequência de beneficiamento da amostra analisada vista na Figura 42 (a) comprova o potencial da mesma para geração da cor *green gold*. O tratamento de irradiação aplicando uma dose de 40–70 kGy levou ao escurecimento da pedra denominado de quartzo morion que pode ser visto em (b). Um subsequente aquecimento a uma temperatura variando de 300–360°C origina a cor verde-limão característica do quartzo *Green gold*.

Figura 42: etapas de beneficiamento de quartzo incolor do estado do Espírito Santo, (a): quartzo incolor, (b): quartzo *morion*, (d): quartzo *green gold*



Fonte: da autora, 2016

A cor resultante vai ao encontro das considerações de Drummond (2010) quanto ao fator lítio e sua relação com a cor em questão. De acordo com o autor, um valor de  $f_{Li} \geq 2,0$  em um quartzo irradiado a 150 kGy e posteriormente aquecido gera a cor verde-limão do *Green gold*.

#### 4.2.1.3 Quartzo incolor de Coronel Murta (MG)

De acordo com Cornejo e Bartoreli (2009), o subdistrito de Coronel Murta é o mais importante dentre os distritos turmalinífero que engloba também: os municípios de Rubelita, Salinas, Virgem da Lapa, Araçuaí e Itinga. A Figura 43 mostra um quartzo incolor pesando 176,0 gramas de aspecto leitoso oriundo da região de Coronel Murta.

Figura 43: Amostra de quartzo incolor de Coronel Murta (MG), peso 176,0 gramas

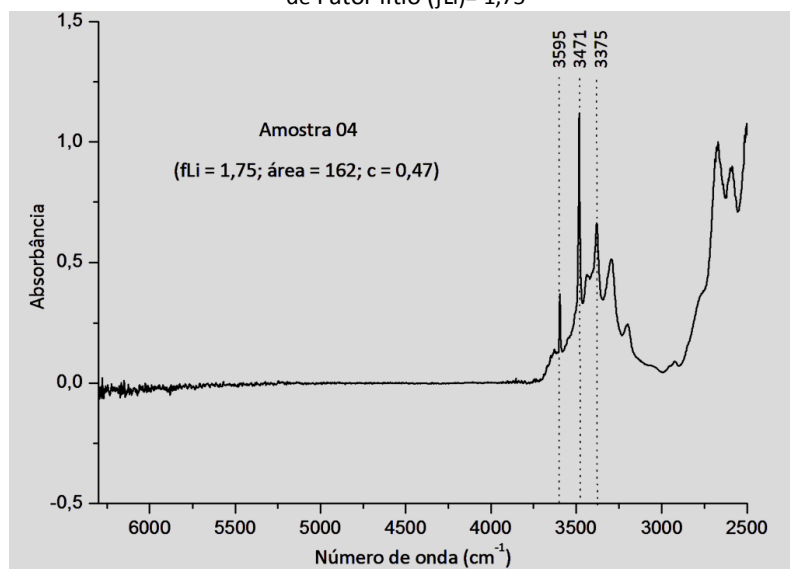


Fonte: da autora, 2016

No subdistrito de Coronel Murta se localiza a Lavra do Morro Redondo, um pegmatito de quatrocentos metros de comprimento por até trinta metros de espessura que teve sua redondeza explorada no início dos anos 1990 por garimpeiros. O aspecto leitoso desta amostra corrobora com a caracterização de Cornejo e Bartoreli (2009) de que alguns quartzos oriundos da região apresentam uma parte superior hialina e uma inferior leitosa. Quartzos da região de Corinto e Curvelo são hialinos constituídos por cristais soltos ou por grupos divergentes. No município de Tomáz Gonzaga (MG) ocorrem drusas<sup>3</sup> atapetadas de quartzo hialino de tamanhos variáveis chegando a atingir até três metros.

Foram realizados ensaios *FTIR* para obtenção de informações sobre a possibilidade de geração de cor. Os resultados podem ser vistos na Figura 44 que mostra um potencial para gerar cor moriom, *green gold* ou conhaque.

Figura 44: Espectro FTIR de quartzo incolor de Coronel Murta (MG), banda entre 3.600 e 3.380  $\text{cm}^{-1}$  com valor de Fator lítio (fLi)= 1,75



Fonte: da autora, 2016

<sup>3</sup> Formação de vários cristais que compartilham a mesma base

A faixa de bandas entre 3.600 e 3.380  $\text{cm}^{-1}$  mostra um potencial para coloração, baseado nas constatações de Lameiras (2007), cujas bandas entre 3.380, 3.404, 3.434, 3.485 e 3.510  $\text{cm}^{-1}$  indicam um potencial para gerar um matiz acastanhado ao ser irradiado a 300 kGy.

#### **4.3 INFLUÊNCIAS DA ORIGEM DAS GEMAS NA GERAÇÃO DA COR**

A ocorrência das gemas possui papel determinante no potencial que a mesma apresenta para gerar cor por meio de irradiação e tratamento térmico. Para este experimento foram escolhidas amostras de ametistas do distrito de Brejinho das Ametistas, situado no município de Caetité (BA). O distrito é um importante produtor no cenário estadual, representando uma produção correspondente a aproximadamente metade das gemas produzidas na região, de acordo com Misi e Silva, (1996). Os depósitos estão hospedados no Supergrupo Espinhaço e apresentam ametistas de cor violeta intenso (CORREA, 2010). Para este teste foi utilizada uma amostra originária que foi segmentada em partes que por sua vez geraram duas categorias de amostras, as quais foram utilizadas para três testes sequenciais: um primeiro grupo que buscou gerar ametista com aspecto leitoso; um segundo grupo que buscou gerar ametistas de cor acinzentada; e um terceiro que buscou gerar citrino.

A amostra inicial, pesando 325 gramas, pode ser vista na Figura 45 (a) e o zoneamento de cor em detalhe ampliado em (b). De acordo com Correa (2010), no interior de alguns cristais extraídos desta ocorrência, observou-se um zoneamento de cor, sendo que na borda os cristais são de quartzo hialino e no centro de ametista, o que sugere uma variação na composição do fluido. Segundo Drummond (2009), a cor na ametista raramente é distribuída de forma uniforme, se concentrando na face romboédrica principal do cristal.

Figura 45: Amostra de ametista de Brejinho das ametistas (BA) em (a), detalhe ampliado da amostra em (b)

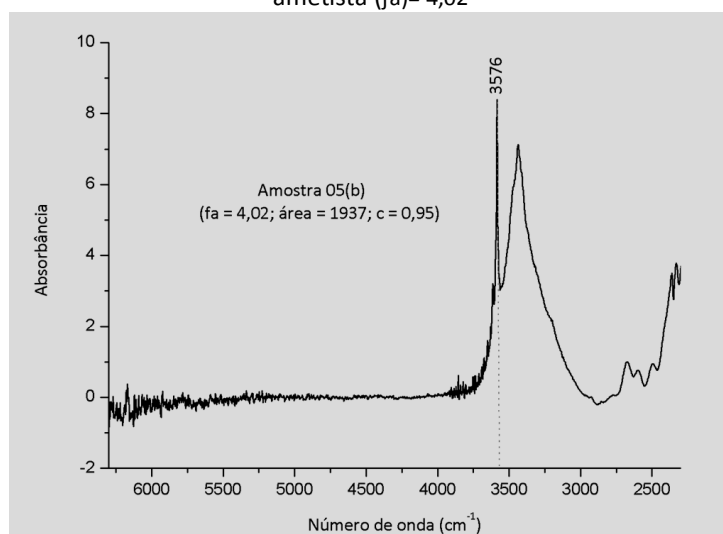


Fonte: da autora, 2016

A coloração violeta é originária das bandas de absorção na região visível do espectro eletromagnético quando induzida pela radiação ionizante. Tal fenômeno se desenvolve apenas em cristais com teor considerável de ferro na sua composição. A intensidade da cor é maior nas amostras com alto teor de ferro. Para Drummond (2010), nas ametistas de origem hidrotermal o ferro é considerado responsável pela coloração violeta, porém estudos feitos em amostras com anomalia desse elemento geraram cores não comerciais após irradiação.

Os ensaios de *FTIR* foram realizados com o objetivo de medir o fator ametista (*fa*), uma relação gráfica que se dá entre a altura da banda  $3.437^{-1}$  e  $3.585^{-1}$ , sendo esta última associada ao ferro (DRUMMOND, 2009). A Figura 46 mostra os espectros obtidos no *FTIR* cujo  $fa=4,02$  e banda intensa em  $3576\text{ cm}^{-1}$  apontam resultados para ametista.

Figura 46: FTIR de ametista de Brejinho das ametistas (BA), banda intensa em  $3576\text{ cm}^{-1}$  com valor de Fator ametista ( $fa$ )= 4,02



Fonte: da autora, 2016

Os dados e resultados obtidos convergem para as observações de Drummond (2009) de que se um cristal de quartzo apresentar uma banda em  $3.585 \text{ cm}^{-1}$  será definido com potencial para mudar de cor para violeta caso o fator  $f_a$  seja  $\geq 3,3$  e a área seja de 400 a  $600 \text{ ua cm}^{-1}$  (unidades arbitrárias por  $\text{cm}^{-1}$ ). Neste caso a amostra será considerada uma ametista. Mas se  $f_a$  estiver entre 2,7 e 3,3 a irradiação não irá gerar uma cor comercial, mas sim uma cor fraca, o que torna positivo o resultado da amostra com  $f_a = 4,02$ .

As amostras foram submetidas aos testes de irradiação e tratamento térmico cujos resultados requerem uma interpretação baseada em um entendimento acerca do centro de cor na ametista. Requer uma consideração sobre a existência de quatro teorias físicas distintas, de acordo com Nassau (1978). Denominadas de formalismos, elas explicam os processos pelos quais os componentes intrínsecos, impurezas, defeitos, e estruturas específicas produzem os efeitos visuais que designamos como cor. São elas: teoria do campo cristalino, teoria das bandas, teoria dos orbitais moleculares e teoria dos efeitos ópticos. A teoria do campo cristalino se aplica às cores causadas por metais de transição, sejam eles elementos constituintes da composição ou impurezas, e àquelas produzidas pelo centro de cor. Nesta pesquisa o centro de cor será mais detalhado por estar, de acordo com Nassau (1978), associado à teoria do campo cristalino que explica a causa de cor nos quartzos em estudo.

Assim como outras variedades de quartzo com impurezas possuem o alumínio ou lítio associados ao centro de cor, o ferro está envolvido com o centro de cor da ametista. Hassan e Cohen (1974), após experimentos apontaram o  $\text{Fe}^{3+}$  intersticial como principal precursor de cor na ametista, mas observam que nem sempre ele está relacionado com a cor na ametista. De acordo com Lehmann e Moore (1966b), estudos de ressonância paramagnética eletrônica (EPR) têm revelado vários centros diferentes de  $\text{Fe}^{3+}$ , como: centro substitucional ( $S_1$ ) de carga-compensada por um íon alcali intersticial ( $I$ ); centro substitucional ( $S_2$ ) de carga-compensada por um próton; centro intersticial ( $I_1$ ). Destes centros, o  $S_1$  parece ser o precursor do atual centro de cor, que poderia se formar dele pela irradiação  $x$  e  $\gamma$ .

Com relação à possibilidade do envolvimento do  $\text{Al}^{3+}$  na produção da cor na ametista Hassan e Cohen (1974) perceberam que seriam necessários mais estudos a respeito, mas consideraram a ideia de que alguns dos íons de  $\text{Fe}^{3+}$  intersticial aprisionam elétrons fornecendo carga de compensação para o  $\text{Al}^{3+}$  substitucional. Após os íons de  $\text{Fe}^{3+}$

se difundirem, por aquecimento ou por eletrólise, a irradiação do  $\text{Al}^{3+}$  e do  $\text{Fe}^{3+}$ , ambos substitucionais faria “buracos” como armadilhas, mas os elétrons nesse caso seriam atraídos por um álcali mais próximo (ou um próton).

#### 4.3.1 Testes com ametistas de aspecto leitoso (Grupo I)

As amostras em estudo se originam do distrito de Brejinho das Ametistas (BA), situado no município de Caetité. A Figura 47 mostra uma sequência de beneficiamento de ametistas da região de Brejinho das Ametistas. As amostras iniciais pesando em média 20 a 25 gramas, de cor violeta pouco intensa possuem baixo valor comercial e podem adquirir valor agregado com o beneficiamento. A primeira etapa consiste no aquecimento a uma temperatura de 360–400°C que provoca a perda total da cor como pode ser visto em (b). De acordo com Rossman (1994), a cor violeta é eliminada quando a amostra é aquecida e retorna por irradiação ionizante caso a temperatura de aquecimento aplicada não tenha sido muito elevada. A etapa seguinte consiste na irradiação gama a 200 KGy gerando nas amostras uma coloração amarronzada em algumas partes e violeta claro em outras, vistas em (c).

Figura 47: Etapas iniciais de beneficiamento de ametistas de Brejinho das Ametistas (BA), (a): ametista naturais, (b) ametistas pós-tratamento térmico, (c): ametistas irradiadas



Fonte: da autora, 2016

A etapa subsequente dá continuidade na amostra obtida na Figura 48 (c), a qual passa por um segundo aquecimento a 650°C. Este processo pode gerar dois resultados, sendo em (d) o restabelecimento da cor violeta claro com aspecto leitoso, enquanto que em (e) uma nova cor violeta-acinzentada também de aspecto leitoso é obtida. As cores correspondentes obtidas podem ser melhor visualizadas nas amostras lapidada vistas em (f) e (g).

Figura 48: Etapas finais de beneficiamento de ametistas de Brejinho das Ametistas (BA), (d): ametistas leitosas, (e): ametistas acinzentadas pós-tratamento térmico



Fonte: da autora, 2016

O aquecimento foi encontrado para remover maioria das anomalias em ambos os quartzos fumê e ametistas estudadas, apontando para uma homogeneização do processo (NASSAU, PRESCOTT, 1977).

De acordo com Neumann e Schmetzer (1984), a cor na ametista é causada pelo centro de cor associado com uma quantidade de traços de Fe. O Fe ocorre em dois lugares na estrutura do cristal de quartzo, estando substituindo o átomo de Si ou localizado no espaço intersticial entre os átomos de silício e oxigênio. O tratamento térmico da ametista a converte em amarelo, amarelo-amarronzado, verde, ou até incolor.

O aspecto leitoso adquirido pela amostra após o aquecimento a 650°C ocorre pela mudança de fase do quartzo quando a temperatura ultrapassa a zona de estabilidade do  $\alpha$ -quartzo de 573°C na pressão atmosférica. De acordo com Hlavac (1983), o quartzo possui para cada forma cristalina duas fases de alta e baixa temperatura designadas como  $\alpha$  e  $\beta$ . O quartzo  $\alpha$  é estável a uma temperatura acima de 573°C na pressão atmosférica. Nesta temperatura ocorre transição de fase do quartzo- $\alpha$  em quartzo- $\beta$ , sendo a transformação conhecida como inversão. Estas modificações polimórficas da sílica e suas inversões mútuas envolvem mudança em volume. A rede cristalina assume uma configuração com aumento do volume específico o que leva a possíveis alterações em defeitos macroscópicos, como inclusões fluidas, por exemplo.

Uma segunda amostra da mesma região de Brejinho das Ametistas (BA) foi utilizada para este teste, fragmentada por equipamento de serra da marca Lapidart. A

amostra de 29,0 gramas, como pode ser vista na Figura 49 (a), possuía algumas inclusões e trincas que poderiam gerar problemas de fraturas durante o aquecimento, embora o próprio processo de martelamento tenha contribuído para eliminar as partes defeituosas.

Figura 49: Corte de ametista de Brejinho das Ametistas (BA)



Fonte: da autora, 2016

Este teste objetivou obter uma variação de ametistas que mantivessem a cor violeta, porém de aspecto leitoso. O processo ocorre, de acordo com Hlavac (1983), devido a uma transição de fase do quartzo- $\alpha$  em quartzo- $\beta$ , sendo a transformação conhecida como inversão. A Figura 50 mostra a sequência de etapas do tratamento por aquecimento a 500°C por 6 horas.

Figura 50: Sequência de etapas de aquecimento de ametistas de Brejinho das ametistas (BA), (a): ametista natural, (b): ametistas pós-tratamento térmico com resultado de amostra circulada, (d) amostra resultante



Fonte: da autora, 2016

Os resultados alcançados não foram os esperados, pois como pode ser visto na Figura 50 a amostra sofreu fratura em pequenos fragmentos, mesmo que a temperatura desejada tenha sido atingida de forma lenta e gradual. Foi feita uma calibragem a partir da temperatura de 100°C, sendo que a cada 50°C foram registradas as temperaturas reais resultantes no termômetro. Para que a amostra adquirisse o aspecto leitoso seria necessária



uma mudança de fase. De acordo com Hlavac (1983), o quartzo possui para cada forma cristalina duas variedades de temperatura designadas como  $\alpha$  aquelas de valor elevado e  $\beta$  aquelas de valor mais baixo. O que levaria ao aspecto leitoso seriam as inclusões que ao sofrerem modificações polimórficas da sílica e suas inversões mútuas resultariam em mudança de volume. O que se observou foram muitas trincas nos pequenos fragmentos gerados causadas pela expansão térmica diferenciada entre a matriz do quartzo e microinclusões, ou então pela propagação de trincas pré-existentes.

A amostra adquiriu uma coloração amarronzada que se apresentou mais forte em algumas partes, possivelmente nos locais onde inicialmente apresentava coloração violeta intenso. Segundo Cornejo e Bartoreli (2010), a ametista “queimada” é uma variedade comercial obtida por aquecimento à temperatura entre 450 e 750°C. Neumann e Schmetzer (1984) encontraram a seguinte sequência de cores: violeta; incolor; verde; amarelo; marrom. Entretanto, a temperatura necessária para o desenvolvimento de uma alteração significativa de cor foi diferente para cada amostra de várias intensidades de cor violeta inicial, mesmo sendo ametistas da mesma localidade.

O tempo de 6 horas utilizado no aquecimento não parece ser o fator principal ao se considerar os estudos de Neumann e Schmetzer (1984) com ametistas de várias origens sob aquecimento entre 300°C e 560°C por várias horas. Perceberam que aquecimento a altas temperaturas por curtos períodos resultam nas mesmas mudanças sob tratamento térmico a baixas temperaturas por longos períodos.

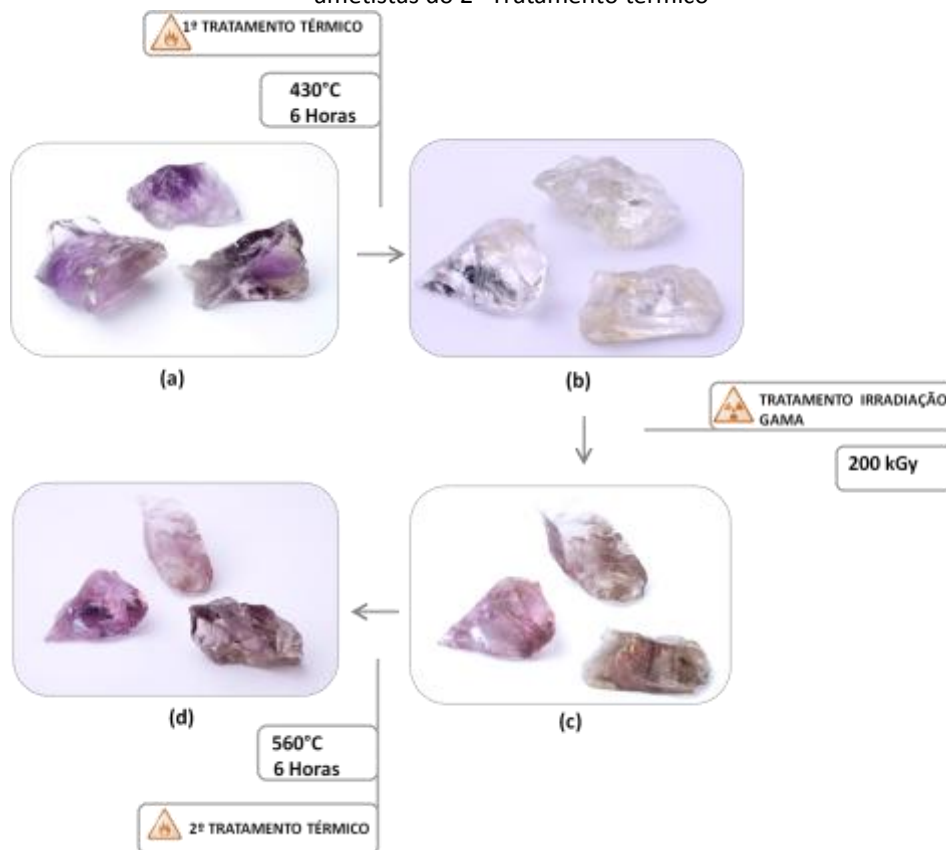
#### **4.3.2 Teste para gerar ametista acinzentada (Grupo II)**

O objetivo deste teste consiste em obter amostras de coloração acinzentadas. A geração e a perda da cor violeta nas ametistas estão diretamente relacionadas com os íons de  $\text{Fe}^{3+}$  presentes em sítios intersticiais, de acordo com Hassan e Cohen (1974). Estes sítios intersticiais se localizam em uma região que por sua vez cria um ambiente no qual a cor da ametista será produzida. Um tratamento térmico ou de eletrólise pode fazer com que o sítio intersticial seja forçado a se mover para fora dessa região, levando à destruição do ambiente e à perda permanente da cor. Caso tal processo tivesse acontecido neste teste não haveria uma recuperação da cor com a irradiação gama como pode ser visto na Figura 51 (c). A preservação desses íons de  $\text{Fe}^{3+}$  intersticial é importante para que se estabeleça a ligação entre o elétron preso a ele com o  $\text{Fe}^{3+}$  substitucional presente como impureza,

restabelecendo a cor.

A amostra de ametista da Figura 51 foi segmentada por meio de martelamento em fragmentos menores que podem ser vistas em (a). Após um tratamento térmico a 430°C por 6 horas a amostra perdeu totalmente a cor violeta passando a ficar incolor, o que converge para o que relatam Neumann e Schmetzer (1984) sobre a possibilidade de o tratamento térmico da ametista convertê-la em amarelo, amarelo-amarronzado, verde, ou até incolor. Um subsequente tratamento por irradiação gama com uma dose de 200 kGy devolve a cor à amostra, porém menos acentuada com novos tons marrons em algumas partes como pode ser visto em (c). Um subsequente tratamento térmico a 560°C por 6 horas devolve a cor violeta à amostra, porém com tons mais acinzentados em algumas partes como pode ser visto em (d).

Figura 51: etapas de beneficiamento de ametistas para obtenção de cor cinza-azulado, (a): ametistas naturais, (b) ametistas resultantes de 1º Tratamento térmico, (c): ametistas resultantes de irradiação gama, (d) ametistas do 2º Tratamento térmico



Fonte: da autora, 2016

Eixos cristalográficos distintos determinam o pleocroísmo caracterizado por um dicroísmo, que por que pode ser visto em microscópio de luz polarizada. Esta biaxialidade vista nas ametistas, de acordo com Hassan e Cohen (1974), é explicada pela existência de centros de cor fortemente anisotrópicos, relacionada com ferro. O fenômeno é uma propriedade do centro da cor em si e não a propriedade da estrutura de cristal de  $\alpha$ -

quartzo. Lehmann e Moore (1966) observaram alterações estruturais em amostras aquecidas à temperatura de 500°C por duas horas, as quais além de perderem a cor passaram a ter um eixo uniaxial. Barry e Moore (1964) encontraram uma destruição permanente do centro responsável pela biaxialidade e pleiocroísmo nas ametistas que passaram por tratamento térmico e irradiação com raios X. Atribuem isso a uma redistribuição uniforme do Fe<sup>3+</sup> uma vez aquecido de 600°C a 650°C.

### **4.3.3 Ametista resultando em citrino (Grupo III)**

O citrino é uma variedade amarelo alaranjado que pode ter tanto uma ocorrência natural, quanto pode ser obtido por tratamento térmico da ametista ou do quartzo fumê. Do ponto de vista estético relacionado à cor, o citrino natural, de ocorrência rara, se apresenta variando de cinza amarelado, cinza esverdeado a amarelo pálido amarronzado. O pleocroísmo, propriedade que se refere ao efeito de variação de cor e tonalidade das gemas quando observadas de outro ângulo pode se apresentar fraco no citrino natural e não se apresenta nos citrinos tratados termicamente. Mas estes se apresentam em cores que variam do amarelo claro a avermelhado, ou do amarelo-amarronzado a pardo-dourado (CORREA, 2010). Dotto e Isotani (1991) perceberam que as amostras oriundas do Rio Grande do Sul tornaram-se citrinas à temperatura de 400°C e 500°C. Atribuíram isso à formação de microcristais de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e a lacunas de oxigênio, estas presentes apenas nas amostras do Rio Grande do Sul mas podendo ser induzidas nas de Minas Gerais pelo aquecimento em atmosfera de baixa pressão de oxigênio.

De acordo com Lehmann e Moore (1966) a conversão de ametista em citrino tem sido alcançada com temperaturas de aquecimento de 500°C, maior do que a temperatura de 400°C utilizada no clareamento de ametistas. Para a realização deste teste uma segunda amostra de ametista da região de Brejinho das Ametistas (BA) pesando 68,0 gramas foi escolhida por apresentar zonas de cor violeta mais intenso do que visto nas amostras anteriores. A amostra com coloração mais intensa em algumas partes utilizada pode ser vista na Figura 52.

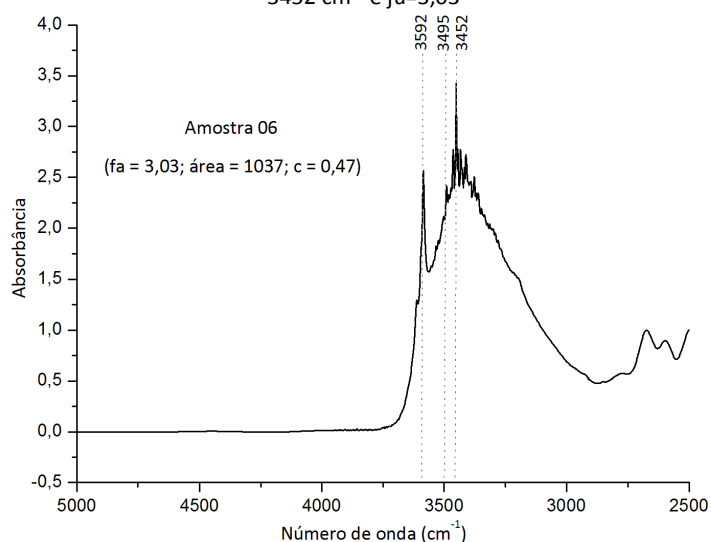
Figura 52: Ametista de cor violeta intensa de Brejinho das ametistas (BA), peso 68,0 gramas



Fonte: da autora, 2016

Foi realizado ensaio de *FTIR* que mostra na Figura 53 os espectros obtidos cujos  $fa=3,03$  e banda intensa em  $3452\text{ cm}^{-1}$  apontam resultados para ametista.

Figura 53: Espectro FTIR de ametista de cor violeta intensa de Brejinho das Ametistas (BA), banda intensa em  $3452\text{ cm}^{-1}$  e  $fa=3,03$



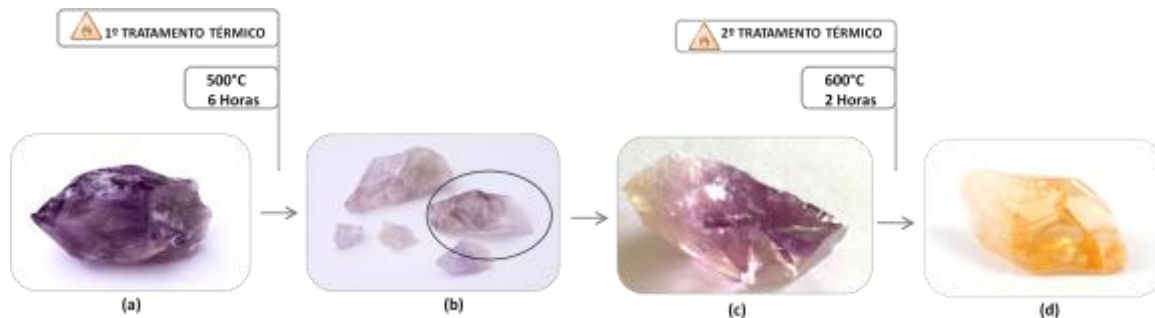
Fonte: da autora, 2016

Segundo Schmetzer (1989), assim como na ametista, a cor do citrino tratado termicamente está associada à impureza do ferro, mas no estado de oxidação  $\text{Fe}^{3+}$ , embora a causa da cor seja ainda polêmica por ser aceita a influência da irradiação e de outras causas desconhecidas. Para o citrino natural Barry e Moore (1964), também indicaram o íon  $\text{Fe}^{3+}$  substitucional como causa mais provável de cor.

A amostra foi submetida ao tratamento térmico com o objetivo de obter como resultado um aspecto leitoso, passando por uma sequência de etapas de aquecimento térmico a  $500^{\circ}\text{C}$  por 6 horas sendo observada em intervalos de tempo para averiguar a perda da cor e a obtenção do resultado esperado. Como pode ser visto na Figura 54 (b) a

amostra fraturou gerando pequenos pedaços nos quais a cor violeta fraca era prevalente. Uma das partes foi selecionada para novo aquecimento como pode ser visto em (c). Ao ser submetida à temperatura de 600°C por 2 horas esta amostra mudou sua cor para alaranjado característica de citrino.

Figura 54: etapas de Tratamento térmico em ametistas para obtenção de citrino, (a): ametista natural, (b): ametista após 1º Tratamento térmico com destaque para amostra, (c) amostra eleita para aquecimento, (d) citrino resultante de 2º Tratamento térmico



Fonte: da autora, 2016

Os resultados convergem para o argumento de Trindade e Escalvi (2006) de que algumas variedades de ametistas quando aquecidas a 500°C adquirem tonalidades de cor que varia do amarelo-claro ao amarelo-alaranjado. Dependendo da localização e ambiente de origem da ametista a cor após o aquecimento pode ser amarelo no caso do citrino. Para Nassau (1978), mesmo que a cor amarela após o aquecimento seja uma transição em metal cor de impureza, a própria cor da ametista deriva de um centro de cor. O tratamento por irradiação em uma ametista que tenha sido anteriormente aquecida pode recriar o centro da cor e retomar a sua cor inicial. Lehmann e Moore (1966a) detalham que a ametista natural e o citrino contêm centros que parecem consistir de  $Fe^{3+}$  substituído no lugar do  $Si^{4+}$  com um íon álcali-metálico de carga neutralizante na área intersticial adjacente situada no eixo duplo do tetraedro de oxigênio. Estes centros são denominados de  $S_1$ . Um segundo centro anteriormente atribuído ao  $Fe^{3+}$  veio a ser atribuído mais tarde ao  $Fe^{3+}$  no sitio intersticial, o qual foi denominado de centro I.

## **4.4 ESTUDO EXPERIMENTAL 2**

Para este estudo experimental foram realizados testes de percepção com designers de joias acerca da percepção de coloração em amostras de quartzos obtidas no experimento 1. As amostras de quartzo foram padronizadas em uma lapidação redonda facetada pelo fato de ser esta uma forma muito aplicada nas joias. De acordo com Dias (2009) a forma dos materiais refere-se ao esquema ou aparência externa de algo bidimensional. Determina o limite de um objeto abstraído de outros aspectos como cor e material e independe do tamanho do objeto. Em seus estudos a autora observou que diferentes combinações de formas e materiais podem ter efeitos diferentes sobre os significados atribuídos.

Para uma análise da percepção do usuário, as propriedades sensoriais dos materiais são importantes e podem ser agrupadas de acordo com as modalidades sensoriais, as quais se dividem em: tátil, visual e olfatória. Neste estudo a modalidade visual teve maior enfoque por ser utilizada como forma de obtenção de resultados com usuários. As propriedades relacionadas à luz e visão, de acordo com Karana (2009), estão reunidas sob a modalidade visual. Tanto o brilho, quanto a reflexão e a transparência são três propriedades visuais eficazes que estão ligadas ao coeficiente de reflexão, índice de refração e rugosidade. Em outras palavras, estas três propriedades são ligadas umas às outras e por sua vez agrupadas sob o parâmetro da reflexão da luz na figura ou material.

### **4.4.1 Etapas de avaliação da percepção**

A avaliação da percepção com usuários consistiu na quarta etapa desta pesquisa, constituindo-se em um estudo que avalia a percepção de uma amostragem de 15 designers e profissionais do setor de joias quanto às variáveis de cores no quartzo em amostras obtidas nos estudos experimentais em laboratório. Este estudo de percepção foi feito por meio do uso de métodos de percepção aplicados ao design. Com base nos referenciais teóricos sobre as técnicas e ferramentas utilizadas para esta análise de percepção identificou-se aquelas que mais se adequam às necessidades da pesquisa.

O planejamento dos estudos experimentais para esta pesquisa atentou para o tempo de disponibilidade das pessoas voluntárias. Os experimentos consistem em testes, os quais são apresentados de forma conjunta e de fácil preenchimento das respostas. Foram

realizados três grupos de testes:

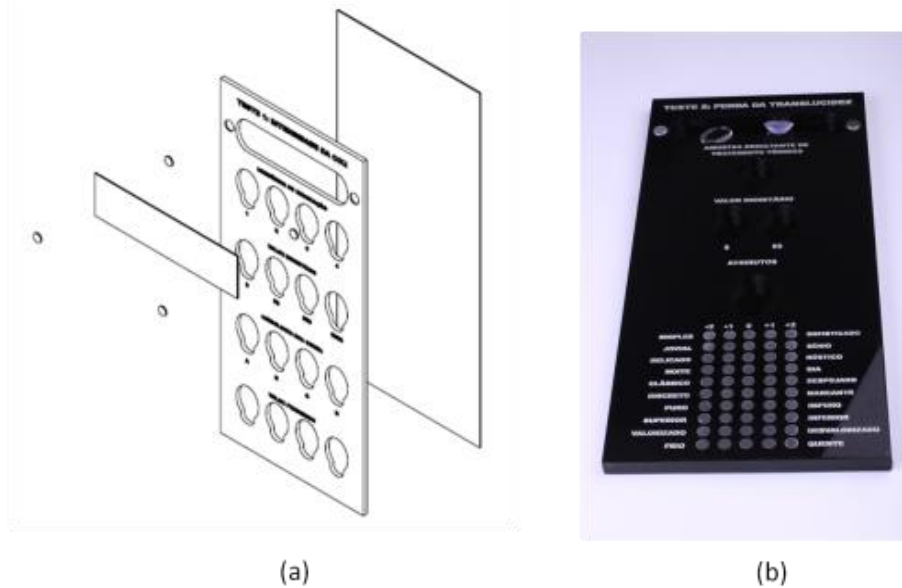
- **Teste 1** para avaliação da percepção da mudança da intensidade da cor: nesta etapa será avaliada a percepção dos designers quanto à mudança de intensidade da cor do quartzo ao ser irradiado e aquecido. Foram utilizadas quatro amostras sendo a primeira de um quartzo incolor no seu estado natural; a segunda amostra de um quartzo fumê resultante de irradiação gama; a terceira amostra de uma quartzo de coloração verde-claro resultante de uma amostra com fraco potencial para gerar a cor *green gold* tendo sido detectado por meio de estudos de *FTIR*; e uma quarta amostra de um quartzo de coloração verde-limão característico do *green gold* obtido por irradiação gama de 70 kGy e um subsequente aquecimento à 360°C.
- **Teste 2** para avaliação da percepção da perda da translucidez nas ametistas. Neste teste foi avaliada a percepção dos usuários quanto à perda da translucidez das amostras de ametistas. Uma primeira amostra cedida de ametista natural na cor violeta de aspecto translúcida foi comparada a uma segunda amostra obtida por tratamento térmico adquirindo aspecto leitoso e opalado de cor violeta mais fraco.
- **Teste 3** para avaliação da percepção sobre a mudança de coloração nas gemas. Nesta etapa foram utilizadas cinco amostras de ametistas sendo a primeira delas em seu estado natural na cor violeta e as demais com variações de tons esverdeados e acinzentados. São amostras cedidas obtidas por meio de tratamento térmico em forno. O objetivo do estudo é mensurar a percepção dos designers quanto à alteração da cor inicial por meio da técnica de beneficiamento.

Previamente ao início dos estudos experimentais, os participantes foram informados sobre o objetivo do estudo, sobre a sequência dos mesmos e sobre o tempo necessário para que fosse executado. Estando de acordo, o participante assinou o “Termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE)”, que consiste na concordância de que os dados obtidos serão confidenciais e de responsabilidade dos profissionais que trabalharão na pesquisa e serão utilizados apenas para esse fim. Este termo se encontra disponível no APÊNDICE 1. A etapa seguinte consiste no preenchimento dos dados referentes ao “Perfil do participante”, disponível no APÊNDICE 2. Compõe-se de questões como: nome do participante, sexo (gênero), idade, estado civil, grau de instrução e profissão.

#### 4.4.1.1 Materiais e métodos utilizados

Para a realização dos testes foram desenvolvidas três placas de acrílico cortadas a laser e gravadas de acordo com as tarefas de cada teste. A Figura 55 mostra em (a) um render esquemático do modelo proposto para confecção em acrílico, representando uma placa de 8,0 mm de espessura que passou pelo corte a laser e gravação e foi posteriormente colada sobre uma segunda placa cortada nas mesmas dimensões, porém sem partes vazadas, servindo de base.

Figura 55: Desenho esquemático de projeto da placa de acrílico (a) e peça final (b)



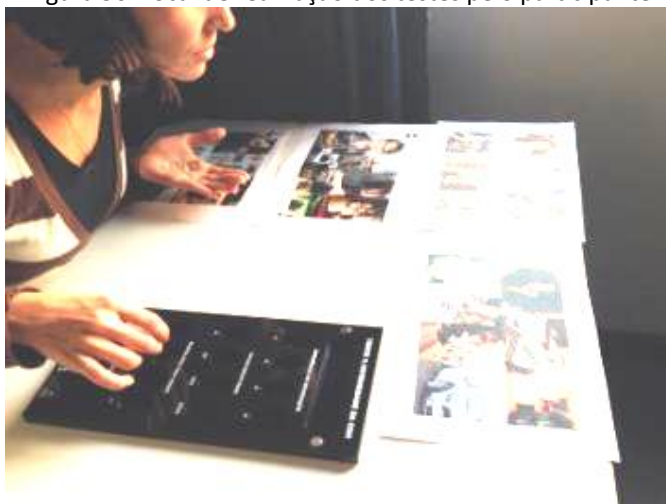
Fonte: da autora, 2016

A cor preta do acrílico foi escolhida para não exercer nenhuma interferência nas cores das gemas. Foram utilizadas nove amostras de gemas, sendo quatro delas de quartzo e cinco de ametistas, beneficiados por irradiação e por tratamento térmico. Algumas das amostras foram cedidas por colaboradores e outras obtidas nos experimentos laboratoriais desta pesquisa.

As placas de acrílico serviram como um expositor e local de execução de tarefas, permitindo o deslocamento até os participantes. Os testes foram realizados sobre uma mesa em local com janela e iluminação natural. A Figura 56 mostra um dos participantes durante a execução dos testes.



Figura 56: Local de realização dos testes pelo participante



Fonte: da autora, 2016

De acordo com Schumann (2006), a luz artificial exerce uma influencia sobre a cor de uma gema, uma vez que a mesma possui uma composição que difere da luz do dia.

#### **4.4.1.2 Perfil desejável dos participantes**

Para que as informações obtidas sejam coerentes com os objetivos esperados o perfil dos participantes se limitou à profissão de designer de joias por requerer conhecimentos quanto à aplicação das gemas como matéria-prima nas joias e suas colorações características. Em seus estudos com designers, Karana (2009) procura estimular os mesmos a encontrarem as relações (ou padrões) entre os aspectos dos materiais e seus significados, buscando não lhes oferecer regras, mas sim incentivá-los a fazer as suas próprias interpretações.

#### **4.4.1.3 Análise dos dados**

Os dados gerados na pesquisa com designers de joias passaram por uma compilação e análise estatística. Os resultados serviram de base para gerar gráficos importantes para a mensuração e avaliação do conhecimento sobre os processos de beneficiamentos e da percepção dos participantes à respeito da coloração das gemas.

## 4.5 TESTE 1: AVALIAÇÃO DA MUDANÇA DE INTENSIDADE DA COR

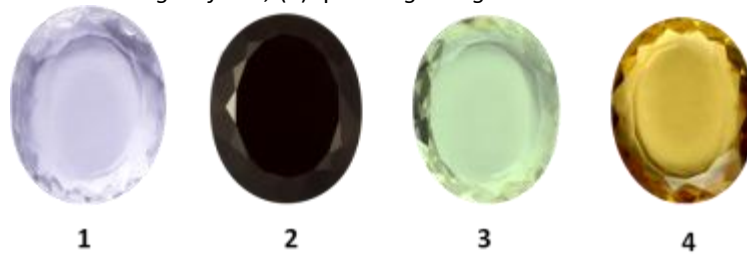
### 4.5.1 Objetivos e resultados esperados

Os objetivos deste teste são: (I) mensurar o grau de conhecimento dos designers quanto à técnica de beneficiamento por irradiação gama; (II) Mensurar o grau de conhecimento quanto ao valor monetário das gemas beneficiadas em relação às incolores ou de coloração menos intensa; (III) Avaliar a percepção dos designers quanto à simbologia das gemas; (IV) Avaliar a percepção de valor dos designers quanto às gemas relacionando as amostras com público usuário de joias.

### 4.5.2 Seleção de amostras para o teste

Foram utilizadas quatro amostras resultantes dos testes realizados nesta pesquisa com quartzo incolor gerando coloração verde característica do *green gold*, as quais podem ser vistas no Capítulo 4. As amostras utilizadas nos testes na sua forma bruta foram lapidadas para melhor visualização da cor. A forma oval com facetamento foi eleita por ser a mais utilizada nas joias. A primeira amostra de forma oval e medindo 20,0 X 25,0 mm consiste em um quartzo incolor no seu estado natural, enquanto a segunda amostra se trata de um quartzo anteriormente incolor, de mesma forma e medida que a anterior, que ao ser irradiado gerou a cor preta sendo denominado *morion*. A terceira amostra, também medindo 20,0 X 25,0 mm e de forma oval, é de um quartzo resultante de um subsequente aquecimento que gerou uma coloração verde-claro. Parte da amostra incolor ao ser submetida aos estudos de *FTIR* apresentou fraco potencial para gerar a cor *green gold*, por isso a coloração mais fraca. Uma quarta amostra de forma oval, na mesma forma e medida que as anteriores, é de um quartzo de coloração verde-limão característico do *green gold* que foi utilizada neste experimento, resultante de um tratamento por irradiação gama de 70 kGy e um subsequente aquecimento à 360°C. A Figura 57 mostra as gemas selecionadas para o teste.

Figura 57: Amostras de quartzo utilizadas no teste 1, (a) quartzo incolor, (b) quartzo preto, (c) quartzo *green gold fraco*, (d) quartzo *green gold intenso*



Fonte: da autora, 2016

### 4.5.3 Síntese do teste 1

O teste 1 avalia a mudança da intensidade da cor comparando uma amostra de quartzo incolor com outras três amostras de quartzo de diferentes colorações. Compõe-se de quatro perguntas com atividades nas quais o participante expressa a sua percepção em relação à coloração das amostras. A atividade se divide em quatro etapas caracterizadas por tarefas guiadas pelo pesquisador, as quais constam no APÊNDICE 3.

Figura 58: Resumo de tarefas realizadas pelos participantes no teste 1, etapas 1 e 2

Teste 1: Etapas 1 e 2	
<p><b>Etapa 1: Objetivos:</b> mensurar o grau de conhecimento dos designers quanto à técnica de beneficiamento por irradiação gama.</p> <p><b>4 amostra de quartzos:</b> incolor, negro, <i>green gold</i> (verde-claro), <i>green gold</i> (verde-escuro)</p> <p><b>16 pesquisados</b> (designer de joias e profissionais do setor de joias)</p>	<p><b>Teste1- Etapa 1</b></p>
<p><b>Etapa 2: Objetivos:</b> mensurar o grau de conhecimento quanto ao valor monetário das gemas beneficiadas em relação às incolores ou de coloração menos intensa</p> <p><b>4 amostra de quartzos:</b> incolor, negro, <i>green gold</i> (verde-claro), <i>green gold</i> (verde-escuro)</p> <p><b>16 pesquisados</b> (designer de joias e profissionais do setor de joias)</p>	<p><b>Teste 1- Etapa 2</b></p>

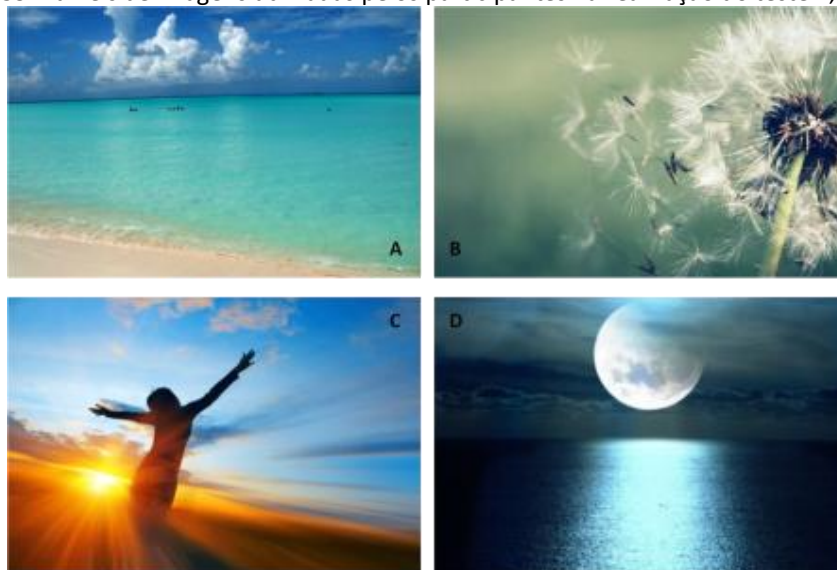
Fonte: Elaborado pela autora, 2016

As etapas 1 e 2 foram resumidas na Figura 58 que mostra a tarefa sendo executada pelos designers durante a pesquisa. Na etapa 1, ao solicitar que o participante coloque as gemas na ordem de resultados de beneficiamento está sendo avaliado o grau de conhecimento do mesmo a respeito da técnica de tratamento por irradiação e tratamento térmico.

O conhecimento dos participantes sobre o valor monetário das gemas é avaliado na segunda etapa ao ser solicitado que coloquem as gemas em ordem de menor para o maior valor atribuído dentre as quatro amostras. Como pode ser visto na Figura 58 as amostras são acomodadas nas cavidades criadas na superfície da placa de acrílico pelo corte a laser. Os designers, como aplicadores da matéria-prima nos projetos de joias, são atores na construção de valor das mesmas. De acordo com Krucken (2009), o valor de uma oferta, seja ela na forma de produtos, serviços ou informações, é construído conjuntamente por indivíduos e empresas que integram seus conhecimentos e competências. Sendo assim, o consumidor se apresenta como parte ativa e fundamental na construção de valor.

A etapa 3 consiste na associação das gemas às suas simbologias, com a finalidade de perceber quais os valores que os participantes atribuem à coloração adquirida pelas gemas após o beneficiamento. Os designers receberam um painel impresso em folha de papel formato A4 contendo quatro imagens divididas pelas letras A,B,C e D, conforme mostra a Figura 59.

Figura 59: Painéis de imagens utilizadas pelos participantes na realização do teste 1, etapa 3



Fonte: Elaborado pela autora, 2016

Foi solicitado que os participantes associassem cada uma das quatro amostras a

uma das imagens de acordo com o que a cor verde-claro, verde-escuro, preto ou incolor representa para eles.

A etapa 4 consiste na avaliação da percepção de valor das amostras, tanto incolor quanto coloridas por beneficiamento, relacionando-as com o público usuário de joias. Para a simulação de público usuário foi utilizada a técnica de construção de Persona, que de acordo com Cooper (1999), consiste no uso de figura representativa ou arquétipo de forma a comunicar uma gama ampla de valores e informações representativos de usuários de um determinado produto. A criação de um personagem, persona ou um conjunto delas serve de estímulo discriminativo para visualizar para qual usuário o designer está projetando. As vantagens dessa técnica consistem em: engajar e conscientizar a equipe de projeto ou designer; chega-se a um consenso dos interesses do usuário; mantém o foco o tempo todo no usuário; agiliza a tomada de decisão porque não é necessário consultar usuários reais a cada etapa do projeto.

Figura 60: Painéis de público usuário de joias utilizado pelos participantes no teste 1, etapa 4



Fonte: Elaborado pela autora, 2016

A construção das quatro personas para este estudo se baseou nas instruções de Cooper (1999) que determina que: (I) devem ser utilizados modelos ou personagens com aspectos significativos identificados em usuários alvo; (II) identificar as variáveis comportamentais (atividades, atitudes, gostos, práticas); (III) mapear entrevistados com as variáveis comportamentais citadas no item II. Foi solicitado aos designers primeiramente que analisassem quatro painéis impressos em papel formato A4 contendo em cada um deles

imagens de uma persona como pode ser visto na Figura 60. Para cada persona foi criado um ícone vetorizado que aparece gravado na placa em acrílico como forma de facilitar a execução da tarefa.

As imagens utilizadas em cada painel além de refletirem os gostos, comportamento de consumo, faixa etária, gênero, também apresentam dados subjetivos que ficam a critério da interpretação do participante. A ausência de palavras que descrevam as personas deixa livre esta interpretação. As etapas 3 e 4 podem ser vistas na Figura 61 que mostra um resumo das atividades realizadas durante o teste.

Figura 61: Resumo de tarefas realizadas pelos participantes no teste 1, etapas 3 e 4

Teste 1: Etapas 3 e 4	
<p><b>Etapa 3: Objetivos:</b> Avaliar a percepção dos designers quanto à simbologia das gemas.</p> <p><b>4 amostra de quartzos:</b> incolor, negro, <i>green gold</i> (verde-claro), <i>green gold</i> (verde-escuro)</p> <p><b>16 pesquisados</b> (designer de joias e profissionais do setor de joias)</p> 	<p><b>Teste 1- Etapa 3</b></p> 
<p><b>Etapa 4: Objetivos:</b> avaliar a percepção de valor dos designers quanto às gemas relacionando com público usuário de joias com aplicações das gemas.</p> <p><b>4 amostra de quartzos:</b> incolor, negro, <i>green gold</i> (verde-claro), <i>green gold</i> (verde-escuro)</p> <p><b>16 pesquisados</b> (designer de joias e profissionais do setor de joias)</p> 	<p><b>Teste 1- Etapa 4</b></p> 

Fonte: Elaborado pela autora, 2016

#### 4.5.4 Análise dos resultados

O teste 1 se baseou na avaliação da percepção dos participantes quanto à intensidade da cor obtida pelas técnicas de beneficiamento utilizadas neste estudo. Os resultados desta pesquisa mostraram dados qualitativos baseados nas respostas tanto por áudio como escritas. A etapa 1 mostrou como resultados que dentre os pesquisados existe uma maioria com conhecimento intermediário sobre o processo de irradiação e tratamento

térmico realizado nas gemas, os quais mostraram uma sequência parcialmente correta das etapas de beneficiamento. Uma parcela pequena de participantes apresentou um conhecimento profundo a respeito do processo, apresentando a ordem correta das etapas. Estes participantes foram pessoas ligadas ao design de joias de forma acadêmica, possuindo por sua vez maior conhecimento técnico. Uma minoria desconhece totalmente os processos de tratamentos e na sua maioria associaram a sequência de etapas com a intensidade da coloração entendendo que a pedra de cor preta seria a mais irradiada e não uma etapa intermediária. Os resultados levam à conclusão de que os participantes entendem o processo de irradiação e o tratamento térmico como um efeito acumulativo que acaba por absorver todas as cores e não como um processo que ativa o centro de cor das gemas.



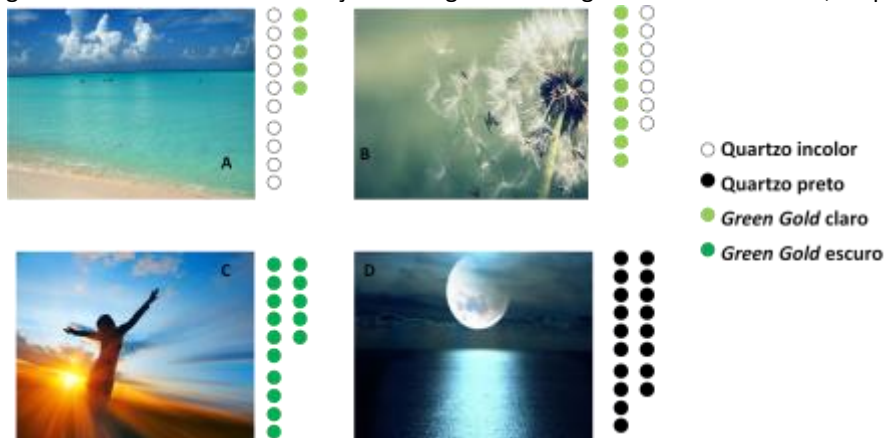
Fonte: Elaborado pela autora, 2016

A etapa 2 buscou uma mensuração da percepção do valor monetário das gemas por parte dos participantes. Aos participantes foi solicitado que colocassem na ordem de menor para o maior valor agregado. Os resultados mostraram que a maioria dos participantes conhece o valor monetário associado ao beneficiamento das gemas e entende que o processo agrega valor ao quartzo inicialmente incolor. A Figura 62 mostra uma sequência correta como gabarito e as sequências sugeridas pelos participantes.

A etapa 3 analisou a simbologia das cores percebida pelos participantes solicitando aos mesmos uma associação com imagens oferecidas pelo pesquisador. A Figura 63 mostra um esquema com as imagens dos painéis apresentados aos participantes e as respectivas associações feitas por cada participante. A forma circular ao lado de cada uma das imagens representa o número de participantes que fizeram a associação e suas

respectivas cores das amostras do teste, conforme legenda.

Figura 63: Resultados da associação entre gemas e imagens durante o teste 1, etapa 3



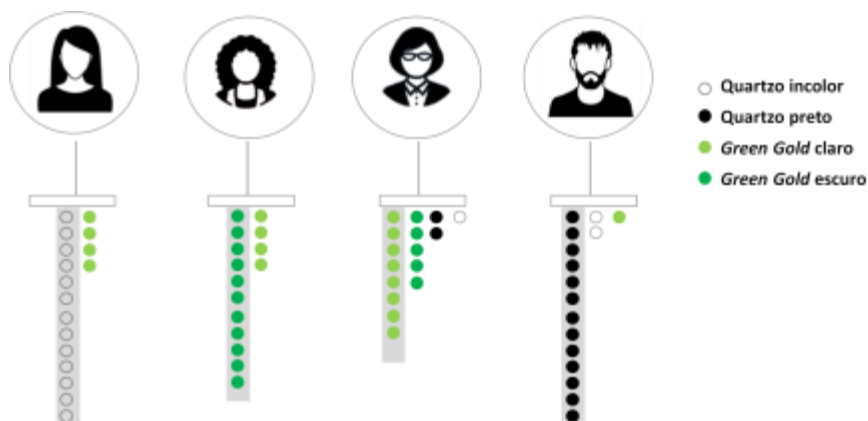
Fonte: Elaborado pela autora, 2016

Foi possível observar que o quartzo incolor e *green gold* claro foram associados com a imagem de fundo claro que representam a água e o ar, as quais podem ser vistas na Figura 63 marcadas pelas letras A e B nos painéis oferecidos aos participantes. O quartzo *green gold* escuro de cor verde-limão vibrante foi mais associado à imagem do painel C que mostra imagens de irradiação do sol representando energia. A cor preta foi associada à imagem do painel D que representa a noite, mesmo tendo a presença da água, porém sem muita claridade e aspecto transparente. Neste teste foi tomado o cuidado de não fazer associação com a simbologia mística das gemas e sim com o seu significado por meio de associação com imagens. Os participantes fizeram uma associação não apenas com a cor, mas também com a mensagem que a imagem passou a eles.

A etapa 4 deste teste avaliou a aplicação das gemas aos públicos determinados por painéis de personas entregues pelo pesquisador aos participantes. Um ícone para cada persona foi criado para tornar mais fácil a associação como pode ser visto na Figura 64. Para cada ícone podem ser vistas repetidas formas circulares referentes ao número de participantes que lhes atribuíram uma cor de gema. As cores das gemas se encontram na legenda presente na própria figura.



Figura 64: Resultados da aplicação das gemas de acordo com o público usuário



Fonte: Elaborado pela autora, 2016

Os resultados mostraram que o valor percebido nas gemas pelos participantes esteve atrelado à cor e na sua aplicação ao público. O quartzo incolor foi associado pela maioria dos participantes à persona jovem de perfil delicado, enquanto à segunda persona, cujos elementos no painel mostravam ser uma mulher independente, foi associado o *green gold* de cor verde-limão. A cor nesse caso possui um atributo subjetivo de vibração, o qual já havia sido constatado na etapa 3 quando os participantes associaram esta mesma gema com a imagem de sol radiante. Da mesma forma, a associação do *green gold* fraco ou claro com a terceira persona está associada à idade da mesma, embora esta apresente gosto por viagens, arte e cultura. O quartzo preto foi associado ao público masculino talvez pela simbologia do preto que apresenta uma neutralidade. As conclusões podem ser pautadas no quanto o quartzo inicialmente incolor pode ter uma ampliação de valor de mercado ao ser beneficiado. Esse valor percebido foi mensurado desde a etapa 1 que avalia o conhecimento do processo de coloração até a etapa 4, na aplicação das gemas à determinados públicos.

## 4.6 TESTE 2: PERCEPÇÃO DA PERDA DA TRANSLUCIDEZ NAS AMETISTAS

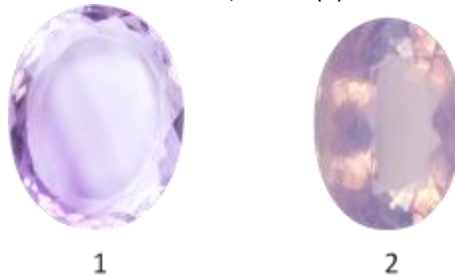
### 4.6.1 Objetivos e resultados esperados

Os objetivos deste teste são: (I) avaliar se os participantes reconhecem a amostra de ametista de aspecto opalado ou leitoso como obtida por meio da tecnologia de aquecimento; (II) Mensurar o valor comparativo atribuído à ametista natural e à ametista beneficiada de aspecto opalado; (III) Avaliação da percepção dos significados do material por meio de vocabulário léxico pela técnica de Diferencial Semântico.

#### 4.6.2 Seleção de amostras para o teste

As amostras selecionadas para este teste são ametistas detalhadas nesta pesquisa no Capítulo 4. São utilizadas duas amostras, sendo que a primeira consiste em uma ametista natural de Brejinho das Ametistas (BA) de aspecto translucido. A segunda amostra consiste em uma ametista beneficiada por dois tratamentos térmicos e um tratamento de irradiação gama. A Figura 65 mostra as imagens das amostras sendo que em (a) pode ser visto a amostra de ametista translúcida em seu estado natural, enquanto que em (b) pode ser vista a amostra na cor violeta opalada pelo tratamento térmico realizado. O aspecto visto nesta amostra a torna semelhante à opala, porém o que ocorre é a opalização, processo que segundo Schumann (2006) se refere ao jogo de cores da opala variando de acordo com o ângulo de observação. Deve ser diferenciado da opalescência, que diz respeito ao fenômeno de difusão, refração e interferência luminosa que ocorrem simultaneamente em uma solução coloidal.

Figura 65: Amostras de ametistas utilizadas no teste 2, sendo (1): ametista translúcida, (2): ametista opalada




Fonte: da autora, 2016

#### 4.6.3 Síntese do teste 2

O teste se baseia em perguntas iniciais que avaliam como o designer associa a perda da translucidez com o fato da amostra ser natural ou obtida por beneficiamento. As questões 1 e 2 referentes a esta avaliação estão em anexo no APENDICE 4. O pesquisado é informado na segunda questão que uma das amostras é resultante de tratamento térmico e com isso é convidado a colocá-la no rebaixo da placa em acrílico. Em seguida, na etapa 3 o mesmo deve colocá-las nos rebaiços destinados na placa em acrílico as amostras do menor para o maior valor monetário. Esta etapa diz respeito ao valor monetário que o designer percebe quando avalia comparativamente as duas amostras e ajuda a mensurar qual a sua percepção de valor em relação ao beneficiamento, uma vez que o mesmo já foi informado que uma delas foi aquecida. A Figura 66 mostra as etapas 2 e 3 com detalhes.

Figura 66: Resumo de tarefas realizadas pelos participantes no teste 2, etapas 2 e 3

Teste 2: Etapas 2 e 3	
<p><b>Etapa 2:</b> avaliar se os participantes reconhecem a amostra de ametista de aspecto opalado ou leitoso como obtida por meio da tecnologia de aquecimento</p> <p><b>2 amostra de ametistas:</b> violeta translúcida e violeta opaca</p> <p><b>16 pesquisados</b> (designer de joias e profissionais do setor de joias)</p> 	<p><b>Teste 2- Etapa 2</b></p> 
<p><b>Etapa 3:</b> Mensurar o valor comparativo atribuído à ametista natural e à ametista beneficiada de aspecto opalado.</p> <p><b>2 amostra de ametistas:</b> violeta translúcida e violeta opaca</p> <p><b>16 pesquisados</b> (designer de joias e profissionais do setor de joias)</p> 	<p><b>Teste 2- Etapa 3</b></p> 

Fonte: Elaborado pela autora, 2016

Para avaliar os atributos de significado que os designers percebem nas amostras ao usarem a visão como órgão dos sentidos, foi utilizado o Diferencial Semântico desenvolvido por Osgood et al (1967) por servir como medidor dos valores conotativos. Os descritores ou adjetivos foram selecionados de forma a expressarem uma mesma dimensão, com um vocabulário léxico baseado em pesquisas em livros de gemologia. Uma mesma lista de descritores foi utilizada para as duas amostras, sendo que o pesquisado marca os medidores para cada descritor na própria placa de acrílico com adesivos sendo na cor amarela para a amostra 1 e na cor verde para a amostra 2. A Figura 67 mostra a lista de descritores para as duas amostras.

Figura 67: Descritores utilizados na realização do teste 2, etapa 4

	+2	+1	0	+1	+2	
Simple						Sofisticado
Jovial						Sério
Delicado						Rústico
Noite						Dia
Clássico						Despojado
Discreto						Marcante
Puro						Impuro
Superior						Inferior
Valorizado						Desvalorizado
Frio						Quente

Fonte: Elaborado pela autora, 2016

A execução da tarefa pode ser vista na Figura 68 mostrando a colagem de adesivos para cada descritor. Com esta tarefa é possível comparar as duas amostras mensurando os atributos de significado para a amostra beneficiada em relação à natural.

Figura 68: Resumo de tarefas realizadas pelos participantes no teste 2, etapa 4

**Teste 2: Etapas 4**

**Etapa 4:** Avaliação da percepção dos significados do material por meio de vocabulário léxico pela técnica de Diferencial Semântico.

**2 amostra de ametistas:** violeta translúcida e violeta opaca

**16 pesquisados** (designer de joias e profissionais do setor de joias)






**Teste 2- Etapa 4**

**Amostra 1**



**Amostra 2**



Fonte: Elaborado pela autora, 2016

#### 4.6.4 Seleção dos descritores

Durante a realização do teste foi possível selecionar descritores emitidos oralmente pelos pesquisados, os quais foram compilados e transformados em uma nuvem de palavras que mostram as incidências. As palavras de maior tamanho foram as que tiveram mais repetições, enquanto que as de menor tamanho foram as que tiveram poucas repetições. A Figura 69 mostra uma imagem de nuvem de palavras para a amostra 1, feitas pelo site [www.wordle.net](http://www.wordle.net).

Figura 69: Nuvem de palavras utilizadas pelos participantes sobre amostra 1



Fonte: Elaborado pela autora, 2016

De acordo com as falas dos participantes foi possível anotar e gravar algumas palavras repetidas em relação à amostra de aspecto translucido e o que se observou pela nuvem de palavras foi uma maior aceitação da gema como verdadeira e natural, além dos participantes acharem-na mais bonita. Ao contrário disso, quando os participantes analisaram a amostra 2, de aspecto leitoso, atribuíram adjetivos como feia, artificial e fizeram associação com “anel de brinde de bala” conferindo à gema um caráter de inferioridade à amostra 1. A Figura 70 mostra imagem da nuvem de palavras da amostra 2.

Figura 70: Nuvem de palavras utilizadas pelos participantes sobre amostra 2



Fonte: Elaborado pela autora, 2016

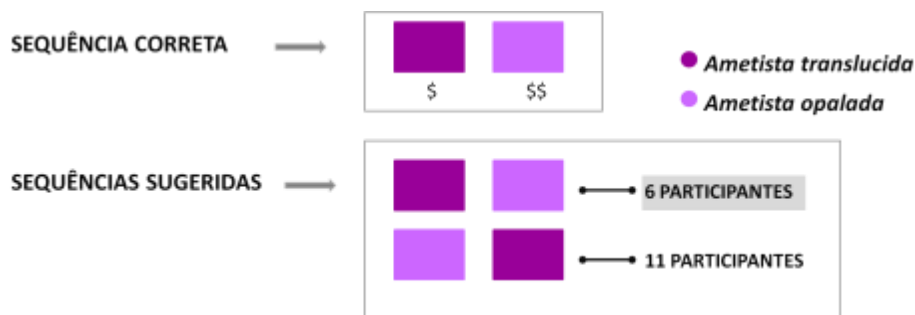
#### 4.6.5 Análise dos resultados

O principal foco deste teste foi avaliar a percepção dos participantes quanto à perda da translucidez nas amostras de ametistas causada pelo tratamento térmico. Ao serem questionados se as duas amostras eram encontradas na natureza, sendo uma delas translúcida e a outra de aspecto opaco, a maioria respondeu não. Para a segunda etapa que avaliou qual das amostras era considerada beneficiada, ou obtida de forma artificial, a maioria escolheu a ametista opalada. Os dados mostraram que o aspecto opaco na gema,

mesmo que tenha sido mantida a coloração violeta, gerou uma interpretação de atributo artificial. Não foram objetivos deste teste a identificação de tratamentos nas gemas em estudo por parte dos participantes, pois de acordo com Schumann (2006) as cores obtidas com tratamento de irradiação e aquecimento são tão próximas à natural que não podem ser detectadas a olho nu, sendo necessários ensaios complicados para uma identificação.

A etapa 3 avaliou a percepção de valor monetário por parte dos participantes em relação às duas amostras. Mesmo os participantes que na etapa anterior responderam que a amostra opalada havia passado por tratamento térmico, não a identificaram como uma gema de maior valor monetário, desconsiderando que o processo tecnológico agrega valor ao material.

Figura 71: Resultados da percepção de valor monetário de ametistas no teste 2, etapa 3

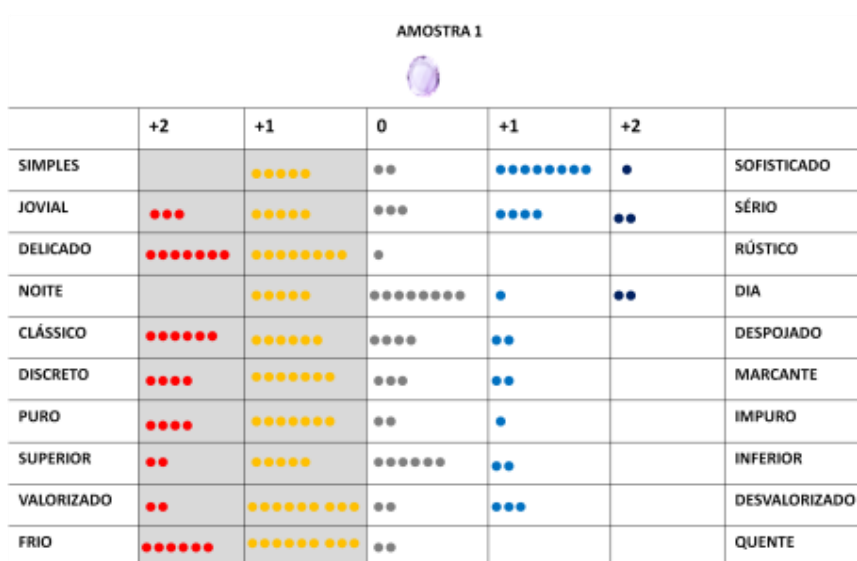


Fonte: Elaborado pela autora, 2016

A Figura 71 mostra a imagem dos resultados convergindo para a opinião dos designers de joias e profissionais do setor de joias de que o aspecto opaco da ametista diminui seu valor monetário.

Mostra a pouca aceitação dos participantes com relação ao aspecto opaco nas gemas. Os dados podem ser cruzados ou complementados com a seleção dos descritores emitidos em voz alta pelos pesquisados, os quais mostraram que à amostra translúcida foram atribuídas características de natural, delicada e bonita, enquanto que à ametista opalada foram atribuídas características de gema artificial, estranha, feia e outros.

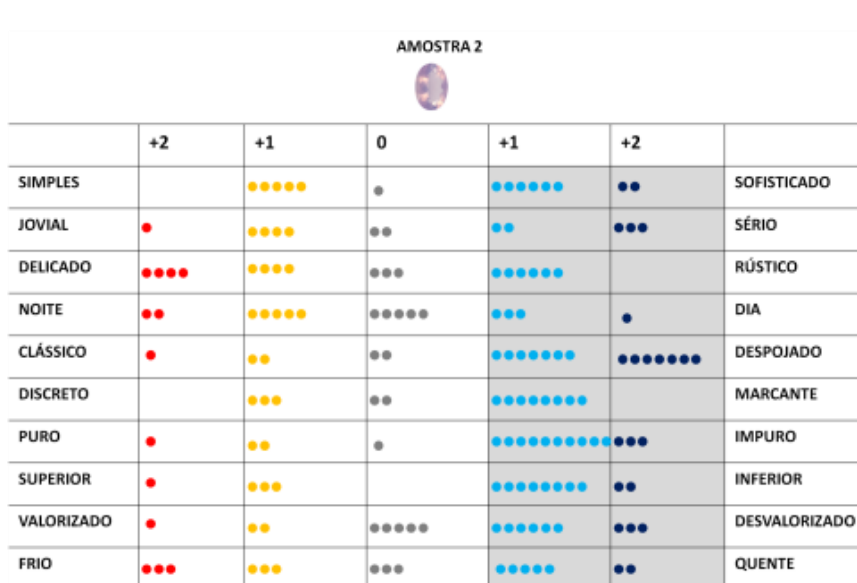
Figura 72: Resultados dos atributos de significado para amostra 1, teste 2, etapa 4



Fonte: Elaborado pela autora, 2016

A etapa 4 avaliou os atributos de significado das amostras de ametistas com base nos descritores oferecidos aos participantes. Foi analisada uma amostra de cada vez, porém sendo feita a comparação entre as duas por meio dos descritores gravados na placa de acrílico. A Figura 72 mostra os resultados para a amostra 1, sendo as formas circulares em cores variadas representativas de cada participante que atribui o valor para o descritor correspondente para cada uma das amostras.

Figura 73: Resultados dos atributos de significado para amostra 2, teste 2, etapa 4



Fonte: Elaborado pela autora, 2016

Os resultados mostram que para a amostra 1, de aspecto translúcido, os

participantes atribuíram significados que estão à esquerda na imagem, correspondentes à valorização, pureza, delicadeza e superioridade em relação à amostra 2. Contrariamente, para a amostra 2 foram atribuídos significados que se localizam à direita na imagem, correspondentes à inferioridade, desvalorização, apesar de a considerarem despojada e marcante como mostra a Figura 73.

## 4.7 TESTE 3: PERCEPÇÃO DA MUDANÇA DE COLORAÇÃO NAS AMETISTAS

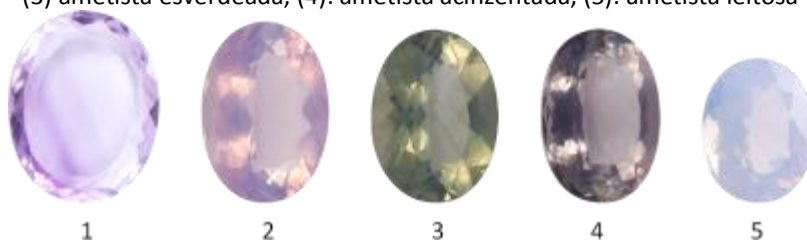
### 4.7.1 Objetivos e resultados esperados

Os objetivos esperados para este teste são: (I) Avaliar se os pesquisados percebem as amostras como ametistas mesmo tendo a coloração alterada pelo beneficiamento de irradiação e aquecimento; (II) Avaliar a percepção de valor após os pesquisados terem sido informados que se tratam de amostras de ametistas beneficiadas; (III) Avaliar os atributos subjetivos que os pesquisados conferem a cada uma das amostras ao aplicarem nas joias para determinado gênero, idade, ocasião, estilo e tipologia de peça.

### 4.7.2 Seleção de amostras para o teste

Para este teste foram selecionadas cinco amostras, as quais podem vistas na Figura 74. A primeira amostra vista em (a) é uma ametista natural de cor violeta translúcida; em (b) pode ser vista uma ametista opalada na cor violeta; em (c) pode ser vista uma ametista opalada de coloração esverdeada; em (d) pode ser vista uma ametista translúcida de coloração cinza-azulada e em (e) uma ametista branca leitosa.

Figura 74: Amostras de ametistas utilizadas no teste 3, sendo (1): ametista translúcida, (2): ametista opalada, (3) ametista esverdeada, (4): ametista acinzentada, (5): ametista leitosa







Fonte: da autora, 2016



### 4.7.3 Síntese do teste 3

Inicialmente as amostras foram dispostas lado a lado no espaço rebaixado na placa de acrílico e foi solicitado ao pesquisado que examine cada uma delas denominando-as de acordo com seu conhecimento em gemas (por exemplo: topázio, turmalina, etc...). A Figura 75 mostra a sequencia de tarefas referentes às etapas 1 e 2 do teste.

Figura 75: Resumo de tarefas realizadas pelos participantes no teste 3, etapas 1 e 2

Teste 3: Etapas 1 e 2	
<p><b>Etapa 1:</b> avaliar se os pesquisados percebem as amostras como ametistas mesmo tendo a coloração alterada pelo beneficiamento de irradiação e aquecimento</p> <p><b>5 amostra de ametistas:</b> violeta translúcida; violeta opaca, opalada de coloração esverdeada; cinza-azulada e branca leitosa.</p> <p><b>16 pesquisados</b> (designer de joias e profissionais do setor de joias)</p> 	<p><b>Teste 3- Etapa 1</b></p> 
<p><b>Etapa 2:</b> avaliar a percepção de valor após os pesquisados terem sido informados que se tratam de amostras de ametistas.</p> <p><b>5 amostra de ametistas:</b> violeta translúcida; violeta opaca, opalada de coloração esverdeada; cinza-azulada e branca leitosa.</p> <p><b>16 pesquisados</b> (designer de joias e profissionais do setor de joias)</p> 	<p><b>Teste 3- Etapa 2</b></p> 

Fonte: Elaborado pela autora, 2016

O objetivo é avaliar se o pesquisado percebe que as amostras 2,3,4 e 5 são todas ametistas beneficiadas a partir da amostra 1 de origem natural. Isso é informado ao pesquisado na etapa 3 convidando-o a colocar as amostras no rebaixo da placa referente à sua percepção se as ametistas beneficiadas que tiveram sua cor alterada valorizaram ou desvalorizaram em relação à amostra 1. As perguntas destinadas a este teste podem ser vistas no APÊNDICE 5.

A etapa 3 teve como objetivo avaliar a percepção de valor agregado às gemas por designers levando em consideração os aspectos simbólicos da cor, a transparência e translucidez, pedindo que determinem para cada uma das amostras um público (gênero), idade, ocasião, estilo e tipologia da peça. As variações podem ser vistas na Figura 76.

Figura 76: Alternativas de perfis do usuário de joias utilizadas pelos participantes

GÊNERO	IDADE	OCASIÃO	ESTILO	TIPOLOGIA
Masculino	Faixa etária	Dia	Clássico	Anel
Feminino		Noite	Moderno	Colar
		Casual	Alternativo	Brincos
		Festa		Pulseira
				Todos

Fonte: Elaborado pela autora, 2016

Com base nas opções que são oferecidas, os participantes escolhem as opções de aplicações das gemas ao tipo de usuário. Tal tarefa forneceu dados para mensurar a percepção quanto à alteração de coloração das gemas e suas aplicações para cada perfil de público usuário. A Figura 77 mostra a execução da tarefa pelo participante durante o preenchimento com caneta à base de tinta removível na placa de acrílico.





Figura 77: Resumo de tarefas realizadas pelos participantes no teste 3, etapa 3

**Teste 3: Etapa 3**


**Etapa 1:** avaliar os atributos subjetivos que os pesquisados conferem a cada uma das amostras ao aplicarem nas joias para determinado gênero, idade, ocasião, estilo e tipologia de peça.

**5 amostra de ametistas:** violeta translúcida; violeta opaca, opalada de coloração esverdeada; cinza-azulada e branca leitosa.

**16 pesquisados** (designer de joias e profissionais do setor de joias)

**Teste 3- Etapa 3**








Fonte: Elaborado pela autora, 2016

#### 4.7.4 Análise dos resultados

O teste 3 buscou uma avaliação da percepção dos participantes quanto à mudança de coloração nas ametistas utilizando cinco amostras sendo as duas primeiras já utilizadas no teste 1. Todas são ametistas resultantes do beneficiamento por tratamento térmico, em diferentes temperaturas e tempos de aquecimentos, a partir de uma amostra de aspecto translúcido e de cor violeta (amostra 1). Com o objetivo de avaliar o conhecimento dos participantes sobre a possibilidade de alteração de cor e de translucidez

nas ametistas por meio destes beneficiamentos foi solicitado que os mesmos nomeassem cada gema de acordo com a sua percepção quanto à coloração e translucidez. A Figura 78 mostra uma compilação das amostras com os respectivos nomes sugeridos pelos participantes. As formas circulares repetidas na cor cinza representam o número de participantes que usou a nomenclatura para a amostra.

Figura 78: nomenclaturas associadas às gemas durante o teste 3, etapa 1

Nomes das gemas	Amostra 1 	Amostra 2 	Amostra 3 	Amostra 4 	Amostra 5 
Ametista	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●	●●	
Turmalina	●●	●	●●●	●●	●
Prasiolita	●		●●●		
Quartzo	●	●●		●●●●	●
Safira		●			
Água-marinha			●●	●	
Green-gold			●		
Topázio				●●	
Iolita				●	
Quartzo fumê				●	
Opala					●●●●●●●●
Quartzo leitoso					●●●●●●●●
Ágata					●
Pedra da lua					●
Não sei	●	●●	●●●●	●●	●●

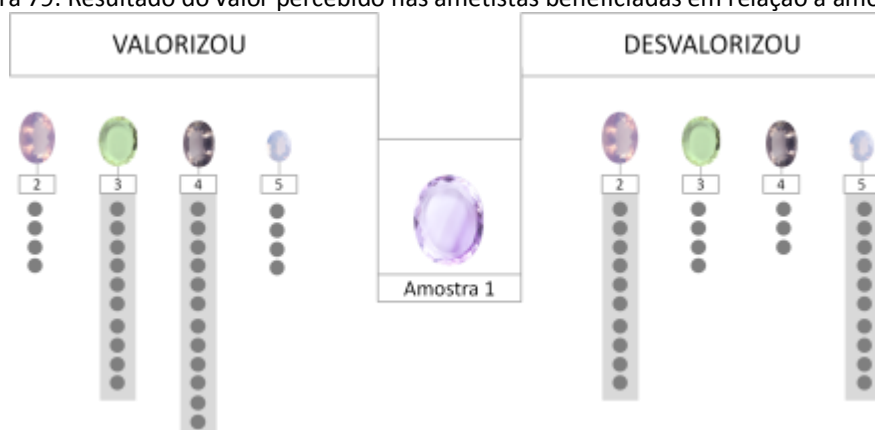
Fonte: Elaborado pela autora, 2016

De acordo com o que foi observado, a maioria dos participantes não identificou todas as amostras como ametistas. Embora as amostras 1 e 2 tenham sido utilizadas no teste anterior, os participantes não receberam a informação de que se tratavam de ametistas. Porém, a maioria as identificou como tal devido à coloração violeta. O restante das amostras foi identificado de acordo com a coloração e opacidade, como no caso da ametista esverdeada com prasiolita, a ametista acinzentada com topázio e água-marinha. A amostra 5, de aspecto leitoso e coloração branca, foi associada pela maioria com o quartzo leitoso e com a opala. Uma pequena parcela dos entrevistados não sabia identificar e preferiu não nomear as amostras. De acordo com Schumann (2006), a cor não é um diagnóstico de diferenciação nas gemas, pois muitas delas possuem a mesma cor e várias delas ocorrem em diversas cores. Embora a cor seja muito importante nas gemas, exceto nos diamantes, nenhum outro método prático de determinação da cor é inteiramente aceito. Por este

motivo a identificação das gemas objetiva apenas mensurar o conhecimento superficial dos participantes e se as identificam como ametistas.

Na etapa 2 os participantes foram informados de que todas as amostras são ametistas e foram solicitados a identificar quais amostras, de acordo com a sua percepção de valor, tiveram uma valorização ou uma desvalorização em relação à amostra 1, de origem natural sem beneficiamento. A Figura 79 mostra a divisão feita pelos participantes sendo que as formas circulares na cor cinza correspondem ao número de participantes que escolheram cada uma das amostras como valorizadas ou desvalorizadas em relação à amostra 1.

Figura 79: Resultado do valor percebido nas ametistas beneficiadas em relação à amostra 1




Fonte: Elaborado pela autora, 2016

Os resultados mostram que a translucidez influenciou na percepção de valor por parte dos participantes, uma vez que as amostras 2 e 5, de aspecto opalado, tiveram uma desvalorização, enquanto que as amostras 3 e 4 tiveram uma valorização. Um cruzamento de dados com o teste 2 mostrou que os descritores emitidos oralmente pelos pesquisados representaram que a translucidez foi associada com o natural e consequentemente mais valorizado, enquanto que o aspecto opalado foi associado com o artificial e consequentemente desvalorizado.

A etapa 3 deste teste avaliou a aplicação das gemas coloridas por aquecimento aos perfis de público, definindo gênero, idade, estilo, tipologia de peça a ser aplicada e ocasião de uso pelo usuário. A Figura 80 mostra a aplicação sugerida pelos participantes para cada amostra de acordo com o gênero e faixa etária sugerida pelos mesmos.

Figura 80: Resultados da aplicação das amostras ao gênero e idade dos usuários

Amostra	GÊNERO		IDADE			
	Feminino	Masculino	Até 25	25-50 anos	Acima de 50	Todas
1 	●●●●●●●● ●●●●●●●●	●●	●●●●●●●●	●●●	●●●	●
2 	●●●●●●●● ●●●●●●●●	●	●●●●●	●●●●●●●●		
3 	●●●●●●●● ●●●●●●●●	●●●●●●●●	●	●●●●●●●●	●●●	●
4 	●●●●●●●● ●●●●●●●●	●●●●●●●●		●●●●●●●●	●●●●●●	●●
5 	●●●●●●●● ●●●●●●●●	●●●●●●	●●●●●●	●●●●●●	●●	

Fonte: Elaborado pela autora, 2016

A análise dos resultados mostrou que a maioria dos participantes fez uma correlação entre todas as amostras e o sexo feminino, porém uma parcela dos participantes correlacionou a amostra de cor esverdeada, acinzentada e leitosa, também, com o público masculino. As amostras 1 e 2 não foram significativamente aplicadas a este público talvez pela coloração violeta de simbologia delicada. Com relação à faixa etária, as amostras 1 e 2 foram destinadas pela maioria dos participantes tanto à faixa etária até 25 anos, quanto à faixa etária de 25 a 50 anos. Porém as amostras 3 e 4 de cores esverdeada e acinzentada, respectivamente, foram destinadas aos usuários de 25 a 50 anos pela maioria dos participantes. Possivelmente a escolha esteja associada com a associação dessas cores aos atributos de significado como seriedade, enquanto as de cores violeta estejam associadas aos de jovialidade.

Também foram avaliadas as aplicações das amostras de acordo com a ocasião de uso da gema aplicada à joia, seja dia, noite, festa, casual ou todos. Com relação à ocasião não foi possível mensurar se os participantes aplicaram determinadas amostras para ocasiões específicas. Todas as amostras tiveram uma distribuição igualitária dentre as ocasiões apresentadas. Possivelmente isso possa estar relacionado com o fato das gemas serem coloridas, podendo ser utilizadas tanto em ocasiões especiais quanto nas casuais. O estilo do público também foi determinado para que os participantes escolhessem entre o clássico, moderno e alternativo. Foi possível observar que as amostras 1,2,3 e 4 foram mais

destinadas a um estilo clássico, sendo que a amostra 2 e 3 também atenderiam a um estilo moderno. Por outro lado, a amostra 5 foi destinada ao estilo alternativo, talvez pelo aspecto opalado. Um cruzamento de dados com os nomes das gemas na etapa 1 mostra que esta foi associada à opala e quartzo leitoso, e na etapa 3 como uma das amostras que desvalorizou em relação à ametista natural. Tal observação converge para a associação com o público desta amostra com alternativo. A Figura 81 mostra as correlações feitas.

Figura 81: Resultados da aplicação das amostras de acordo com ocasião e estilo

Amostras	OCASIÃO					ESTILO		
	DIA	NOITE	CASUAL	FESTA	TODAS	CLÁSSICO	ALTERNATIVO	MODERNO
1 	●●●●●●●●	●●●●●●	●●●●	●●●●●●	●	●●●●●●●● ●●●●	●●	●●
2 	●●●●●●●●	●●●●●●	●●●●●●	●●●●●●	●	●●●●●●●●	●	●●●●●●●●
3 	●●●	●●●●●●●●	●●●●●●	●●●	●	●●●●●●●●	●	●●●●●●
4 	●●	●●●●●●	●●●●●●●● ●●		●	●●●●●●●●	●	●●●●
5 	●●●●●●●●	●	●●●●●●●● ●●	●●●●			●●●●●●●●	●●●●

Fonte: Elaborado pela autora, 2016

Com relação à aplicação das gemas nas joias foram sugeridas aos participantes tipologias como: anel, brincos e colar ou todas as alternativas. Para esta tarefa alguns participantes utilizaram métodos de observação das gemas imaginando a pedra aplicada a uma peça. A Figura 82 mostra uma imagem de um participante simulando a gema aplicada a um anel ao apoiá-la na sua mão.

Figura 82: forma particular de observação da amostra pelo participante durante o teste











Fonte: Elaborado pela autora, 2016

Com a observação de cada amostra isoladamente os participantes destinaram

cada uma das amostras para uma tipologia de peça. Os resultados podem ser vistos na Figura 83.

Figura 83: aplicação das gemas de acordo com a tipologia das peças

Amostras	TIPOLOGIA			TODAS
				
1 	••	••••••••	•	•••••
2 	••••••••	•	•	•••••••
3 	••••••••••	•	•	•••••
4 	••••••••	••	•	••••
5 	••••••••	••••	••••	•••

Fonte: Elaborado pela autora, 2016

Os dados mostraram que os participantes tiveram uma preferência por aplicação de todas as amostras em anéis. Mas, uma parcela de participantes determinou que as amostras podem ser aplicadas em todas as tipologias de peças. Alguns participantes relataram uma dificuldade em imaginar as gemas aplicadas nas peças desvinculadas da forma e da lapidação, embora tenham executado a tarefa na sua totalidade.

## Capítulo 5

# CONCLUSÕES

5.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ESTUDOS  
EXPERIMENTAIS

5.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A PESQUISA

5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS



## Capítulo 5

# CONCLUSÕES

O último capítulo desta dissertação apresenta as conclusões e as considerações finais sobre os estudos experimentais com as gemas realizados em laboratório e de percepção com usuários e as considerações sobre a pesquisa e seus futuros desmembramentos.

### 5.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ESTUDOS EXPERIMENTAIS

As amostras de quartzo e ametistas coletadas durante pesquisa com atores do setor de gemas e joias serviram como norteadoras para os estudos laboratoriais de beneficiamentos por irradiação gama e tratamento térmico. Com relação aos estudos realizados com amostras de quartzo e ametistas foi possível concluir que:

- As amostras submetidas aos estudos de *FTIR* tiveram seu poder de coloração identificado evitando testes desnecessários, mas por outro lado, revelaram as possibilidades de sucesso em outros casos. Amostras com fator lítio (fLi) pouco elevado resultaram em colorações verde fraca, sendo este um fator determinante.
- O local de origem das gemas exerce grande influência na sua composição e, conseqüentemente, no seu potencial de geração de cor. Os elementos presentes como impurezas apresentaram relação direta com a cor gerada após os tratamentos. As amostras de Coronel murta (MG) mostraram faixas de bandas fator lítio (fli) entre 3.600 e 3.380  $\text{cm}^{-1}$  indicaram um potencial para gerar um matiz acastanhado ao ser irradiadas e aquecidas.
- Amostra do estado do Espírito Santo cujos resultados de *FTIR* mostraram banda intensa em 3483  $\text{cm}^{-1}$  e fLi=2,93, o que comprova o potencial da mesma para geração da cor *green gold*. O tratamento de irradiação aplicando uma dose de 40–70 kGy, seguido de aquecimento a 300–360°C origina a cor verde-limão característica do quartzo *Green gold*. Os dados mostraram a correlação entre a origem da amostra, os elementos de impureza na sua composição e o potencial para geração de cor.

- Com relação aos testes realizados com amostras de ametistas da região de Brejinho das Ametistas (BA), os resultados mostraram que as partes da amostra que apresentavam coloração violeta intenso, local de maior concentração de Fe, apresentaram mudança na coloração após tratamento térmico e de irradiação. Algumas das amostras de ametistas translúcidas destinadas aos testes para obtenção de ametistas de aspecto leitoso por meio de aquecimento não atingiram os objetivos, pois não ocorreu a mudança de fase do quartzo  $\alpha$  para  $\beta$ . O aspecto leitoso seria causado pela presença de inclusões que ao sofrerem modificações polimórficas da sílica e suas inversões mútuas resultariam em mudança de volume. Parte da amostra destinada ao teste para obtenção de citrino tiveram resultados satisfatórios quando aquecidas inicialmente a 500°C e posteriormente a 600°C.

Os resultados das amostras obtidos com os testes laboratoriais serviram de material para estudo subsequente de percepção dos designers de joias e profissionais do setor de joias acerca da coloração e aspectos de translucidez resultantes das técnicas de beneficiamento. Os resultados que avaliaram desde o conhecimento dos processos de beneficiamentos, da percepção das mudanças de coloração e aplicação das gemas coloridas ao público usuário de joias, concluíram que:

- A maioria dos participantes desconhece o processo de irradiação gama e tratamento térmico para coloração de gemas e seus resultados, desconhecendo também o quanto o mesmo agrega de valor às gemas em relação ao seu aspecto inicial incolor.
- Quanto à mudança de coloração e translucidez nas ametistas pelas duas técnicas de beneficiamento os resultados da avaliação da percepção dos participantes mostraram pouca aceitação em relação às amostras de aspecto opalado. Os atributos de significado mostraram que estas amostras foram associadas com pedras artificiais, feias, estranhas, ao contrário da amostra inicial de aspecto translúcido que foi associada ao significado natural, bonita. Embora a gema opalada apresente maior valor agregado, a maioria dos participantes a classificou como desvalorizada, o que mostra que mesmo tendo sido informados de que houve um beneficiamento o valor percebido está atrelado ao aspecto estético do material.

- A cor analisada no material isoladamente, desvinculado do produto final (joia), exigiu dos participantes uma abstração. As formas e as lapidações padronizadas contribuíram para que os mesmos focassem apenas na gema como material. Sendo assim, ao associarem as gemas ao público usuário de joias levando em consideração gênero, idade, estilo e ocasião de uso, foi possível observar que a cor foi determinante. As três etapas destinadas a esta avaliação mostraram que a simbologia das cores quanto à cor fria ou quente, alegre ou séria, determinam as aplicações de acordo com o usuário.

## 5.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A PESQUISA

Os levantamentos teóricos sobre o quartzo, sua composição e correlações com o potencial de coloração serviram como subsídios para um levantamento acerca das técnicas de beneficiamento mais utilizadas. Uma pesquisa de campo com atores da cadeia produtiva de joias além de ter mostrado que a irradiação e o tratamento térmico são as técnicas mais utilizadas para mudança de coloração. Também permitiu uma coleta de amostras de quartzos e ametistas para utilização nos experimentos laboratoriais e geração de amostras que posteriormente foram lapidadas para uso nos testes de percepção com designers de joias.

A pesquisa de campo com pedristas, garimpeiros e lapidadores mostrou que existe uma dificuldade em compartilhar informações por parte dos mesmos, sendo que algumas vezes foram obtidas informações equivocadas como quanto à origem das gemas, temperatura e tempo de aquecimento. Tal entrave dificultou ou em alguns casos impediu que os testes laboratoriais obtivessem êxito. Os objetivos desta pesquisa foram alcançados, uma vez que conseguiu contextualizar sobre a pouca valorização do quartzo como matéria-prima brasileira no setor de joias por ser abundantes e sair do Brasil de forma bruta por preços baixos. Ao serem levantadas amostras e técnicas com resultados e avaliação da percepção dos designers como atores que utilizam e aplicam as gemas nas joias uma sequência de etapas se construiu para fornecer dados que comprovam o desconhecimento por parte da cadeia produtiva.

### 5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Esta pesquisa já apresentou possibilidades de publicações dos trabalhos e resultados parciais em congressos de design e materiais e ainda apresentará outras possibilidades de publicações. As amostras levantadas e os resultados de testes passaram por sessões de fotografia em estúdio profissional para serem compiladas junto aos textos em forma de um livro com a participação de atores do setor de joias e professores de design e de gemologia. O livro propiciará uma divulgação do valor do quartzo como matéria-prima brasileira e das técnicas de beneficiamento desconhecidas por profissionais do setor como foi possível observar os experimentos de análise de percepção com usuários.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.310/1991**. Diamante lapidado - Procedimento. São Paulo: ABNT, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 10.630/1989**: Material gemológico - Classificação. São Paulo, 1984.

\_\_\_\_\_. **NBR 8.000/2011**: Ouro refinado - Especificação . São Paulo: ABNT, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 8.001/2011**. Ouro refinado- Especificação. São Paulo: ABNT, 2011

ADOR, ASSOCIAZIONE DESIGNER ORAFI (Itália). Design Orafo & Designers. Milão: Edizione Gold, 1996.

ALKMIM, D.G. **Identificação do potencial de desenvolvimento de cor no quartzo natural incolor por meio da espectrometria raman**. 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais) – Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte, 2012.

ALMEIDA JUNIOR, Gilberto. Avaliação dos aspectos subjetivos relacionados aos materiais : proposição de método e escalas de mensuração aplicadas ao setor moveleiro, 2013, 191 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

ANDERSON, B. W; **A identificação das gemas**. Rio de Janeiro: Ed. Ao livro Técnico, 2005.

ASHBY, M.; JOHNSON, K. **Materiais e Design: arte e ciência da seleção de materiais no design de produto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

BALAGUERA, Y.L.S. La influencia de los materiales en el significado de la joya. **Cuaderno del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación**, n. 46, p. 115–153, 2013.

BALITSKY, V.S.; MAKHINA, I.B., PRYGOV, V.I.; MAR'IN, A.A.; EMEL'CHENKO, A.G.; FRITSCH, E. Russian synthetic pink quartz, **Gems & Gemology**, n. 34, p. 34–43, 1998

BARRETO, S. B.; BITTAR, S.M.B. The gemstone deposits of Brazil: occurrences, production and economic impact. **Mexico ene**. Mexico. v.62, p.52-55, 2010.

BARRY, T. I.; MOORE, W. J. Amethyst: optical properties and paramagnetic resonance. **Science**. n. 144, p. 289-290, 1964.

BRANCO, P. M. Sistemas cristalinos. In: Serviço Geológico do Brasil, 2014. Disponível em < <http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1279&sid=129>>. Acesso em: 23 de maio de 2015.

CABELLO, M. L. R.; PERES, A. E. C.; MARTINS, A. H.; SILVA, R. G. O.; PEREIRA, C. A. Métodos de lavra aplicados à extração de rochas ornamentais. **HOLOS**, v. 5, n. 28, p. 167–173, 2012.

CALLISTER, W. D. Jr. Ciência e engenharia de materiais, uma introdução. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CALVO, W.A.P. **Desenvolvimento do sistema de irradiação em um irradiador multipropósito de cobalto-60 tipo compacto**. 2005, 178 f. Tese (Doutorado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear)–IPEN, Universidade de São Paulo, USP. São Paulo, 2005.

CANAN, P.R.; **Gemas e joias: a gestão pelo design aplicada à cadeia de valor de arranjos produtivos locais**. 2013, 119 f. Dissertação (Mestrado em Design)–Programa de Pós Graduação em Design, UEMG, Belo Horizonte, 2013.

- CARVALHO, R.G. C. Topázio imperial, o antigo rubi brasileiro, **Portugal Gemas**, n. 8, p. 1–14, 2009. Disponível em < <http://www.pin.pt/index.php/pt/arquivo-agenda/noticias-2/975-portugal-gemas-magazine-digital-de-gemas-e-joalheria>>. Acesso em: 19 de abril de 2015.
- CASSEDANE, J.P. Tipologia das jazidas brasileiras de gemas. In: SCHOBENHAUS, C.; QUEIROZ, E.T. de; COELHO, C.E.S. **Principais depósitos minerais do Brasil**. Brasília, DNPM/CPRM. v. 4, p. 17–36, 1991.
- COOPER, A. **The inmates are running the asylum**. EUA: Macmillan, 1999.
- CORNEJO, C.; BARTORELLI, A. **Minerais e pedras preciosas do Brasil**. São Paulo: Solaris edições culturais, 2010.
- CORREA, M. **Variedades gemológicas de quartzo na bahia, geologia, mineralogia, causas de cor, e técnicas de tratamento**. 2010, 170 f. Dissertação (Mestrado em Mineralogia e Petrologia)- Universidade de São Paulo, USP. São Paulo, 2010.
- CROWE, J. **Guia ilustrada de lãs piedras preciosas**. Espanha: Promopress, 2007.
- CUNHA, L.; MILZ, T. **Joias de crioula**. São Paulo: Terceiro Nome, 2011.
- CYBIS, W.; BETIOL, A. H.; FAUST, R. **Ergonomia e usabilidade: conhecimentos, métodos e aplicações**. São Paulo: Novatec, 2007.
- DE BIASI, V.E.G.; JUNIOR, A.A.R.; MELQUIADES, L.F.; BORRERO, P.B.G. Tratamento térmico em ametista e irradiação de amostras de quartzo de chopinzinho e região. In: **Salão de extensão e cultura**, n. 3, 2010, Paraná. Disponível em: <[http://www.anais.unicentro.br/sec//iiisec/pdf/trabalho\\_214.pdf](http://www.anais.unicentro.br/sec//iiisec/pdf/trabalho_214.pdf)>. Acesso em: 22 de abril de 2015.
- DESMET, P.; HEKKERT, P. Framework of Product Experience, **International Journal of Design**, v.1, p. 57-66, 2007.
- DIAS, M.R.A.C.; **Percepção dos materiais pelos usuários: modelo de avaliação Permatius**. 2009. 352 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão do Conhecimento)–Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, 2009.
- DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário mineral**. Brasília, 2013.
- DOTTO, C. T.; ISOTANI, S. Irradiation and heating effects in amethyst crystals from Brazil. **Radiation Effects and Defects in Solids**, n. 117, p. 335- 361, 1991.
- DRUMMOND, N. F. **Ambientes geológicos e mudanças de cor no quartzo hialino**. 2009, 195 f. Dissertação (Mestrado em Gemologia)– Escola de Minas, Departamento de Geologia, UFOP, Ouro Preto, 2009.
- DRUMMOND, N.F; MENDES, J.C.; LAMEIRAS, F.S. Caracterização de quartzo para obtenção de suas variedades gemológicas por irradiação gama e/ou tratamento térmico, **Revista Escola de Minas**, v. 3, n. 63, p. 449–456, 2010.
- DUARTE, G.A.; **A transferência da informação em Arranjos Produtivos Locais de Gemas e joias**. 2011, 182 f. Dissertação (Mestrado em ciência da computação)–Universidade de Brasília, Brasília, 2011.
- ENOKIHARA, T.C. **Estudo do quartzo verde de origem hidrotermal tratado com radiação gama**. 2013, 166 f. Tese (Doutorado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear)–IPEN, Universidade de São Paulo, USP. São Paulo, 2013.
- FAVACHO, S. M.D, LICCARDO, A.; CASTAÑEDA, C. Tratamento em gemas. In: CASTAÑEDA, C.;

ADDAD, J. E.; LICCARDO, A. **Gemas de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Ed. SBG, 2001. cap. 3, p. 53–73.

FAVACHO, S. M.D. Quartzo; In: CASTAÑEDA, C.; ADDAD, J. E.; LICCARDO, A. **Gemas de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Ed. SBG, 2001. cap. 10, p. 221–233.

GARCIA, A. A.; MACHADO, C. A. A.; LIMA, P. **Estudo de mercado dos setores de gemas, joias, bijuterias e correlatos**. Brasília: SEBRAE / DF, 2005.

GIESBRECHT, H.O.; DE MINAS, R.B.A.; GONÇALVES, M.F.W.; SCHWANKE, F.H. **Indicações geográficas brasileiras – Artesanato**. Brasília: SEBRAE, INPI, 2014.

GODOY, A. S., Pesquisa Qualitativa – Tipos Fundamentais. São Paulo: **RAE Artigos**, n. 3, v. 35, p. 20–29, 1995.

GOLA, E. **A Joia: História e design**. São Paulo: SENAC/SP, 2008.

HASSAN, F.; COHEN, A. J. Biaxial color centers in amethyst quartz. **Am, Mineral**. 59, p. 709-718, 1974.

HENRIQUES, H. S. A arte do design. In LEAL, JOICE, Joppert. **Um olhar sobre o design brasileiro**. São Paulo: Objeto Brasil, 2002.

HLAVAC, J. **The technology of glasses and ceramics**. New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1983.

HSTERN. Disponível em <[www.hstern.com.br](http://www.hstern.com.br)>. Acesso em: 12 abril de 20015.

IAEA – International Atomic Energy Agency. **Gamma irradiators for radiations processing**. Viena: 2008. Disponível em <<http://www-naweb.iaea.org/napc/iachem/Brochure%20on%20gamma%20irradiators.pdf>>. Acesso em: 22 de maio de 2015.

IBGM - Instituto Brasileiro de Gemas e Metais. **Boletim do instituto brasileiro de gemas e metais preciosos**. Brasília, 2010.

\_\_\_\_\_. **Construindo o futuro dos APL de gemas, joias e bijuterias**. Brasília, 2014. Disponível em <[http://issuu.com/ibgmdf/docs/cartilha\\_apl](http://issuu.com/ibgmdf/docs/cartilha_apl)>. Acesso em: 21 de junho de 2015.

\_\_\_\_\_. **Diagnóstico do setor de gemas, jóias e bijuterias e suas tendências nacional e internacional**. Brasília, 1991.

\_\_\_\_\_. **Importação brasileira do capítulo 71 da NCM**. Brasília: IBGM, 2015. Disponível em <[www.ibgm.com.br/blog/importacao-brasileira-do-capitulo-71-da-ncm-jan-2015/](http://www.ibgm.com.br/blog/importacao-brasileira-do-capitulo-71-da-ncm-jan-2015/)>. Acesso em: 26 de maio de 2015.

\_\_\_\_\_. **Manual técnico de gemas**. Brasília: IBGM, 2005.

\_\_\_\_\_. **Políticas e ações para a cadeia produtiva de gemas e joias**. Brasília: Brisa, 2005.

IBRAM- Instituto Brasileiro de Mineração. **Pesquisadores brasileiros mudam a tonalidade e multiplicam o preço de gemas**. Brasília, 25 de maio 2011. Disponível em <[http://www.ibram.org.br/150/15001002.asp?ttCD\\_CHAVE=141302](http://www.ibram.org.br/150/15001002.asp?ttCD_CHAVE=141302)>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2015.

JVC (Jewelry Vigilance Comitee); AGTA (American Gem Trade Association). **The essential guide to the U.S. trade in Irradiated Gemstones**. Dallas: AGTA, 2008. Disponível em <[www.jvclegal.org/index.php?categoryid=216-](http://www.jvclegal.org/index.php?categoryid=216-)>. Acesso em: 18 de jun. de 2015.

KARANA, Elvin. Meaning of materials, 2009, 272 f. Tese (Doutorado) – Technische Universiteit Delft, Delft, 2009.

KARANA, Elvin; PEDGLEY, Owain; ROGNOLI, Valentina; ASHBY, Mike. *Materials Experience: fundamentals of materials and design*. Oxford: Elsevier, 2014.

KELLEY, T.; LITTMAN, J. **A arte da inovação**. 2. ed. São Paulo: Futura, 2001.

KLEIN, C. **Mineral Science**. 22. ed. New York: John Willey, 2002.

KRUCKEN, L. **Design e território: valorização de identidades e produtos locais**. São Paulo: Studio Nobel, 2009.

LAMEIRAS, F. S.; NUNES, E. H. M. Estimativa da dose do quartzo natural irradiado pela termoluminescência, **Revista Escola de Minas**, v. 57, n. 1, p. 19–22, 2004.

LAMEIRAS, F.S; NUNES, E. H. M.; MELO, V.A.R.; LIZ, O.R. Identificação de quartzos incolores para joalheria, **Revista Escola de Minas**, v. 59, n. 1, p. 129–133, 2006.

LAMEIRAS, F.S. **Relatório interno do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear**. Belo Horizonte, MG: CDTN, 2007. (Documento inédito)

LAMEIRAS, F.S. The Relation of FTIR Signature of Natural Colorless Quartz to Color Development After Irradiation and Heating. In: MOROZHENKO, V. **Infrared Radiation**.

**Croácia**: InTech, 2012, cap. 3, p. 47–56. Disponível em:

<<http://www.intechopen.com/books/infrared-radiation/the-relation-of-ftir-signature-of-natural-colorless-quartz-to-color-development-after-irradiation-an>> Acesso em: 10 jun. 2016

LA ROVERE, Renata Lèbre. Perspectivas das micro, pequenas e médias empresas no Brasil.

**Revista de Economia Contemporânea**, Rio de Janeiro, v. 5, p. 20–38, 2001.

LEHMANN, G.; MOORE, W.J. Color center in amethyst quartz. **Science**, v. 152, p. 1061–1062, 1966.

LEHMANN. G.; MOORE, W. J. Color center in amethyst quartz. **Science**, v. 152, p. 1061 – 1062, 1966b.

LEHMANN. G.; MOORE, W. J. Optical and paramagnetic properties of iron centers in quartz. **Journal of Chemical Physics**, v. 44, n. 5, 1966a

LIZ, O.S.R. **Técnicas para o Tratamento de Gemas**. Belo Horizonte: CETEC, 2008. Disponível em <[www.sbirt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MjI4](http://www.sbirt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MjI4) >. Acesso em: 21 de agosto de 2015.

LIABERIA, E.L.M. C.; **Design de joias: desafios contemporâneos**. 2009, 188 f. Dissertação (Mestrado em Design)–Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2009.

LOBACH, BERND (2001). **Design Industrial: Bases para a Configuração dos Produtos**. São Paulo: Ed Edgard Blucher, 2001.

MACHMEYER D.; LEHMANN G. A trapped-hole center causing rose coloration of natural quartz. **Zeitschrift für Kristallographie**, n. 163, p. 181–196, 1983.

MANZINI, E. **Design para a inovação social e sustentabilidade: comunidades criativas, organizações colaborativas e novas redes projetuais**. Rio de Janeiro: Epapers, 2008.

MILLIDGE, J. **GEMAS: Guia Prático**. São Paulo: Nobel, 1998.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA-MME. A mineração brasileira, **Relatório técnico 37: Perfil do quartzo**. 2009. Disponível em:

<[http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P27\\_RT37\\_Perfil\\_do\\_Quartzo.pdf/](http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P27_RT37_Perfil_do_Quartzo.pdf/)>



3ea3802c-8da9-4012-a246-c722d750de1f >. Acesso em 23 de fevereiro de 2016.

MIRANDA, M.R.; GONZAGA, R.S.G.; GUZZO, P.L.; BARRETO, S.B.; MELGAREJO, J.C.; Estudo da suscetibilidade ao escurecimento por radiação gama de quartzo róseo-leitoso da província pegmatítica da Borborema, **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, n. 2, p. 293–302, 2012.

MIRANDA, E.F.P. Current status of the Radiation Technology and Quality Control for Radiation Processing in Latin America. In: International Nuclear Atlantic Conference - INAC. 2013, Recife. **INIS collection search**. Viena: IAEA, 2011. Disponível em: <[http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/45/084/45084456.pdf](http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/45/084/45084456.pdf)> Acesso em: 31 de agosto de abril de 2015.

MISI, A.; SILVA, M. G. **Chapada Diamantina Oriental, Bahia**: geologia e depósitos minerais, Salvador, SGM, 1996.

MORAES, Dijon De. **Análise do design brasileiro: entre a mimese e mestiçagem**. São Paulo: Blucher, 2006.

MORAIS, E. **O design no setor joalheiro**. Info paper, ano I, set 2004- Disponível em: <[http://www.sp.senai.br/spdesign/infopapers/Info%20Setembro%20Ecio%202004\\_02.PDF](http://www.sp.senai.br/spdesign/infopapers/Info%20Setembro%20Ecio%202004_02.PDF)>. Acesso em: 14 de mar. de 2015.

NASSAU, K. The origins of color in minerals. **American Mineralogist**. Murray Hill, New Jersey. V. 63, p. 219-229, 1978.

NASSAU, K.; PRESCOTT, B. E. Growth- induced radiation- developed pleochroic anisotropy in smoky quartz. **American Mineralogist**. v. 63, p.230-238, 1978 (a)

NASSAU, K.; PRESCOTT, B. E. Smoky, blue, greenish-yellow and other irradiation-related colors in quartz. **Mineral. Mag.**, 41, 301-312, 1977.

NEUMANN. E.; SCHMETZER, K. Mechanism of thermal conversion of colour and colour centres by heattreatment of amethyst. **N.Jb.Minor.Mh**, v. 6, p.272–282, 1984.

NUNES, E. H. M. **Investigação da formação da cor no quartzo de São José da Safira - MG**. 2005, 178 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais) –Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG. Belo Horizonte, 2005.

NUNES, E.H.M. **Caracterização de Ametistas Naturais**. 2008, 239 f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) –Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG. Belo Horizonte, 2008.

NUNES, E.H.M; LAMEIRAS, F.S. The optical absorption of gamma irradiated and heat-treated natural quartz, **Material research**, v. 8, n. 3, p. 305–308, 2005.

NUNES, E.H.M; LAMEIRAS, F.S. Estimativa da dose do quartzo natural irradiado pela termoluminescência. **REM**, v. 57, n. 1, p. 19–22, 2004.

NUNES, E.H.M; MELO, V.; LAMEIRAS, F.S.; LIZ, O.; PINHEIRO, A.; MACHADO. G.; VASCONCELOS, W. Determination of the potential for extrinsic color development in natural colorless quartz, **American Mineralogist**, v. 94, p. 935–941, 2009.

NUTTALL, R.H.D.; WEIL, J.A. The magnetic properties of the oxygen-hole aluminum centers in crystalline SiO<sub>2</sub>. I. [AlO<sub>4</sub>]<sup>0</sup>. **Canadian Journal of Physics**, v. 59, p. 1696–1708, 1981.

OMNI, N.M. **Desenvolvimento de irradiadores gama dedicado ao beneficiamento de pedras preciosas**. 2006, 79 f. Tese (Doutorado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear)–IPEN, Universidade de São Paulo, USP. São Paulo, 2006.

OSGOOD, C. E.; SUCI, G.; TANNENBAUN, P. The measurement of meaning. Urbana, University of Illinois Press, 1967.

PEREIRA, R. C. **Ouro, Gemas e Joias: em busca de um entendimento**. Brasília: IBGM, 2001.

PINTO, L. C. B. de M.; RIGHI, A.; LAMEIRAS, S.L.; ARAUJO, G.S.A.; KRAMBROCK, K. Origin of the color in cobalt-doped quartz, **Phys Chem Minerals**, v. 38, p. 623–629, 2011.

QUARANTE, Danielle. **Diseño industrial: elementos introductores**. Enciclopedia del Diseño. Barcelona: CEAC, 1992.

ROCHA, S.C.S; ROCHA, P.R. **O Brasil da joia, design e arte**. São Paulo: Ed. Do autor, 2014.

ROSSMAN G.R. Colored varieties of the silica minerals, **Review in Mineralogy**, v. 29, p. 433–467, 1994.

SARDINHA, A. Indicações geográficas para o artesanato brasileiro. In: **A Casa**. mar.2015 Disponível em: < [http://www.acasa.org.br/biblioteca\\_texto.php?id=540](http://www.acasa.org.br/biblioteca_texto.php?id=540)>. Acesso em: 10 de abr. de 2015.

SCHMETZER, K.; Methods for the distinction of natural and synthetic citrine and prasiolite, **Journal of Gemmology**, v. 23, n. 5, p. 288–293, 1989.

SCHUMANN, W. **Gemas do mundo**. São Paulo: Disal, 2006.

SEBRAE- Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e pequenas Empresas. **Indústria de joias- lapidando a imagem da joia brasileira**, 2006. Disponível em: <[http://201.2.114.147/bds/BDS.nsf/AA0CDFB4C6BDF0B083257279004756C2/\\$File/NT00035016.pdf](http://201.2.114.147/bds/BDS.nsf/AA0CDFB4C6BDF0B083257279004756C2/$File/NT00035016.pdf)>. Acesso em: 09 de janeiro de 2015.

SEBRAE- Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e pequenas Empresas; INPI- Instituto Nacional de Propriedade Industrial. **Indicações geográficas brasileiras**. Brasília: SEBRAE, 2014.

SEBRAE- Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e pequenas Empresas. **Termo de referencia para atuação do sistema SEBRAE em Arranjos Produtivos Locais**. Brasília: SEBRAE, 2003.

SILVA, E. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: UFSC, 2005.

SOARES, Filho C.; **Rochas, minerais e pedras preciosas do Brasil**. Ed. São Paulo: CPA Consultoria de Projetos e Artes, 1990.

SOUZA, M.M. Invasão chinesa inflaciona mercado de pedras preciosas. **Valor econômico**, São Paulo, 20 de ago. 2012. Disponível em: <

<http://www.valor.com.br/cultura/2794666/joias-com-turmalina-de-minas-agora-so-se-vierem-da-china>>. Acesso em: 20 jan. 2015

TRINDADE, N. M.; SCALVI, R. M. F. **Análise das propriedades ópticas de ametistas tratadas termicamente**. In: 17º Congresso brasileiro de Engenharia e ciências dos Materiais, 2006, Foz do Iguaçu (PR).

TEIXEIRA, M.B.S. Design de joias em Minas Gerais. A construção de uma identidade. In: CASTAÑEDA, Cristiane; ADDAD, J. E; LICCARDO, Antonio. **Gemas de Minas gerais**. Belo Horizonte: Ed. SBG, 2001, cap. 10, p.261–280.

VAN KESTEREN, Ilse. **Selecting materials in product design**, 2008, 240 f. Tese (Doutorado) – Delft University of Technology, Delft, 2008

WELDON, R. An Introduction to gem treatments. In: **News & articles**. Disponível em< <http://www.gia.edu/gem-treatment>>. Acesso 06 de junho de 2015.

WHITE, M; HERLINGER, M; PERDIGÃO, D.M. **Teoria e prática da pesquisa aplicada**. Rio de Janeiro: Campus, 2012.

# APÊNDICES

**APÊNDICE 1: Termo de Consentimento livre e Esclarecido (TCLE)**

**APÊNDICE 2: Questionário perfil do participante**

**APÊNDICE 3: Questionários teste 1**

**APÊNDICE 3: Questionários teste 2**

**APÊNDICE 3: Questionários teste**

# TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu, **Andreia Salvan Pagnan**, vinculada ao Programa de Pós-graduação em Design da UEMG, apresento-lhe esse documento, em duas vias, com o objetivo de esclarecer todos os elementos da pesquisa intitulada **PESQUISA DE PERCEPÇÃO COM DESIGNERS DE JOIAS**. Possui como objetivo avaliar a percepção dos designers de joias quanto às mudanças de coloração nas gemas coloridas por irradiação e por tratamento térmico, analisando os atributos que conferem valor às mesmas. A coleta de dados inclui pesquisa com pessoas (designers de joias) por meio de perguntas que respondam à percepção dos mesmos quanto às alterações de cores nas gemas inicialmente incolores. Também serão realizadas perguntas que avaliem comparativamente amostras de gemas incolores ou violeta (ametistas) com amostras coloridas pelas técnicas já citadas.

Os dados obtidos serão confidenciais e de responsabilidade dos profissionais que trabalharão na pesquisa e serão utilizados apenas para esse fim. Os riscos são mínimos e referem-se, em grande parte, a algum constrangimento durante as entrevistas. O (a) participante receberá todos os esclarecimentos em qualquer fase da pesquisa. Quando os resultados forem publicados, os(as) participantes não serão identificados(as), a menos que em casos especiais onde você assinará termo específico. A participação é voluntária. Caso não seja sua vontade em participar do estudo, terá liberdade de recusar ou abandonar a pesquisa, em qualquer fase, sem qualquer prejuízo para o (a) mesmo(a).

Não haverá nenhum ônus para a sua participação e não estão previstas nenhuma forma de remuneração ou indenização, uma vez que os riscos são mínimos. O participante da pesquisa tem o direito de recusar-se a responder as perguntas que ocasionem constrangimentos de qualquer natureza. Sempre que necessário, o participante poderá se comunicar com os pesquisadores ou com o Comitê de Ética em Pesquisa da UEMG, por meio dos contatos listados abaixo.

Obrigado por sua contribuição.

Belo Horizonte, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2016

Nome do voluntário:

Identidade:

Endereço:

Data de nascimento:

Local de nascimento:

---

Assinatura do(a) Voluntário(a)

---

Assinatura do responsável – Andreia Salvan Pagnan  
Av. Presidente Antônio Carlos, 7545 – 8º andar – São Luiz – BH/ MG – Tel.: (31) 3439-6519

## PERFIL DO PARTICIPANTE

Nome: \_\_\_\_\_ e-mail: \_\_\_\_\_

## 1. Sexo

 Feminino  Masculino  Outro

## 2. Qual sua idade? (faixa etária)

- 18 a 30 anos
- 31 a 40 anos
- 41 a 50 anos
- 51 a 60 anos
- Mais de 60 anos

## 3. Grau de instrução

- Sem escolaridade
- 1º grau incompleto
- 1º grau completo
- 2º grau incompleto
- 2º grau completo
- Superior incompleto
- Superior completo
- Pós-graduação
- Outro

4. Qual a sua ocupação ou profissão? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

**TESTE 1: Intensidade da cor**

1- Qual seu conhecimento a respeito do beneficiamento por irradiação gama e tratamento térmico? Por favor, coloque as gemas em ordem de resultados do beneficiamento.

--	--	--	--

1                      2                      3                      4

2. De acordo com sua percepção de valor monetário associe as amostras de gemas aos preços abaixo.

--	--	--	--

\$                      \$\$                      \$\$\$                      \$\$\$\$

3. De acordo com a sua percepção de significado da cor nas gemas associe cada uma das amostras à imagem apresentada em anexo.

--	--	--	--

A                      B                      C                      D

4. Com base na sua percepção de valor associe cada uma das amostras das gemas a um dos perfis de público abaixo (painéis em anexo)

--	--	--	--



**Identificação do participante****TESTE 2**

Nome: \_\_\_\_\_

**TESTE 2: Perda da translucidez**

1. Em sua opinião as duas amostras podem ser encontradas na natureza?

Sim  Não

2. Uma das amostras é resultante de tratamento térmico. De acordo com a sua opinião qual delas?

3. De acordo com sua percepção de valor monetário associe as amostras de gemas aos preços abaixo.

\$      \$\$

2. Com base na sua percepção de valor agregado assinale o grau de importância dos atributos para cada uma das amostras de gemas

**Amostra 1:**

	+2	+1	0	+1	+2	
Simple						Sofisticado
Jovial						Sério
Delicado						Rústico
Noite						Dia
Clássico						Despojado
Discreto						Marcante
Puro						Impuro
Superior						Inferior
Valorizado						Desvalorizado
Frio						Quente

**Amostra 2:**

	+2	+1	0	+1	+2	
Simple						Sofisticado
Jovial						Sério
Delicado						Rústico
Noite						Dia
Clássico						Despojado
Discreto						Marcante
Puro						Impuro
Superior						Inferior
Valorizado						Desvalorizado
Frio						Quente



Nome: \_\_\_\_\_

**TESTE 3: Mudança de coloração**

1. De acordo com o seu conhecimento e percepção dê nomes às gemas. Exemplo (topázio, turmalina, etc...).

--	--	--	--	--

1

2

3

4

5

2- Se você souber que todas as amostras são ametistas resultantes de uma sequencia de tratamentos térmicos com diferentes temperaturas e duração de tempo de aquecimento em amostras de cor violeta translúcida clara como vista na amostra 1, quais amostras valorizaram ou desvalorizaram em relação ao seu estágio inicial?

--	--	--

Valorizou

Ametista Natural

Desvalorizou

3- Com base na sua percepção de valor agregado e nos aspectos simbólicos, na cor, transparência e translucidez, determine para qual público e qual peça você utilizaria cada pedra. Exemplo: Gênero (masc/ fem); Idade; Ocasão (dia/noite; casual/festa); Estilo (clássico, alternativo, moderno); Tipologia (peça: anel, colar, brinco...)

--	--	--	--	--

1

2

3

4

5