



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

Karen Rodrigues da Silva

**DESIGN E TECNOLOGIA: FABRICAÇÃO DE ANÉIS EM ÁGATA POR CORTE DE
JATO D'ÁGUA**

Porto Alegre

2013



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

Karen Rodrigues da Silva

**DESIGN E TECNOLOGIA: FABRICAÇÃO DE ANÉIS EM ÁGATA POR CORTE DE
JATO D'ÁGUA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para obtenção do grau de Mestre em Design.

Orientadora: Prof^a. Dra. Lauren da Cunha Duarte.

Co-orientador: Prof. Dr. Wilson Kindlein Junior.

Porto Alegre

2013

Silva, Karen Rodrigues da
Design e Tecnologia: Fabricação de Anéis em Ágata
por Corte de Jato D'água / Karen Rodrigues da
Silva. -- 2013.
90 f.

Orientadora: Lauren da Cunha Duarte.
Coorientador: Wilson Kindlein Junior.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de
Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2013.

1. Anel de Ágata. 2. Corte por Jato D'água. 3.
Design e Tecnologia. 4. Processos de Fabricação. I.
Duarte, Lauren da Cunha, orient. II. Junior, Wilson
Kindlein, coorient. III. Título.

Karen Rodrigues da Silva

Design e Tecnologia: Fabricação de Anéis em Ágata por Corte de Jato D'água

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Design, e aprovada em sua forma final, pelo programa de Pós-Graduação da UFRGS.

Porto Alegre, 08 de novembro de 2013.

Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira
Coordenador do Programa de Pós-graduação em Design da UFRGS.

Orientadora:

Prof^a. Dra. Lauren da Cunha Duarte – Orientadora
Programa de Pós-graduação em Design – PGDESIGN/UFRGS
Departamento de Materiais – DEMAT/UFRGS

Co-orientador:

Prof. Dr. Wilson Kindlein Júnior
Programa de Pós-graduação em Design – PGDESIGN/UFRGS
Departamento de Materiais – DEMAT/UFRGS

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Pedro Luiz Juchem
Programa de Pós-graduação em Design – PGDESIGN/UFRGS
Instituto de Geociências – PPGEU/UFRGS

Prof. Dr. Fábio Pinto da Silva
Programa de Pós-graduação em Design – PGDESIGN/UFRGS
Faculdade de Arquitetura

Prof. Dr. Juliano Tonezer da Silva
Instituto de Ciências Exatas e Geociências – ICEG/UPF

Resumo

O estado do Rio Grande do Sul detém grande parte da produção de ágata no Brasil, sendo que o Distrito Mineiro de Salto do Jacuí possui uma das maiores jazidas desse mineral. No processo de beneficiamento dos geodos de ágata, após realizada a seleção de qualidade, os melhores, são destinados ao comércio exterior, e os demais, vendidos aos comerciantes locais para a produção de adornos para casa e para uso pessoal. Entre estes, encontram-se os anéis, confeccionados artesanalmente por pequenas fábricas. Observou-se que esses anéis, adquiridos no comércio de Soledade, RS, e em uma empresa situada na cidade de Lajeado, RS, apresentam diferença entre as suas espessuras laterais. Por lateral entende-se a porção do anel que pode ficar entre os dedos. Essa diferença tende a causar desconforto ao usuário, conhecido por percepção cinestésica, tornando o anel ergonomicamente impróprio para uso diário. A análise do senso cinestésico é realizada pela interpretação do que ocorre com uma parte do corpo quando determinada tarefa é executada, percebendo as forças e tensões exercidas pelo músculo. A partir disso, o objetivo do trabalho foi propor e investigar uma nova forma de fabricação desses adornos, utilizando *softwares* adequados para modelagem do anel e do equipamento de corte por jato d'água, que poderão proporcionar precisão do corte dos anéis em ágata, além de acelerar o processo de fabricação. Como conclusão do presente estudo, é possível afirmar que há dificuldades em manter a espessura de parede dos anéis, mas, se forem controladas as condições de pressão (318 MPa a 333 MPa) e velocidade de corte do equipamento (10 mm/s), é possível obter espessuras compatíveis para o aro dos anéis.

Palavras-chave: anel de ágata, corte por jato d'água, design e tecnologia, processos de fabricação.

Abstract

The state of Rio Grande Do Sul produces most of the agate in Brazil. The Salto do Jacuí mining district has one of the largest deposits of this gemological material. In the processing of agate geodes, the best geodes are intended for foreign trade after the quality selection is performed. The others are sold to local traders for the manufacture of home decoration and personal use items. Rings are among these. They are handmade by local and small factories. We observed that these rings, purchased in stores in the city of Soledade (in the state of Rio Grande do Sul) and in a company located in the city of Lajeado (in the same state), have different side thicknesses. Sides are the part of the ring that may be between the fingers. This difference tends to make the person wearing the ring uncomfortable. It is known as kinaesthetic perception, making the ring ergonomically improper for daily use. The analysis of the kinaesthetic sense is carried out by interpreting what happens with a part of the body when a certain task is performed, perceiving the forces and tensions created by the muscle. Based on this, the objective of this paper was to propose and to investigate a new way to manufacture these adornments, using proper softwares to model the ring and the water jet cutting equipment, which will be able to provide precision of the cut of the agate rings, in addition to speeding up the manufacturing process. The present study concludes that it is possible to state that there are difficulties in keeping the thickness of the walls of the rings. However, if the equipment's pressure conditions (318 MPa to 333 MPa) and cutting speed (10 mm/s) are controlled, it is possible to get compatible thicknesses for the hoop of the rings.

Keywords: agate ring, water jet cutting, design and technology, manufacturing processes.

Agradecimentos

Aos meus pais, pela ajuda ao trilhar este caminho, aos meus amigos pela companhia e auxílio nos diversos momentos em passamos juntos durante a realização das disciplinas e o período de pesquisa.

A minha orientadora Lauren e co-orientador Wilson pelo auxílio no desenvolvimento deste estudo.

A funcionária do laboratório Lara, pela ajuda ao ensinar como trabalhar com os equipamentos e *softwares* utilizados para esta pesquisa e a aluna de graduação Laura, ao me auxiliar com os equipamentos de precisão laboratorial.

A equipe de alunos e professores do LdSM pelo apoio durante estes dois anos de estudo.

Ao meu amigo Gustavo Greve, pela ajuda junto ao fabricante de artefatos em ágata em Lajeado para que eu pudesse deixar os anéis para fazer o ensaio de polimento.

A minha amiga Lúcia Vidalles pelo companheirismo e auxílio durante este período de estudo pelo qual passamos juntas.

Ao Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM) e ao Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER) pelo uso dos equipamentos.

Ao Centro Tecnológico de Pedras Gemas e Joias de Soledade, por ter cedido o equipamento de corte por jato d'água para o corte das peças, assim como, os alunos bolsitas que trabalham no local.

Aos proprietários dos estabelecimentos comerciais, lojas Legep e Casa das Pedras, situadas na cidade de Soledade, pela disponibilização dos anéis e alianças para verificação de medidas.

Ao Sr. Nércio e Fábio André Martini, proprietários da fábrica de artefatos em Lajeado, pela disponibilização do equipamento para polimento dos anéis e alianças.

Ao PROAP/CAPES (Programa de apoio à pós-graduação e Coordenação de Aperfeiçoamento de pessoal de Nível Superior), que através do programa de Pós-graduação em *Design & Tecnologia* da Escola de Engenharia e Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, proporcionou recursos para realizar o trabalho de campo e a bolsa concedida para executar essa pesquisa.

“Simplicity is the best sophistication.”

Leonardo da Vinci

Sumário

Resumo	v
Abstract	vi
Lista de figuras	xii
Lista de tabelas	xv
Lista de quadros	xvi
Lista de siglas e abreviaturas	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Contextualização e Delimitação do tema.....	1
1.2 Problema.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo Geral</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	2
1.4 Hipóteses.....	3
1.5 Justificativa.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Adorno.....	4
2.1.1 <i>Adorno e o Século XXI</i>	5
2.1.2 <i>Panorama Econômico de Consumo de Materiais Naturais</i>	
2.2 Depósitos de Ágata.....	8
2.3 Variedades de Ágata.....	10
2.4 Beneficiamento dos Geodos de Ágata.....	11
2.5 Processo de Fabricação dos Anéis em Ágata.....	16
2.6 Ergonomia.....	18
2.7 Corte por jato D'água.....	20
2.8 Utilização do Equipamento de Corte por Jato D'água em Chapas de Ágata...	22
2.9 Modelagem do Anel utilizando o <i>Software Rhinoceros</i> [®]	25
3. MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1 Dados Antropométricas – INT.....	26

3.2 Equipamento de Corte por Jato D'água.....	28
3.3 Caracterização do Abrasivo de Corte.....	28
3.3.1 <i>Granulometria</i>	28
3.3.2 <i>Difração de Raios X</i>	29
3.3.3 <i>Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV e EDS</i>	29
3.4 Trabalho de Campo.....	30
3.4.1 <i>Anéis em Ágata: ferramenta utilizada para verificar medidas</i>	30
3.5 Modelagem do anel para ser cortado em equipamento de corte por jato d'água.	30
3.5.1 <i>Modelagem em Software Rhinoceros®</i>	30
3.5.2 <i>Redesenho do Anel em Software AutoCad®</i>	31
3.5.3 <i>Modelagem para Corte em Programa BobCad®</i>	32
3.6 Ensaio em Placa de Ágata.....	33
3.7 Digitalização Tridimensional e Análise de Superfície do Anel.....	34
3.7.1 <i>Gravação a Laser para Identificação Numérica dos Anéis</i>	35
4. RESULTADOS.....	37
4.1 Caracterização do Abrasivo de Corte.....	37
4.1.1 <i>Análise Granulométrica do Abrasivo de Corte</i>	37
4.1.2 <i>Difração de Raios X</i>	38
4.1.3 <i>MEV e EDS</i>	39
4.2 Dados Antropométricos para Largura dos Dedos e da Mão no Metacarpo.....	40
4.3 Avaliação da Espessura do Aro em Anéis Fabricados pelo Processo Artesanal.....	41
4.4 Corte dos Protótipos 1 e 2.....	45
4.5 Ensaio Realizados para Verificação de Medidas: Linhas de Corte e Espessura do Aro dos Anéis em Ágata.....	46
4.6 Corte dos Anéis em Ágata.....	49
4.7 Digitalização.....	54
4.7.1 <i>Sobreposição de Imagens Digitalizadas dos Anéis e Alianças após o Polimento</i>	55
4.8 Anéis em Ágata: modelos diferenciados.....	60
4.8.1 <i>Modelagem de Novos Anéis</i>	60
4.8.2 <i>Análise em Microscópio Estereoscópio</i>	63
4.8.3 <i>Digitalização dos Anéis e Sobreposição das Imagens</i>	64

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros.....	67
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

Lista de figuras

Figura 1: Peças de adorno de antigas civilizações.....	5
Figura 2: Peças de adorno produzidas no século XXI.....	6
Figura 3: Mapa geológico da região Sul do Brasil.....	8
Figura 4: Seção de mineralização do Distrito de Salto do Jacuí.....	9
Figura 5: Geodos de ágata e geodos preenchidos por ágata e ametista.....	10
Figura 6: Placas de ágata com e sem bandeamento.....	10
Figura 7: Variedades de ágata.....	11
Figura 8: Frente de lavra	12
Figura 9: Fluxograma de beneficiamento de ágata.....	13
Figura 10: Máquinas de corte de geodos de ágata.....	13
Figura 11: Processos de tingimento.....	15
Figura 12: Lixamento e polimento dos geodos de ágata.....	16
Figura 13: Processo de confecção artesanal dos anéis em ágata.....	17
Figura 14: Formas de manejo.....	19
Figura 15: Ferramenta de corte por jato d'água.....	21
Figura 16: Ensaio de corte em chapa de ágata.....	23
Figura 17: Ensaio de corte: formas complexas.....	23
Figura 18: Sobreposição de imagens para corte de módulos encaixáveis.....	24
Figura 19: Medidas antropométricas para os dedos das mãos.....	27
Figura 20: Medidas antropométricas para largura da mão no metacarpo.....	27
Figura 21: Equipamento de corte e armazenamento de abrasivo.....	28
Figura 22: Processo utilizado para realizar ensaio de Difração de raios X.....	29
Figura 23: Método utilizado para verificar medida dos anéis em ágata: Topo	30
Figura 24: Visualização do desenho do anel em <i>software</i> Rhinoceros®	31
Figura 25: Adequação do desenho em <i>software</i> Rhinoceros®	31
Figura 26: Redesenho do anel em <i>software</i> AutoCad®	32
Figura 27: Desenho do anel com indicação de entrada e saída do jato d'água.....	32
Figura 28: Desenho para corte em placas de ágata.....	33
Figura 29: Imagens do escaneamento dos anéis e alianças.....	35
Figura 30: Gravação a laser em anéis e alianças.....	36
Figura 31: Histograma de distribuição do abrasivo de corte.....	38
Figura 32: Difratoograma do abrasivo de corte.....	39
Figura 33: Imagens: MEV e EDS.....	40
Figura 34: Diferença de medidas para largura da mão no metacarpo e dos dedos	40

da mão masculina.....	
Figura 35: Gráfico com medidas de espessura de anéis em ágata.....	41
Figura 36: Gráfico comparativo de medidas para anéis em ágata (17 peças).....	42
Figura 37: Gráfico comparativo de medidas para anéis em ágata (15 peças).....	42
Figura 38: Gráfico comparativo de alianças com altura de chapa: 5 mm.....	43
Figura 39: Gráfico comparativo de alianças com altura de chapa: 7 mm.....	44
Figura 40: Gráfico comparativo de alianças com altura de chapa: 9 mm.....	44
Figura 41: Anéis em ágata: protótipo 1 e 2.....	46
Figura 42: Anel em ágata com projeção horizontal.....	46
Figura 43: Ensaio de velocidade de corte.....	47
Figura 44: Gráfico do resultado do ensaio de corte.....	48
Figura 45: Ensaio de velocidade de corte em chapas de ágata.....	48
Figura 46: Gráfico do resultado do ensaio realizado em chapas de ágata.....	49
Figura 47: Corte dos anéis em chapa de ágata.....	50
Figura 48: Máquina de corte da marca Lapidart®.....	50
Figura 49: Gráfico de medidas dos anéis e tempo de corte.....	51
Figura 50: Anel cortado em jato d'água, com medidas de aro e diâmetro.....	51
Figura 51: Gráfico de espessura dos anéis em ágata: Lado A.....	52
Figura 52: Gráfico de espessura dos anéis em ágata: Lado B.....	53
Figura 53: Gráfico de espessura das alianças em ágata: Lado A.....	53
Figura 54: Gráfico de espessura das alianças em ágata: Lado B.....	54
Figura 55: Digitalização do protótipo 2.....	54
Figura 56: Sobreposição de imagens, protótipo 2.....	55
Figura 57: Sobreposição dos arquivos digitalizados: anéis (Lado A).....	57
Figura 58: Sobreposição dos arquivos digitalizados: anéis (Lado B).....	58
Figura 59: Sobreposição dos arquivos digitalizados: alianças (Lado A).....	59
Figura 60: Sobreposição dos arquivos digitalizados: alianças (Lado B).....	60
Figura 61: Anéis e alianças em ágata após o processo de polimento.....	61
Figura 62: Desenho do anel em <i>software</i> AutoCad®.....	62
Figura 63: Desenho do anel com indicação de entrada e saída do jato d'água.....	62
Figura 64: Anéis renderizados em <i>software</i> Rhinoceros®.....	63
Figura 65: Desenho de novo modelo de anel com corte interno.....	63
Figura 66: Desenho de três novos modelos de anéis com indicação de entrada e saída do jato d'água.....	64
Figura 67: Sobreposição de imagens, anel modelo A.....	65
Figura 68: Sobreposição de imagens, anel modelo B.....	65

Figura 69: Sobreposição de imagens, anel modelo C.....	66
--	----

Fonte de referência das imagens

A fonte de referência das imagens está localizada na parte inferior de cada imagem, quando não descrita, deve-se considerar que a autoria das imagens deve-se a pesquisadora.

Lista de Tabelas

Tabela 1: Consumo em estado bruto de geodos, ágatas e calcedônias.....	7
Tabela 2: Distribuição setorial da quantidade consumida por substâncias: geodos, ágatas e calcedônia.....	7
Tabela 3: Caracterização de lentes utilizadas para digitalização.....	35
Tabela 4: Análise granulométrica.....	37

Lista de quadros

Quadro 1: Avaliação da espessura para os anéis: protótipo 1 e 2.....	45
--	----

Lista de siglas e abreviaturas

ABERGO	Associação Brasileira de Gemas & Metais Preciosos
AWJC	Abrasive Water Jet Cutting
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de pessoal de Nível Superior
CNC	Controle numérico computadorizado
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
EDS	Energy Dispersive X-Ray
HSM	High Speed Machining
IBGM	Instituto Brasileiro de Gemas & Metais Preciosos
INT	Instituto Nacional de Tecnologia
LACER	Laboratório de Materiais Cerâmicos
LdSM	Laboratório de Design e Seleção de Materiais
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
NURBS	Non Uniform rational Basis Splines
PEA	Operários da Indústria de Transformação
PROAP	Programa de apoio a pós-graduação
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SERPRO	Serviço Federal de Processamento de Dados
STL	Stereolithography
TELERJ	Empresa de Telecomunicações do Rio de Janeiro
UHP	Ultra-alta pressão de água
WJC	Water Jet Cutting
2D	Bidimensional
3D	Tridimensional

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e Delimitação do Tema

O estado do Rio Grande do Sul é o maior produtor mundial de ágata e ametista. Esses materiais gemológicos são encontrados e explorados em diversos municípios e, dentre os quais, destacam-se: Salto do Jacuí, São Borja, Quaraí, Livramento, Soledade, Erechim, Ametista do Sul, Lajeado e São Martinho da Serra. A maior área de exploração de ágata ocorre no Distrito Mineiro de Salto do Jacuí, que possui aproximadamente 250 km² de área (HEEMANN, 2005). A exploração ocorre dentro do distrito, ao longo das margens do rio Jacuí.

Normalmente, os geodos de ágata com melhor qualidade são vendidos ao comércio exterior e a produção restante é comercializada pelos produtores ao mercado interno para a fabricação de produtos relativamente simples como, por exemplo, porta-copo, cabo para talheres, anéis, peso para porta, móbile (quebravento), entre outros.

O objeto deste trabalho são os anéis em ágata. Por serem confeccionados de modo artesanal por muitas empresas e não apresentarem mudanças em sua forma de fabricação, a espessura do aro desses adornos não é proporcional.

O fato observado durante todo o processo foi o trabalho realizado sem medidas, sendo elas determinadas pelo operador do equipamento. O funcionário trabalha com a percepção visual e, a partir desta, define se as proporções do aro do anel estão próximas. Caso visualmente estejam, o funcionário dá por encerrada a etapa de corte.

Durante o processo de fabricação, ficou aparente a falta de um projeto para adequar as medidas das peças, pois a utilização dos anéis em ágata para uso contínuo se torna inviável para o usuário perante algumas ações que ocorrem diariamente, tais como cumprimentar alguém ou carregar uma sacola com algo pesado dentro. A espessura do aro do anel causa desconforto ao usuário durante a realização dessas ações, pois seus dedos são pressionados contra o anel. Essa é uma forma de percepção cinestésica, que relaciona o uso de um produto com a pressão exercida pelos músculos do corpo (GOMES FILHO, 2003).

O usuário não relaciona o desconforto à espessura do aro do anel, mas, sim, à utilização da peça como um todo. Esse é o motivo principal para a realização deste estudo: padronizar o método de fabricação dos anéis em ágata, utilizando o equipamento de corte por jato d'água e realizando a modelagem do anel em *software*

adequado ao equipamento CNC. Esse equipamento possui precisão de corte, realizando o processo em menor tempo do que o utilizado nos anéis fabricados artesanalmente.

O equipamento de corte por jato d'água está localizado no Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias, na cidade de Soledade. A Universidade de Passo Fundo, responsável pelo Centro Tecnológico, possui um protocolo de cooperação com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul para a realização de experimentos científicos.

1.2 Problema

Os anéis produzidos em ágata pelo processo artesanal possuem aro muito espesso e não proporcionais em ambos os lados, causando desconforto ao serem utilizados em algumas ações realizadas diariamente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Utilizar um novo processo para a fabricação de anéis em ágata, com equipamento de corte por jato d'água, projetando anéis com espessura de aro mais fina e proporcional em ambos os lados.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Pesquisar os parâmetros do equipamento de corte por jato d'água e adequá-los ao corte para anéis em ágata com espessura de chapa adequada;
- Desenvolvimento de anéis em ágata com características ergonômicas adequadas;
- Verificar a possibilidade de utilização dos processos de polimento ao novo modelo;
- Aferir o desgaste ocorrido após o processo de polimento.

1.4 Hipótese

A utilização do processo de corte por jato d'água permite a obtenção de anéis com paredes mais finas e proporcionais, os quais são ergonomicamente mais adequados.

1.5 Justificativa

O desenvolvimento do projeto com as proporções adequadas à morfologia das mãos e a praticidade da utilização de um equipamento com tecnologia desenvolvida para o corte pretendem agregar valor ao produto, podendo beneficiar os fabricantes, dispondo da tecnologia de corte por jato d'água para que seja feito melhor aproveitamento do material gemológico.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica tem início com uma descrição sobre o adorno, sua utilização por antigas civilizações e a relação desse item com o século XXI, incluindo o panorama econômico de consumo dos materiais naturais utilizados para fabricação das peças. É feita uma descrição dos depósitos de ágata, desde a extração até o destino final, as variedades de ágata e a forma de beneficiamento do produto. É, ainda, apresentada a influência da ergonomia no desenvolvimento de produtos e equipamentos.

São descritos o processo de fabricação dos anéis em ágata, o corte por jato d'água e sua aplicação no desenvolvimento de produtos. Por fim, aborda-se a modelagem do anel utilizando *software*.

2.1 Adorno

O adorno surgiu quando o mais antigo dos ancestrais humano se utilizou de conchas, sementes, dentes ou ossos de animais para enfeitar o corpo. Existia um significado simbólico de soberania perante os demais, pois aquele que o usava havia enfrentado um animal de grande porte (GOLA, 2008).

Com o passar dos séculos, a forma de fabricação do adorno mudou, sendo confeccionado, por vezes, com materiais nobres, dentre eles, o ouro. Algumas civilizações utilizavam esse metal alterando seu formato e transformando-o em objeto de uso pessoal ou decoração. Dentre elas, podemos citar as civilizações Cita, Egípcia, Mesopotâmica, Persa, Grega, Etrusca, Romana, Celta e Germânica (GOLA, 2008).

Na Figura 1, estão representados alguns exemplos de objetos de adorno utilizados pelas civilizações antigas.

Figura 1: Peças de adornos utilizadas pelas antigas civilizações.



(A) Cita (pente para cabelo), (B) Egípcia (anel com camafeu), (C) Mesopotâmica (adorno para cabelo), (D) Persa (anel com moeda do imperador da época), (E) Grega (bracelete), (F) Etrusca (brincos), (G) Romana (pulseira), (H) Celta (broche).

Fonte: elaborada pela autora, com base em Gola (2008).

O adorno, em alguns casos, pode ser comparado a uma peça de joalheria, não por seu valor em espécie, mas, sim, por seu valor intrínseco, pois são objetos de desejo e uso pessoal.

Segundo Gola (2008), a joia como adorno pessoal, vai estar sempre ligada aos desejos do homem e sua capacidade ou desejo de construir novas linguagens, como forma de identificação pessoal.

2.1.1 Adorno e o Século XXI

A evolução dos processos de fabricação de adornos mudou gradativamente com o passar dos anos, pois novas técnicas foram desenvolvidas para tornar a fabricação rápida e precisa. Peças de baixo valor começaram a ser produzidas para atender à demanda exigida pelo mercado. Os consumidores se tornaram exigentes, preocupando-se com a estética e a variedade de produtos oferecidos (IBGM, 2006).

O consumo de peças de menor valor econômico em relação ao mercado, mas com valores agregados (gemas brasileiras adicionadas às peças), são proporcionais à exuberância de uma joia. O comércio brasileiro tem ampliado sua venda para um segmento considerado há anos com pouco poder aquisitivo de compra, mas que nos dias atuais representa os maiores números em vendas no setor — a classe C. Esses consumidores demonstram ser bons compradores e pagadores (IBGM, 2010).

Com o crescimento das vendas, as pequenas fábricas têm se desenvolvido no setor tecnológico, proporcionando ao consumidor peças de melhor qualidade. Os adornos recebem tratamento de galvanoplastia para ficar com aspecto de uma joia de material nobre.

Na Figura 2, estão algumas peças confeccionadas com material de baixo valor, que receberam um “banho” de ouro 18k e uma gema ágata.

Figura 2: Adornos produzidos em ágata e metal banhados a ouro.



(A) brinco: gema ágata vermelha, (B) brinco: gema ágata céu, (C) brinco gema: ágata de fogo, (D) anel: gema ágata amarela, (E) anel: gema ágata branca, (F) anel: gema ágata verde, (G) pulseira com pérolas e ágata azul, (H) pulseira: gemas ágata verde, (I) pulseira gemas: ágata vermelha e quartzo fumê.

Fonte: Vika (2012).

Para muitos consumidores, a busca por um estilo próprio se destaca nos objetos de uso do cotidiano, representado por roupas, sapatos e joias estas não necessariamente possuindo valor agregado, mas podem contar a história da vida de uma pessoa (IBGM, 2006).

2.1.2 Panorama Econômico de Consumo de Materiais Naturais

O Instituto Brasileiro de Gemas & Metais Preciosos (IBGM) representa institucionalmente a Cadeia Produtiva de Gemas, Joias, Relógios e Bijuterias no Brasil. O IBGM realizou um levantamento de dados sobre o mercado consumidor de minerais no ano de 2009, publicado no Anuário Mineral Brasileiro 2010, no qual faz

menção ao mercado consumidor de geodos, ágata e calcedônia existentes no Brasil. Os dados coletados (Tabela 1) dizem respeito aos materiais gemológicos em bruto e beneficiado (IBGM, 2010).

Tabela 1: Consumo em estado bruto de geodos, ágata e calcedônia, dividido em setores de consumo e uso: extração e beneficiamento de minerais, construção civil, ornamentação, artesanato e bijuteria.

Mercado consumidor: Produtos brutos 2009.		
Classe/substância	Setores de consumo/uso	
Geodos, ágata, calcedônia, etc.	Extração e beneficiamento de minerais	95,49%
	Construção civil	2,25%
	Ornamentação	1,13%
	Artesanato	0,45%
	Bijuteria	0,21%
	Coleção de minerais	1,13%
	Adorno	0,23%

Fonte: elaborada pela autora, com base em Anuário Mineral Brasileiro 2010 (IBGM, 2010).

Ainda conforme dados fornecidos pelo IBGM (2010) (Tabela 2), o beneficiamento de geodos, ágata e calcedônia, obteve grande crescimento no ano de 2009 e, por consequência, os setores de consumo em ornamentação, adorno, coleção de minerais e bijuteria acompanharam esse desenvolvimento.

O relativo aumento do consumo de bijuterias nos últimos anos tem impulsionado o comércio de gemas naturais lapidadas, e a ágata é dos exemplos de aplicação nas peças desse setor/segmento (IBGM, 2010).

Tabela 2: Distribuição setorial da quantidade consumida por substâncias: geodos, ágata e calcedônia, divididos em setores de consumo e uso: artesanato, ornamentação, adorno, coleção de minerais, bijuteria.

Mercado consumidor: Produtos brutos 2009.		
Distribuição setorial da quantidade consumida por substâncias		
Classe/substância	Setores de consumo/uso	
Geodos, ágata, calcedônia, etc.	Artesanato	60%
	Ornamentação	15%
	Adorno	10%
	Coleção de minerais	10%
	Bijuteria	5%

Fonte: elaborada pela autora, com base em Anuário Mineral Brasileiro 2010 (IBGM, 2010).

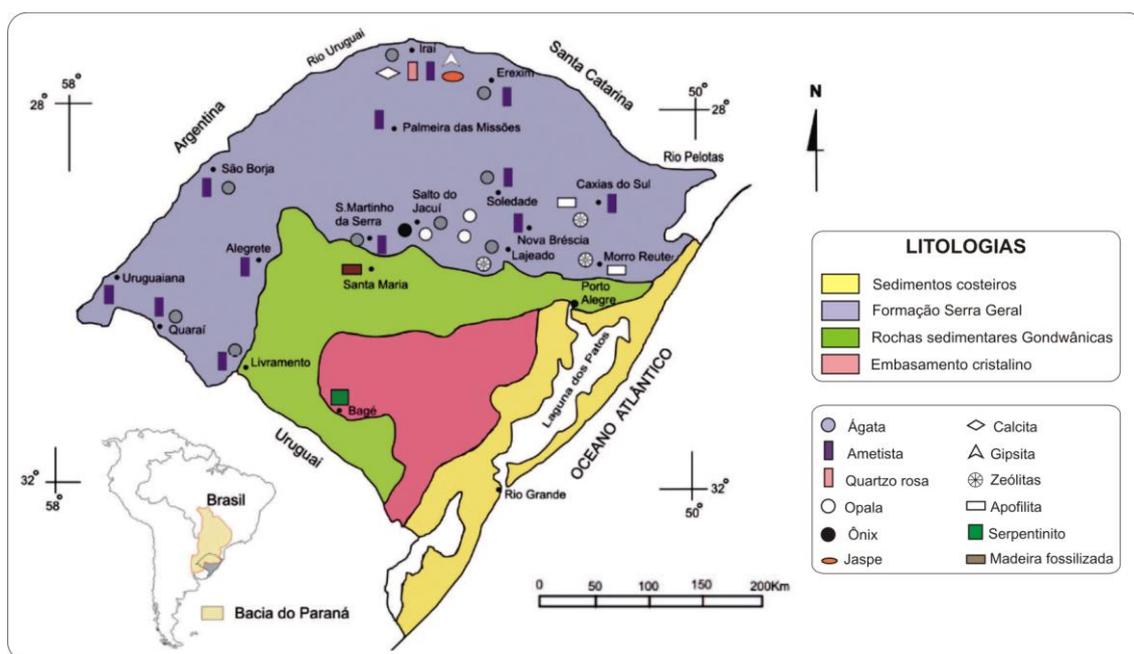
A destinação dada aos minerais-gema brasileiros tem sido em grande parte a exportação, obtendo aumento considerável a partir de 2005 devido à incorporação de bijuterias e folhados ao programa de estímulo às exportações (IBGM, 2010).

2.2 Depósitos de Água

O estado do Rio Grande do Sul é um dos principais estados produtores de minerais-gema e destaca-se pela exploração de minerais do grupo da sílica, entre eles: ametista, água, opala e calcedônia (SVISERO; FRANCO, 1991).

Os geodos de água são encontrados nos municípios de Salto do Jacuí, São Borja, Quaraí, Livramento, Soledade, Erechim, Ametista do Sul, Lajeado, São Martinho da Serra e Iraí (Figura 3).

Figura 3: Mapa geológico da região Sul do Brasil, indicando as cidades onde estão localizadas as jazidas de extração dos minerais.



Fonte: elaborada pela autora, com base em Juchem et al. (2007).

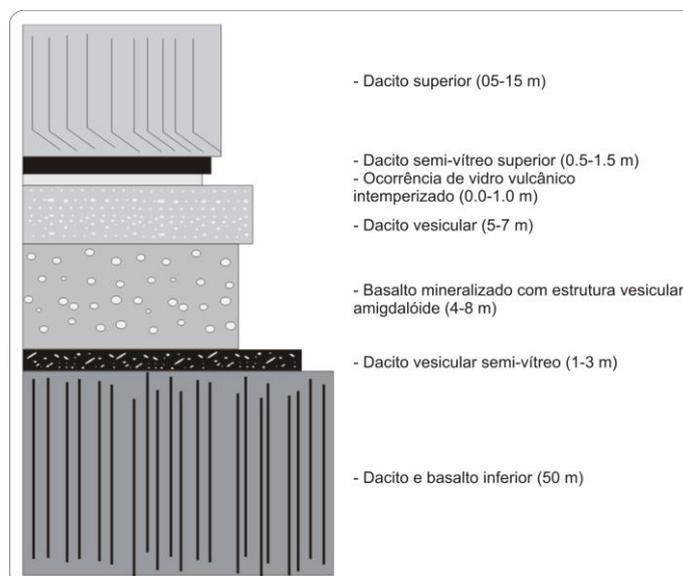
A exploração de água no Rio Grande do Sul data de 1820 e 1830, quando os primeiros imigrantes começaram a chegar ao estado, pois havia sido descoberta uma jazida de água na região de Salto do Jacuí. Esses imigrantes eram, na maioria, alemães, da região de Idar-Oberstein, que dominavam a arte de trabalhar com água desde o século XV (HEEMANN, 2005).

A principal região produtora de ágata está localizada no Distrito Mineiro de Salto do Jacuí. De acordo com Schmitt, Camatti e Barcellos (1991), os geodos de ágata de melhor qualidade são encontrados nessa região, preferencialmente às margens do rio Jacuí, nas proximidades desse município.

A exploração de ágata ocorre abaixo da usina Hidrelétrica Leonel de Moura Brizola. Nessa região, ocorre a ágata do tipo Umbu, uma das mais valorizadas comercialmente (HEEMANN, 2005).

Strieder e Heemann (2006) descrevem que os depósitos de ágata do Distrito Mineiro do Salto do Jacuí estão localizados entre 200 m e 260 m de altitude. Quanto à litologia, controle estratigráfico e estrutural, os depósitos mostram-se bem-definidos. Com base em dados petrográficos e estratigráficos da região de Salto do Jacuí, foram definidas sete unidades vulcânicas: dacito superior, dacito semi-vítreo superior, ocorrência de vidro vulcânico intemperizado, dacito vesicular, basalto mineralizado com estrutura vesicular amigdalóide, dacito vesicular semi-vítreo, dacito e basalto inferior (Figura 4).

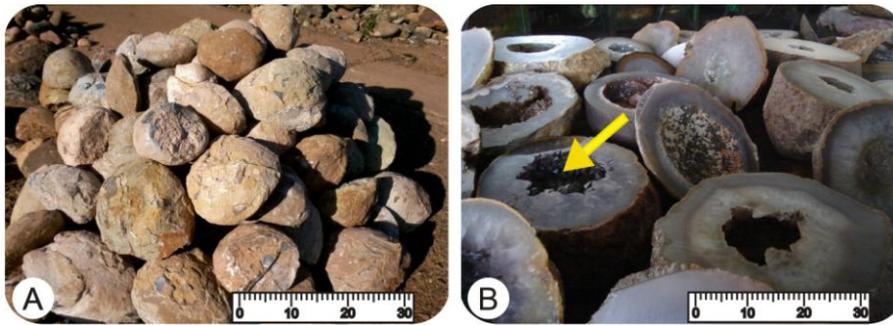
Figura 4: Seção de mineração do Distrito de Salto do Jacuí, mostrando a sequência vulcânica dos locais de mineração mais importantes.



Fonte: elaborada pela autora, com base em Strieder e Heemann (2006).

Geodos são cavidades arredondadas a ovóides (Figura 5A), que podem estar preenchidas por ágata e outros minerais (Figura 5B) (JUCHEM et. al., 2009). Possuem dimensões que variam de centímetros a um metro de comprimento (TUBINO, 1998) e o diâmetro dos geodos pode ter entre 10 cm e 15 cm, mas podem atingir até 90 cm (HEEMANN, 2005).

Figura 5: Geodos de ágata (amontoados) e geodos de ágata com ametista.



(A) Geodos de ágata; (B) Geodos preenchidos por ágata e ametista (seta na cor amarela). Escala da régua em centímetros.

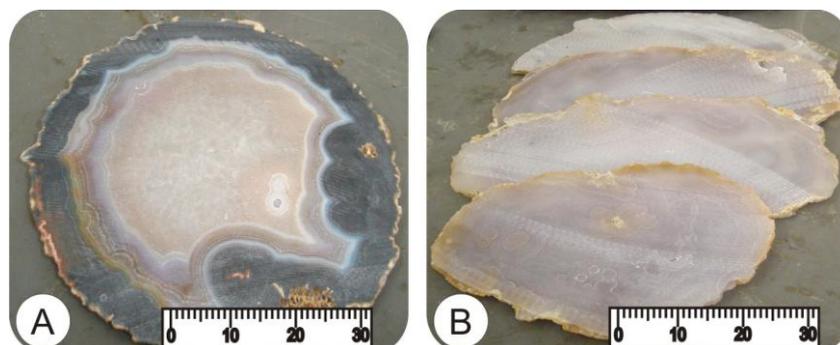
2.3 Variedades de Ágata

A ágata é uma variedade da calcedônia, pertencente ao grupo da sílica. A calcedônia é composta por cristais de quartzo que preenchem a cavidade do geodo com pequenos grãos de quartzo de microestrutura fibrosa (FRONDEL, 1962).

A ágata possui bandas dispostas em paralelo com as paredes da cavidade (FRONDEL, 1962). A descrição dada por Schumann (2006) para as bandas de diferentes cores existentes na ágata é de que elas se formam de maneira circular em relação ao centro do geodo. Tubino (1998) defende que esse formato agrega valor ao produto. A ocorrência de opala em placas de ágata (Figura 6A) possui coloração branca leitosa e, em alguns casos, a coloração pode ser modificada, sendo estas identificadas pelas cores: amarela, verde, azul, vermelha, negra ou incolor (DEER; HOWIE; ZUSSMAN, 1981).

A ágata possui por cor natural cinza (Figura 6B), com variações entre azul, castanho, amarelo, esbranquiçado e preto (TUBINO, 1998).

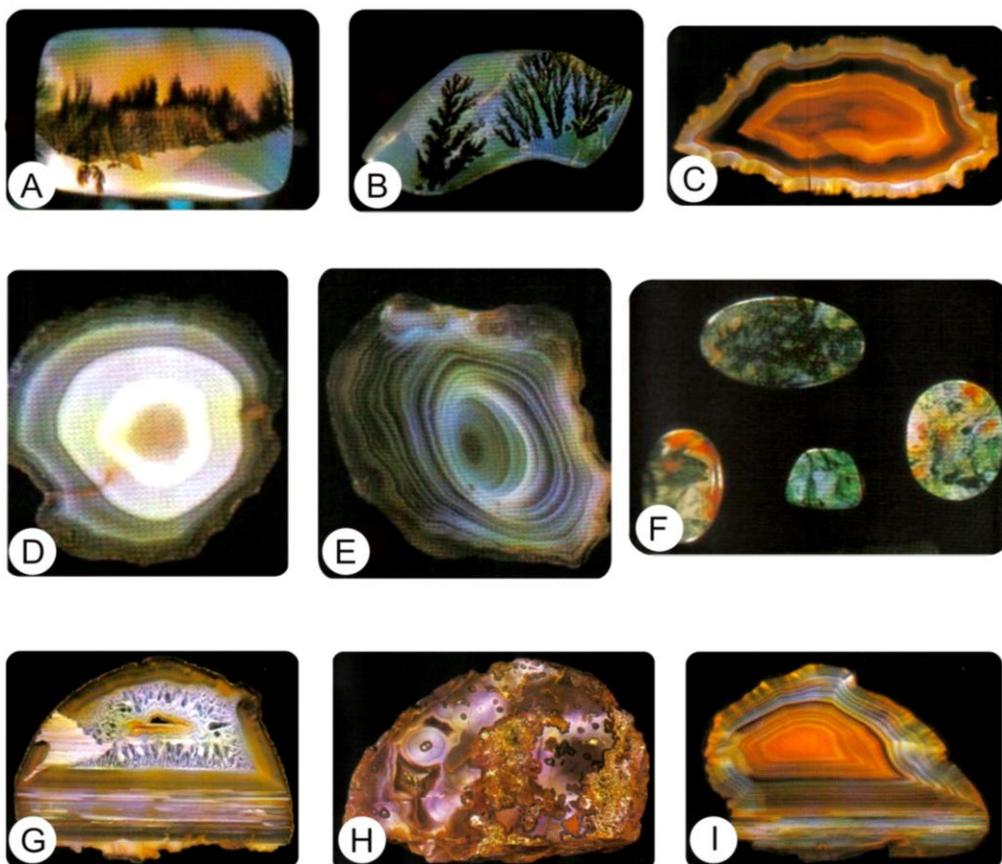
Figura 6: Placas de ágata.



(A) Placa de ágata com bandejamento e ocorrência de opala; (B) Placa de ágata sem bandejamento. Escala da régua em centímetros.

Conforme descrito por Schumann (2006), a ágata (Figura 7) pode ser conhecida por nomes diversos, respectivamente: (A) ágata paisagem, (B) ágata dendrítica, (C) ágata amuralhada, (D) ágata orbicular (E) ágata olho, (F) ágata musgosa, (G) sardo, ovo trovão ou pedra areia, (H) tubular, (I) ágata bandada ou listrada.

Figura 7: Variedades de ágata.



(A) ágata paisagem; (B) ágata dendrítica; (C) ágata amuralhada; (D) ágata orbicular; (E) ágata olho; (F) ágata musgosa; (G) sardo, ovo trovão ou pedra areia; (H) ágata tubular; (I) ágata bandada ou listrada.

Fonte: elaborada pela autora, com base em Schumann (2006).

2.4 Beneficiamento dos Geodos de Ágata

A obtenção dos geodos de ágata tem início utilizando-se de máquinas para fazer a retirada de grandes quantidades de terra. Em sequência, os geodos são retirados e separados pelos operários e, quando não mais possível a utilização do equipamento, a retirada dos geodos é realizada manualmente, com auxílio de pás e picaretas (SCHMITT; CAMATTI; BARCELLOS, 1991).

Em visita à cidade de Salto do Jacuí, foi possível observar a extração dos geodos de ágata. A jazida (Figura 8A), atualmente, possui profundidade de 20 m. A imagem (Figura 8B) foi ampliada para que fosse possível a visualização dos funcionários e das máquinas.

Figura 8: Frente de lavra.



(A) Frente de extração de ágata; (B) Imagem ampliada do fundo da jazida.

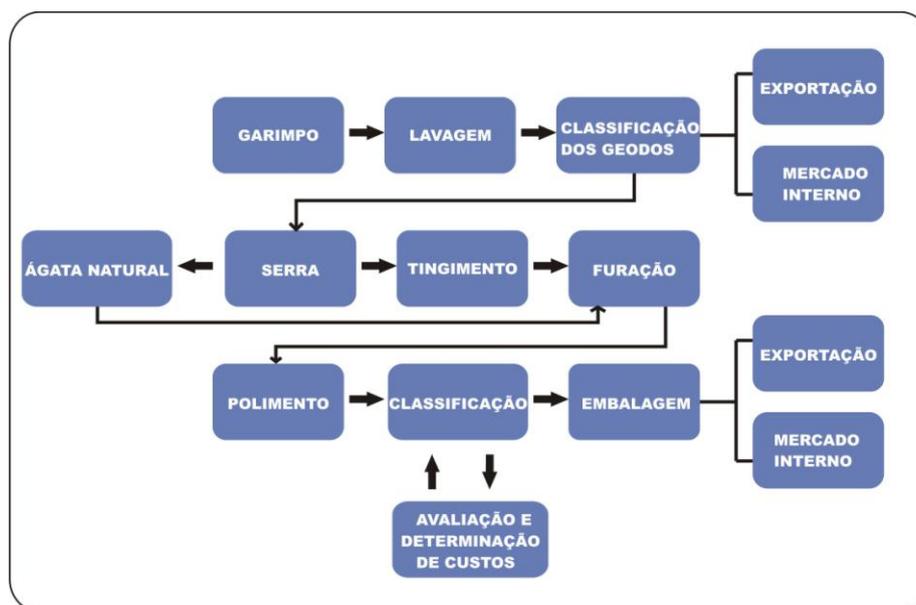
Em continuidade ao processo, os geodos são separados de acordo com a qualidade da ágata, lavados e novamente classificados. Nessa etapa, os geodos são separados para venda aos mercados externo e interno. Durante o processo de corte dos geodos em chapas de ágata, as sobras do material são separadas para produção ao comércio interno.

A etapa seguinte é o tingimento das chapas de ágata, através dos métodos orgânico e inorgânico.

A furação das chapas somente é realizada quando o produto a ser confeccionado necessitar desse procedimento. Em seguida, são realizados o polimento e nova classificação das chapas de ágata (controle de qualidade), além da avaliação dos custos finais para a venda das chapas para os comércios externo ou interno.

O fluxograma (Figura 9) auxilia na visualização dos processos de beneficiamento do geodo de ágata.

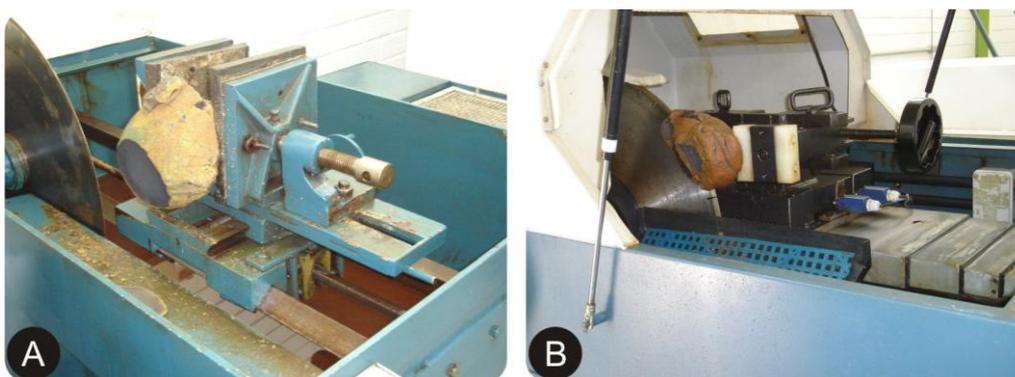
Figura 9: Fluxograma de beneficiamento da ágata.



Fonte: elaborada pela autora, com base em Schmitt, Camatti e Barcelos (1991).

A espessura da chapa de ágata depende do produto a ser fabricado. O equipamento (Figura 10A) realiza o corte dos geodos de ágata utilizando serra diamantada. Por não possuir proteção superior, permite que os respingos de óleo utilizados no equipamento se espalhem com facilidade, deixando o ambiente insalubre com o passar dos anos caso não haja limpeza adequada no local onde está localizado o equipamento.

Figura 10: Máquinas de corte.



(A) Máquina de corte com gradação da espessura, sem proteção superior; (B) Máquina de corte, com proteção superior.

Fonte: elaborada pela autora, com base em SENAI-RS.

O equipamento de corte (Figura 10B) é um protótipo desenvolvido pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), possui proteção superior e o

posicionamento para o corte do geodo é diferenciado. O geodo de ágata é posicionado ao lado de uma barra confeccionada em fibra polimérica de alta resistência e, para realizar o corte, o funcionário gira a manivela em 360° — essa rotação significa 1 mm de espessura para o corte da chapa de ágata. Após essa etapa, o material passa por uma nova lavagem com detergente industrial a fim de retirar os resquícios de óleo das chapas; estas, por sua vez, são enxaguadas em água corrente e postas ao sol para secagem (COSTENARO, 2005).

O tingimento da ágata, conforme o contexto histórico teve início no século XIX, em Idar-Oberstein (Alemanha), onde se encontravam as mais importantes jazidas de ágata, atualmente esgotadas. As ágatas possuíam tons vermelho, róseo e acastanhado, divididas por faixas de cor cinzento-luminosa (SCHUMANN, 2006).

Silva (2006) relata a observação realizada por garimpeiros alemães nas jazidas, em 1913, sobre a coloração das ágatas. As ágatas, encontradas presas ao solo, mas com uma das partes exposta à luz solar, possuía cor vermelha, parecida com cornalina ou sárdio, enquanto que a parte que não estava exposta à luz permanecia incolor. Essa observação deu início ao processo de tratamento térmico das chapas de ágata incolor para que as mesmas ficassem com a cor vermelha.

Para o tingimento, um dos problemas encontrados partiu do reconhecimento das características físicas, químicas e tecnológicas específicas da ágata, sendo descritos por: caracterização da sua porosidade, os tipos de estruturas microcristalinas das bandas, o efeito da utilização de óleo no processo de corte das pedras e a temperatura de queima (TUBINO, 1998).

A ágata de coloração azul é uma variedade de calcedônia, possui porosidade que permite o tingimento uniforme da chapa. Conhecida por ágata Umbu, ocorre somente na região de Salto do Jacuí (FRONDEL, 1962; HEEMANN, 2005).

Em relação ao tingimento de ágatas, as empresas puderam observar que com a aplicação de corante orgânico em chapas de ágata, com o passar do tempo e a exposição à luz, a coloração desaparecia gradativamente. O mesmo não acontecia com o tingimento inorgânico, pois a coloração permanecia por mais tempo.

De acordo com Silva, Petter e Schneider (2007), a coloração segue dois padrões, conforme Figura 11.

Figura 11: Processos de tingimento.

Tingimento orgânico	Tingimento inorgânico
Verde	Verde
Solução aquosa de ácido crômico e cloreto de amônia. Após, procede-se a queima em temperatura de 150° a 300°C.	Solução alcoólica do corante Verde Brilhante.
Vermelha	Vermelha
Solução aquosa de ácido nítrico, perclorato de ferro e sucata de ferro. Após procede-se à queima em temperatura de 150° a 240°C.	Solução alcoólica de uma mistura dos corantes Rodamina B (produto orgânico em forma de cristais esverdeados ou pó vermelho-violeta) e Laranja Básico.
Azul	Rosa
Solução aquosa, contendo ferrocianeto de potássio. Posteriormente, coloca-se em um banho de ácido sulfúrico comercial fervente. O ácido sulfúrico comercial, fórmula química H ₂ SO ₄ , contém impurezas e cor escura.	Solução alcoólica do corante Rodamina B.
Preto	Roxo
Imersão das ágatas em uma calda aquecida de açúcar. Após coloca-se em um banho de ácido sulfúrico comercial fervente. Depois as peças são levadas à mufla para queima em temperatura entre 150° a 200°C.	Solução alcoólica do corante Cristal Violeta.

Fonte: elaborada pela autora, com base em Silva, Petter e Schneider (2007).

O processo seguinte ao tingimento é o polimento, onde as chapas de ágata são colocadas sobre a superfície de uma lixadeira (Figura 12A). Posteriormente, é adicionado carbeto de silício na superfície da lixa (para que a superfície em contato com a lixa obtenha melhor acabamento). Esse processo pode ser feito a seco ou com gotas de água dispostas por mangueira para não haver aquecimento das chapas de ágata (TUBINO, 1998).

Posteriormente, o polimento final é realizado utilizando-se um disco de feltro de algodão (processo utilizado somente em algumas chapas), segurando as chapas por alguns minutos para garantir o brilho (COSTENARO, 2005). Para o polimento de chapas de menor valor agregado, são utilizadas lixas de granulometria baixa (Figura 12B).

Figura 12: Lixamento e polimento.



(A) Lixamento da ágata; (B) Polimento de ágata em uma empresa de Soledade/RS.
Fonte: Ipar, 2011.

2.5 Processo de Fabricação dos Anéis em Ágata

Em visita à empresa de produtos em ágata, situada na cidade de Lajeado, foi possível acompanhar o processo de fabricação dos anéis. A empresa fabrica os anéis em ágata através de processo artesanal, com a utilização de equipamentos antigos, sendo que o equipamento de polimento dos anéis foi fabricado pelo proprietário da empresa.

O processo tem início com o corte do geodo em chapas, utilizando o equipamento de corte com serra diamantada (Figura 13A). O passo seguinte se faz com a utilização da fresa copo (Figura 13B), para realizar o furo central na chapa de ágata, resultando no diâmetro interno do anel. Após o corte do furo, o funcionário utiliza o equipamento, que possui serra diamantada, para dar o formato inicial da peça (Figura 13C). A Figura 13D apresenta os anéis sem acabamento, com formato irregular.

O processo seguinte ao formato quadrado do anel é o acabamento, realizado manualmente pelo funcionário. O anel é posicionado na borda da serra diamantada para que seja realizado o arredondamento dos cantos (Figura 13E). Não existe nenhuma forma-padrão de modelos para os anéis. Caso exista alguma falha, o funcionário se utiliza de criatividade para desenvolver um novo formato de anel (Figura 13F).

A próxima etapa é o polimento dos adornos. Os anéis são colocados em um tambor, construído a partir da utilização de borracha e madeira, que possui motor adaptado ao eixo para que o mesmo faça uma volta completa de 360° (Figura 13G). O

acabamento inicial é realizado para retirar as pontas finas dos adornos, provocando o arredondamento das bordas. Para realizar o primeiro acabamento, os anéis são colocados dentro do equipamento, com uma mistura de água e óxido de alumínio de 120 mesh, permanecendo em agitação dentro do recipiente pelo período de 3 dias a 5 dias. Para dar brilho aos adornos, o fabricante utiliza pó mil, misturado com água, e o tempo de execução do processo é de 24 horas. Posteriormente, os anéis (Figura 13H) são lavados em água corrente e secos em temperatura ambiente.

Figura 13: Processo de confecção artesanal do anel em ágata.



(A) Equipamento de corte para chapas de ágata; (B) Fresa copo; (C) Corte do anel; (D) Anéis sem acabamento; (E) Acabamento do anel em serra diamantada; (F) Anéis com formatos diversos; (G) Máquina de polimento; (H) em detalhe os anéis. Escala da régua em milímetros.

2.6 Ergonomia

Palavra de origem grega, *ergon* (trabalho), *nomos* (regras, normas), aplica-se a todas as atividades passíveis de serem realizadas pelo ser humano (ABERGO, 2000).

Os estudos em ergonomia, iniciados durante a Segunda Guerra Mundial, relacionavam-se à operação de equipamentos militares. Laville (1977) relata que os equipamentos eram pouco práticos para utilização, sendo, por vezes, pesados, exigindo força e agilidade dos soldados para utilização desses equipamentos.

Outro fator decorrente da aplicação do estudo em ergonomia foi a crescente industrialização causada pela Revolução Industrial. As fábricas possuíam ambiente insalubre, com barulho excessivo causado pelos equipamentos que, por sua vez, ofereciam outro fator de risco aos operários, pois não possuíam sistemas de segurança caso algo acontecesse durante o processo de fabricação (IIDA, 2005).

Os objetivos da ergonomia visam à diminuição dos efeitos negativos causados por equipamentos, postos de trabalho e objetos malprojetados, proporcionando saúde, segurança e satisfação aos usuários (IIDA, 2005).

No início da década de 1950, foi fundada a primeira associação científica de ergonomia na Inglaterra, intitulada *Ergonomics Research Society*. Em 1957, foi fundada nos Estados Unidos a *Human Factors Society* e no ano de 1958 surgiu, na Alemanha, a terceira associação. No Brasil, em 1983, foi fundada a Associação Brasileira de Ergonomia (ABERGO) (IIDA, 2005).

A ABERGO define ergonomia como disciplina científica, que associa pessoas e sistemas. Utiliza teorias, dados e métodos para desenvolver projetos, através da avaliação de postos de trabalho, produtos, ambientes e sistemas, com o objetivo de proporcionar segurança, conforto e bem-estar nas diversas tarefas executadas pelos usuários (ABERGO, 2000).

Ao longo dos anos, com a evolução do conceito ergonômico sendo aplicado em diversas áreas, incluindo a joalheria, realizou-se também o estudo das percepções tátil e cinestésica sobre os produtos existentes no mercado, proporcionando ao usuário agilidade nas diversas tarefas do cotidiano, como o uso de equipamentos domésticos. A utilização desses produtos está relacionada às ações de manejo, forma específica de controle, onde os dedos e a palma da mão aplicam sua força para realizar uma determinada tarefa (IIDA, 2005).

Gomes Filho (2003) descreve as ações de controle e manejo de objetos. Para isso, o usuário recorre às suas habilidades, sendo que alguns conseguem realizar com facilidade, outros com certa dificuldade. Nesse contexto, a ergonomia se faz presente para estudar determinadas ações e modificá-las para conforto do usuário. As ações de

controle e manejo podem ser avaliadas de duas formas: manejo fino e manejo grosseiro.

O manejo fino se refere às ações executadas com as pontas dos dedos — como segurar um lápis, colocar a tarracha de um brinco —, movimentos estes conhecidos por exigirem precisão em sua realização. Para que exista o manejo grosseiro, a ação deve ser realizada com o centro da mão, onde os dedos possuem a função de prender o objeto, exigindo maior esforço do usuário, como o ato de serrar, martelar, carregar uma sacola (IIDA, 2005).

O ato de prender um objeto pode estar relacionado ao uso dos anéis, pois sua utilização se faz ao colocar o anel em um ou mais dedos da mão, o que pode acarretar dificuldades quando o usuário tiver a necessidade de carregar algo pesado — um exemplo a ser citado: segurar uma sacola (com algo dentro). A pressão exercida pelo peso faz com que os dedos fiquem muito próximos (apertados): nesse momento, o usuário sente desconforto imediato, causado tanto pelo peso carregado quanto pela pressão exercida pelo aro dos anéis. A Figura 14 ilustra a posição da mão quanto às ações descritas anteriormente.

Figura14: Manejos fino e grosseiro.



Fonte: elaborada pela autora, com base em Iida (2005).

Os anéis atualmente fabricados em Lajeado e Soledade possuem a espessura do aro desproporcional, causando desconforto ao usuário e, dessa forma, faz-se pertinente sua colocação no segundo tipo de manejo, chamado de manejo grosseiro.

Quanto às percepções, Gomes Filho (2003) relata as principais: visual, auditiva, tátil, cinestésica e vibração. Para este estudo, foi utilizada a percepção cinestésica para a utilização dos anéis nos dedos das mãos.

Conforme Gomes Filho (2003), a percepção cinestésica permite ao sistema nervoso central a compreensão da contração muscular em uma parte do corpo, sendo

importante para a Ergonomia, pois, através da realização de um trabalho prático ou utilização de um objeto, faz-se possível a interpretação do que ocorre com a parte do corpo que foi utilizada na tarefa.

Nouchi e Echternacht (2003) descrevem que para o desenvolvimento de um adorno é necessário um projeto que possa prever os movimentos que serão executados pelo usuário para que ele se sinta confortável ao utilizá-lo. As formas devem ser coerentes com o posicionamento da peça em relação ao corpo do usuário.

No que diz respeito à qualidade ergonômica, Lida (2005) faz referência à facilidade de manuseio e adaptação antropométrica em relação à estética dos produtos, à combinação de cores, formas, materiais, texturas e acabamentos, para que o mesmo possa atrair consumidores e fazer com que seja desejado por ele.

2.7 Corte por Jato D'água

O equipamento de corte por jato d'água foi desenvolvido pelo Dr. Norman Franz, engenheiro florestal, que foi a primeira pessoa a estudar a ultra-alta pressão de água (UPH) como ferramenta de corte para cortar toras de madeira¹.

O corte por jato d'água foi escolhido como uma nova forma de cortar anéis em ágata, pela rapidez do processo, pela qualidade do corte, pelo acabamento e, conseqüentemente, pela possibilidade de padronização das medidas, pois o corte das peças é realizado a partir de um desenho modelado em *software* adequado e seu arquivo é repassado ao *software* do equipamento que realizará o processo de corte da peça.

O equipamento de corte por jato d'água (WJC, do inglês *Water Jet Cutting*) consiste em um processo mecânico, programado através dos *softwares Computer-Aided Design (CAD)* e *Computer-Aided Manufacturing (CAM)*, utilizado para o seccionamento de materiais. A tecnologia Controle Numérico Computadorizado (CNC) do equipamento favorece a execução do projeto e o sistema "homem-máquina" permite a interação do funcionário com o equipamento, visando ao melhor resultado (IIDA, 2005).

Para a realização do corte, o processo utiliza fluxos de alta velocidade de água (WJC), ou da combinação desta com abrasivos — *Abrasive Water Jet Cutting (AWJC)* —: alumina, quartzo e granada. Esses processos também são denominados de usinagens hidrodinâmicas (GROOVER, 1996). Barp (2009) descreve o corte por jato

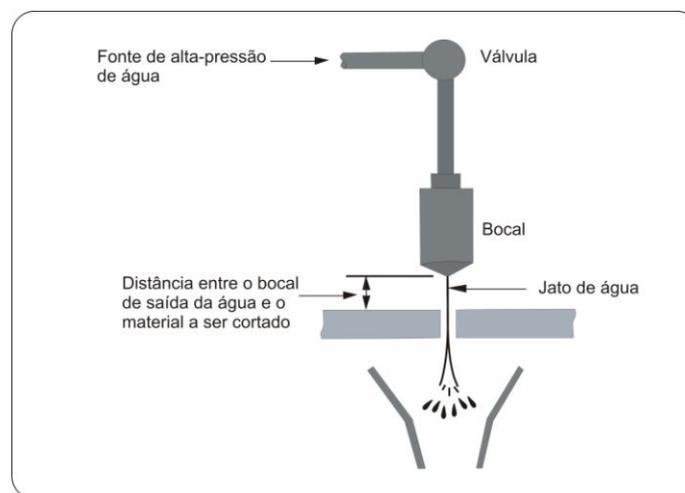
¹ Engineer's Handbook (2012).

d'água como um processo que se utiliza da energia mecânica para realizar o corte de um material através de um fino jato de água, com alta pressão sobre a superfície do material.

As pressões exercidas para obtenção do fluxo de água necessário ao corte são de até 400 MPa. A velocidade que o jato de água pode atingir é de 900 m/s. Para realização do corte, o fluido é pressurizado por uma bomba hidráulica até atingir o nível desejado. O bocal de saída é confeccionado em aço inoxidável, com a ponta em safira, rubi ou diamante (GROOVER, 2010). Safira e rubi são variedades de coríndon e são equivalentes na escala de Mohs, com dureza 9, inferiores ao diamante que possui dureza 10 (SCHUMANN, 2006). Groover (2010) relata que, em virtude do preço, o diamante é o menos utilizado na fabricação do bocal de saída do fluxo de água do equipamento de corte por jato d'água.

De acordo com Groover (2010), a distância fixada de 3,2 mm entre o bocal de saída do fluxo de água e a peça a ser cortada (Figura 15) foi estipulada como um parâmetro para diminuir a pressão do fluxo de saída do jato de água e abrasivos, antes de iniciar o corte do material. Essa observação foi realizada para o corte de materiais com espessura fina; sendo assim, quanto menor o fluxo de saída de água e abrasivos, mais preciso será o corte do material.

Figura 15: Desenho explicativo sobre equipamento de corte por jato d'água.



Fonte: elaborada pela autora, com base em Groover (2010).

O corte por jato d'água é considerado um processo rápido que não interfere na estrutura dos materiais. Trata-se de corte a frio, possuindo a vantagem de não aquecer as bordas dos materiais, não causando trincas superficiais e deformações (GROOVER, 2010). No entanto, Silveira (2011) afirma que a utilização incorreta do equipamento em chapas de ágata pode ocasionar falhas e trincas.

Barp (2009) descreve que o equipamento utiliza jatos de água e abrasivos para corte de chapas de ágata, no entanto, deve-se observar a abertura do bocal de saída do fluxo de água. Esse bocal deve possuir diâmetro mínimo de 0,25 mm e máximo de 0,63 mm; caso o diâmetro do bocal seja superior, o desenho da peça fica prejudicado devido ao espalhamento do jato de água e abrasivos no final do corte da chapa.

Em relação ao descarte dos materiais, o equipamento possui um tanque de água com esferas de aço ou britas para amortecer o impacto causado pelo jato. A água, por sua vez, fica armazenada em unidades coletoras móveis, podendo ser descartada normalmente em locais ligados à rede de esgoto, pois o processo não produz efluentes tóxicos.

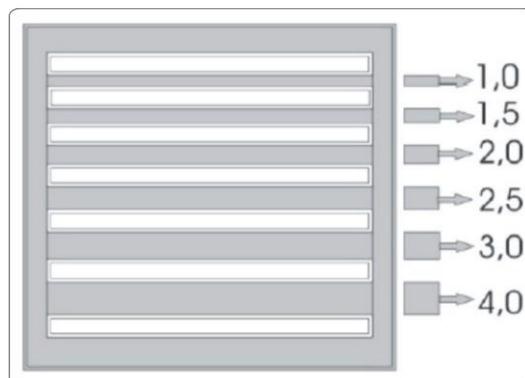
2.8 Utilização do Equipamento de Corte por Jato D'água em Chapas de Ágata

Nas dissertações de Barp (2009) e Silveira (2011), o corte de ágata por equipamento de corte por jato d'água foi estudado de duas maneiras: o corte de formas complexas em chapas de ágata e a construção de um módulo encaixável.

Para o corte de formas complexas em chapas de ágata, a pesquisadora realizou o corte em equipamento que utiliza jatos de água e abrasivos para o corte das peças, tendo por objetivo atingir a menor espessura de linha para a confecção da peça — dessa forma, o produto final não ficaria com peso elevado, o que poderia causar desconforto ao usuário final. Os ensaios foram realizados com chapas de ágata de espessura 2,5 mm a 5,0 mm, sendo a diferença entre as chapas de 0,5 mm. Os desenhos utilizados para os ensaios possuíam formas geométricas simples, alternando para formas de complexidade média e, por fim, alta complexidade.

Na primeira parte dos ensaios, a pesquisadora utilizou o formato retangular (Figura 16), com espessuras de linhas de 1,0 mm, 1,5 mm, 2,0 mm, 2,5 mm, 3,0 mm e 4,0 mm.

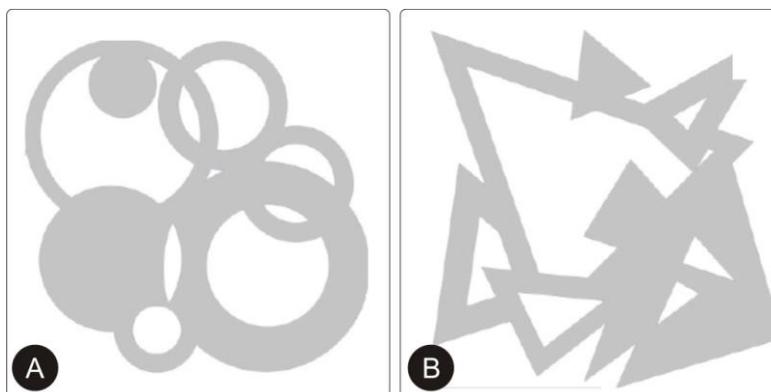
Figura 16: Forma retangular utilizada, linhas de espessura: 1,0 mm, 1,5 mm, 2,0 mm, 2,5 mm, 3,0 mm e 4,0 mm.



Fonte: elaborada pela autora, com base em Barp (2009).

O segundo ensaio realizado continha formas vazadas sobrepostas, com formato oval, circular, gota e losango, sendo a espessura de linha de 2,0 mm. Para o terceiro ensaio, utilizou formas circulares sobrepostas (Figura 17A), de forma altamente complexa: houve modificações na espessura dos círculos visando aferir se a medida projetada seria a mesma ao final do corte. O mesmo processo foi utilizado para a forma triangular (Figura 17B), igualmente sobrepostos.

Figura 17: Formas complexas com diferentes espessuras.



(A) Forma circular; (B) Forma triangular.

Fonte: elaborada pela autora, com base em Barp (2009).

Mais dois ensaios foram realizados, no entanto, não houve variação de espessura de linha, sendo adotado o valor de 2 mm para os desenhos seguintes. No total, foram realizados 23 ensaios, com chapas de ágata de espessuras diferentes, alternando as formas utilizadas de simples a complexas.

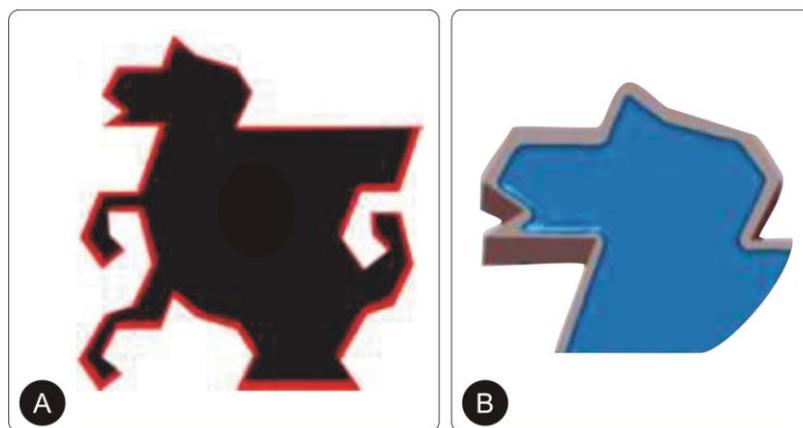
A dissertação de Silveira (2011) abrangeu o tema de construção de módulos encaixáveis, sendo esses módulos confeccionados a partir dos rejeitos de ágata e madeira (cedro).

Para o corte da ágata, a pesquisadora utilizou o equipamento de corte por jato d'água, localizado no Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias, na cidade de Soledade. Esse equipamento foi utilizado por seu projeto abranger formas complexas, não sendo possível o corte em equipamento convencional. Os módulos desenhados pela pesquisadora foram modelados em *software* CorelDRAW X3® e exportados para o *software* BobCAD® com extensão de arquivo *.dwg.

Os parâmetros utilizados para o corte das chapas de ágata foram descritos por pressão e velocidade de corte: a) pressão do equipamento — com variações entre 280 Mpa a 360 Mpa; e b) velocidade de corte — de 200 mm/min a 250 mm/min. Os primeiros ensaios apresentaram dificuldade de realizar o encaixe das peças após o corte e, por isso, as medidas do desenho foram revisadas, visando uma melhor adequação ao encaixe. Por fim, foi realizada a digitalização das peças cortadas para posterior comparação com o desenho projetado.

Após a realização das modificações, novos módulos foram cortados. No entanto, observou-se uma folga no encaixe das peças que não existia no desenho projetado. Novamente foi realizado o processo de digitalização e sobreposição das imagens, onde foi constatada a perda de material gemológico (Figura 18A). Outra questão observada pela pesquisadora foi de que o jato de água tende a arredondar peças que contenham pontas (Figura 18B), modificando o desenho e, portanto, diminuindo suas medidas.

Figura 18: Sobreposição de imagens.



(A) Desenho original (cor vermelha), peça digitalizada após o corte (cor preta); (B) Desenho original (cor cinza), imagem digitalizada ampliada (cor azul) cantos arredondados.

Fonte: elaborada pela autora, com base em Silveira (2011).

Silveira (2011) constatou as alterações de medidas ocorridas na parte superior e inferior das peças. Essa ocorrência se deve ao espalhamento de água e abrasivos sobre a superfície da chapa de ágata durante a realização do processo de corte.

Na etapa seguinte, modificações foram realizadas no desenho a fim de evitar perda de material gemológico. Os mesmos parâmetros de espessura de chapa de ágata (3,5 mm) e espessura de linha (2 mm) utilizados na dissertação de Barp (2009) foram adotados para este estudo. No entanto, foram utilizadas chapas de ágata com espessura de 4 mm, mantendo a mesma largura da linha.

A modificação do desenho foi realizada, acrescentando uma linha em volta de todo o desenho. Com as alterações realizadas, a montagem dos módulos ocorreu de forma correta, correspondendo ao desenho projetado.

2.9 Modelagem do Anel Utilizando Software Rhinoceros®

O Rhinoceros® é um *software* de modelagem *Non Uniform Rational Basis Splines* (NURBS): consiste em um modelo matemático de programas gráficos para gerar e representar superfícies e sólidos. Utiliza-se das tecnologias CAD para desenvolvimento de projetos em 2D e 3D, e CAM, programa que controla a máquina fresadora.

Netto (2004) descreve que, sem a utilização de *softwares*, a precisão das modelagens 3D para a realização de um projeto se tornaria praticamente impossível de ser alcançada.

De acordo com Rosseti (2011), os arquivos criados no programa podem ser exportados para diversas extensões compatíveis com as máquinas de impressão (CNC) 3D existentes no mercado.

A modelagem dos anéis foi desenhada através do *software* Rhinoceros®. Esse *software* permite a visualização tridimensional da peça a ser desenhada. O modelo virtual facilita a execução do projeto, pois através dele é possível fazer alterações de medidas, formas e espessuras, caso seja necessário.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, são abordados os temas referentes aos procedimentos utilizados para o desenvolvimento do estudo do anel em ágata por corte por jato d'água, tendo início com os dados antropométricos para os dedos das mãos, cedidos pelo Instituto Nacional de Tecnologia (INT).

O equipamento de corte por jato d'água utilizado para o corte das chapas de ágata, a caracterização do abrasivo de corte utilizado no equipamento através dos ensaios de granulometria para aferir o diâmetro dos grãos, a difratometria de raios X para determinar os minerais na amostra e a análise realizada através do Microscópio eletrônico de varredura para aferir o formato do grão e a composição química.

O trabalho de campo teve início com a visita a uma empresa de beneficiamento de materiais gemológicos e a lojas do comércio da cidade de Soledade, para aferir as medidas dos anéis e alianças em ágata. O passo seguinte foi a modelagem da peça em *software* Rhinoceros® e o redesenho da peça em *software* AutoCad®. Foram realizadas a digitalização tridimensional e a análise de superfície do primeiro protótipo cortado e a gravação a *laser* com números para identificação dos anéis em ágata, antes de serem enviados ao polimento. Por fim, houve a realização do escaneamento dos anéis e alianças para aferir o desgaste ocorrido nas peças.

3.1 Dados Antropométricos – INT

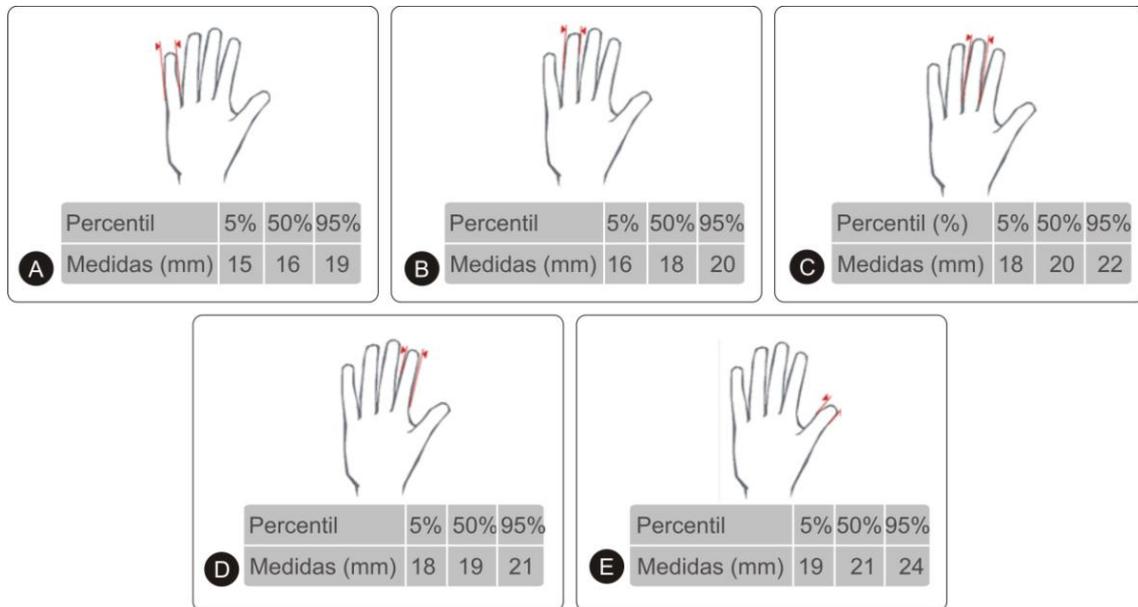
O Instituto Nacional de Tecnologia (INT) realizou um grande estudo sobre dados antropométricos do corpo humano. No Brasil, esses dados foram obtidos através de análise em quatro órgãos públicos: o Exército, o Serviço Federal de Processamento de Dados (SERPRO), a Empresa de Telecomunicações do Rio de Janeiro (TELERJ) e os Operários da Indústria de Transformação (PEA).

Para que os dados das mãos fossem analisados, no entanto, e considerando-se a disponibilidade de pessoas, o grupamento do Exército foi aquele que se destacou. Para o levantamento e caracterização de dados antropométricos, foi utilizada a base de dados do programa Ergokit, o qual disponibiliza percentis de 1% a 99%.

As medidas foram obtidas em voluntários do Exército (masculino) para cada um dos dedos das mãos, sendo definidas por: largura do dedo mínimo (Figura 19A), largura do dedo anular (Figura 19B), largura do dedo médio (Figura 19C), largura do dedo indicador (Figura 19D) e largura dedo polegar (Figura 19E). Esses valores foram

distribuídos em percentis 5%, 50% e 95%, que são os mais utilizados pelos profissionais das áreas de Arquitetura, Engenharia e Design.

Figura 19: Medidas antropométricas com percentil 5%, 50% e 95% para os dedos das mãos de voluntários do Exército (masculino).

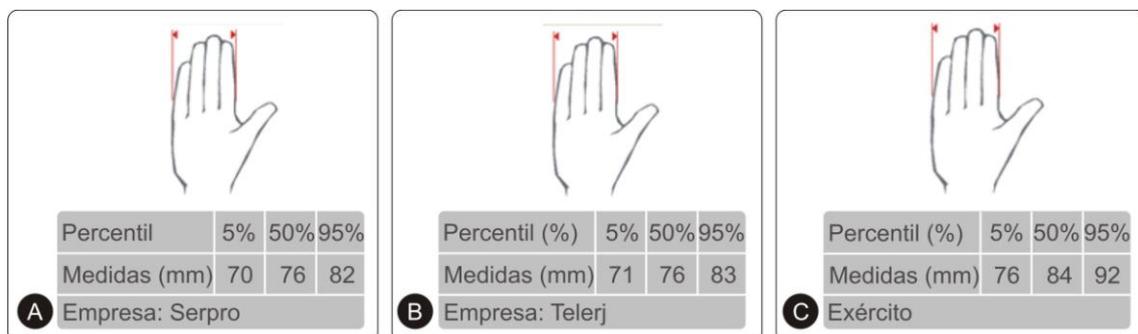


(A) Largura do dedo mínimo; (B) Largura do dedo anular; (C) Largura do dedo médio; (D) Largura do dedo indicador; (E) Largura do dedo polegar.

Fonte: imagens modificadas do Programa Ergokit 98, cedidas pelo Instituto Nacional de Tecnologia (INT, 1995).

A largura dos dedos das mãos femininas não consta do banco de dados do INT, no entanto, foi disponibilizada a média da largura da mão, no metacarpo, obtidas em voluntárias das empresas Serpro (Figura 20A) e Telerj (Figura 20B), e também por voluntários do Exército masculino (Figura 20C). Todas as imagens contêm as médias e o percentil 5%, 50% e 95%.

Figura 20: Medidas antropométricas com percentil 5%, 50% e 95% para largura da mão no metacarpo.



(A) Largura da mão, no metacarpo (Empresa: Serpro); (B) Largura da mão, no metacarpo (Empresa: Telerj); (C) Largura da mão, no metacarpo (Exército).

Fonte: imagens modificadas do Programa Ergokit 98, cedidas pelo Instituto Nacional de Tecnologia (INT, 1995).

3.2 Equipamento de Corte por Jato D'água

O equipamento de corte por jato d'água, da marca *Jet Tek WaterJet*[®] (Figura 21A), foi utilizado para cortar as chapas de ágata e o local para armazenamento do abrasivo de corte está referenciado pela Figura 21B.

Figura 21: Equipamento de corte e armazenamento de abrasivo.



(A) Equipamento de corte por jato d'água, marca *Jet Tek WaterJet*; (B) Local de armazenamento do abrasivo de corte.

Fonte: elaborada pela autora, com base em CtPedras-RS.

Para o corte dos anéis, foram consumidos 0,25 kg/min de abrasivos destinados ao corte de chapas de ágata, com aproximadamente 12 mm (espessura). A soma final para consumo de abrasivos foi de 125 kg. O equipamento de corte por jato d'água, assim como o auxílio de um funcionário para auxiliar na operação do equipamento, foram disponibilizados pelo Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias da cidade de Soledade.

3.3 Caracterização do Abrasivo de Corte

3.3.1 Granulometria

A análise granulométrica foi realizada para aferir o diâmetro do abrasivo utilizado no equipamento de corte por jato d'água. O abrasivo foi utilizado para cortar os anéis, as alianças e as chapas de ágata deste estudo.

O equipamento da marca CILAS, modelo 1180, realiza a análise de partículas por difração a *laser* e a faixa de análise dos grãos fica entre 0,04 μm e 250 μm . As amostras são misturadas em álcool isopropílico, em seguida passam por um processo de agitação por ultrassom durante 180 segundos para desaglomeração dos grãos.

O equipamento utilizado para análise pertence ao Laboratório de Materiais Cerâmicos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

3.3.2 Difração de Raios X

A técnica de difração de raios X utilizando o pó, também conhecida por método de refinamento de Rietveld, permite a especificação das estruturas cristalinas dos minerais tipicamente microcristalinos (KLEIN; DUTROW, 2012). O procedimento aplicado para preparação da amostra teve início com a moagem do abrasivo de corte em um recipiente refratário cerâmico (Figura 22A). Em seguida, o abrasivo passou por uma peneira granulométrica de malha 100, com abertura de 0,150 mm, onde foi possível separar o abrasivo em forma de pó (Figura 22B) do abrasivo que não havia sido moído.

A segunda etapa foi colocar o abrasivo em forma de pó no porta-amostra (Figura 22C) e levá-lo ao equipamento de raios X. O tempo de análise foi de vinte minutos.

Figura 22: Processo utilizado para realizar a difração de raios X.



(A) refratário de cerâmica com abrasivo de corte; (B) abrasivo em forma de pó; (C) Porta-amostra.

A difratometria de raios X foi realizada no Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER) pertencente à Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O equipamento utilizado para realizar a difração de raios X possui a marca Philips X'Pert, modelo MPD.

3.3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV e EDS

Para a realização da análise, a amostra é fixada em uma fita adesiva condutiva de carbono em uma base metálica (GONÇALVES, 2004). Essa base é colocada em um compartimento do microscópio eletrônico de varredura, onde tem início o processo de alto-vácuo, não ocasionando problema com a estrutura do mineral (NEUMANN; SCHENEIDER; ALCOVER-NETO, 2004).

Para realizar a microscopia eletrônica de varredura, foi utilizado o MEV de bancada, marca Hitachi®, modelo TM – 3000, em conjunto com o *software* Swift ED 3000 que realiza a leitura dos dados e os transforma em um gráfico de picos, onde são descritos os minerais presentes na composição. Esse equipamento foi disponibilizado pelo Laboratório de Design e Seleção de Materiais, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LdSM – UFRGS).

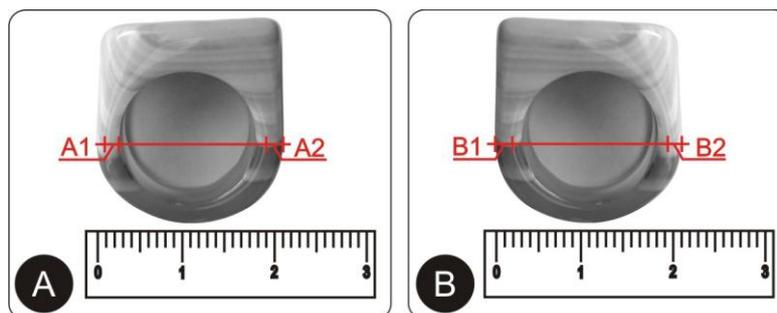
3.4 Trabalho de Campo

Foram visitadas empresas em Lajeado e Soledade para verificar o processo de fabricação dos anéis em ágata. Em Soledade, foram visitadas empresas revendedoras de anéis e alianças em ágata, onde trinta e dois anéis e doze alianças foram aferidos na segunda etapa da dissertação. Os adornos foram selecionados de acordo com a espessura do aro visível a olho nu, fator determinante para realização deste estudo.

3.4.1 Anéis em ágata: método utilizado para verificar medidas.

As medidas foram aferidas nas porções laterais dos anéis com paquímetro de precisão digital. As porções laterais foram descritas por: lado A (A1 e A2) e lado B (B1 e B2) (Figura 23). A escolha dos anéis foi realizada com base na visualização da espessura do aro.

Figura 23: Anel em ágata: método utilizado para verificar a medida do aro do anel.



(A) Lado A do anel, medidas aferidas: A1 e A2; (B) Lado B do anel, medidas aferidas: B1 e B2. Escala da régua em milímetros.

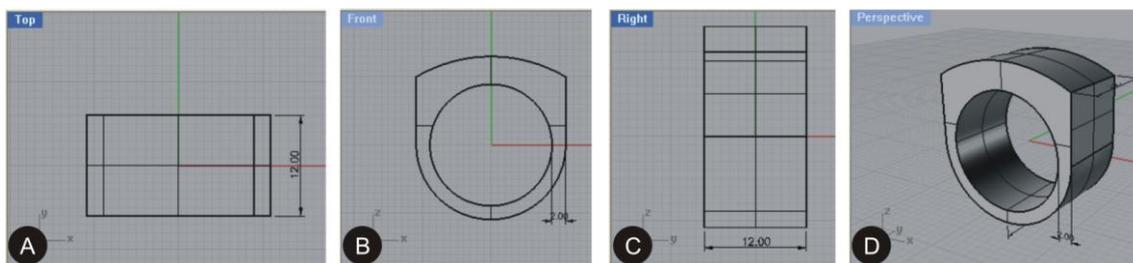
3.5 Modelagem do Anel para ser Cortado em Equipamento de Corte por Jato D'água

3.5.1 Modelagem em Software Rhinoceros®

O modelo para o anel foi realizado com auxílio do *software* Rhinoceros®, para melhor visualização das peças, suas proporções e dimensões. Esse modelo foi baseado nos anéis representados na Figura 13H (Capítulo 2) e, para que fosse efetuado da maneira correta, aplicaram-se os conceitos do livro “Desenhando Joias com Rhinoceros”, de autoria de Rosetti (2011).

A Figura 24 representa o desenho em quatro vistas, separadas de acordo com suas posições, identificadas pelas letras: (A) Topo, (B) Perspectiva, (C) Frontal e (D) Direita.

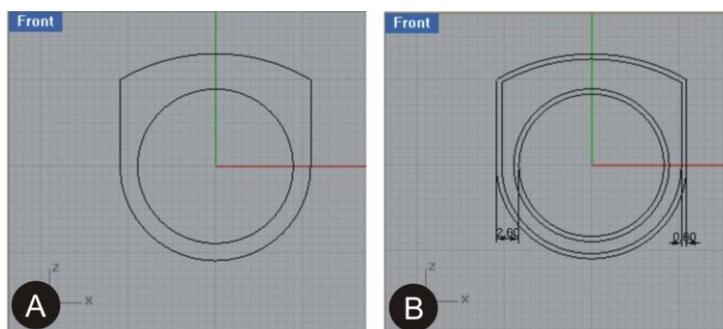
Figura 24: Visualização do anel desenhado no *software* Rhinoceros® com medidas.



(A) Top (vista superior do anel); (B) Front (vista frontal do anel); (C) Right (vista lateral do anel); (D) Perspective (vista do anel em perspectiva).

O corte do primeiro protótipo de anel em ágata cortado pelo equipamento apresentou diminuição de espessura do aro do adorno e perda de material gemológico. Por esse motivo, o modelo (Figura 25A) foi redesenhado, acrescentando-se uma linha de 0,6mm na parte externa e outra na parte interna da peça (Figura 25B) para preservar as medidas do projeto inicial.

Figura 25: Adequação do anel em *software* Rhinoceros®.



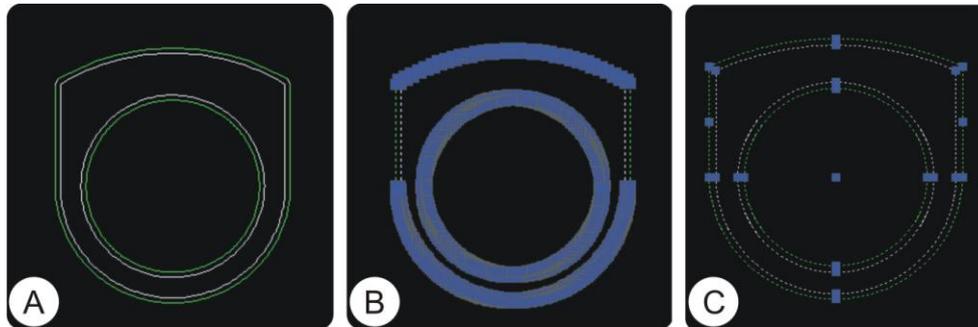
(A) Anel modelado no *software* Rhinoceros®; (B) Anel modelado no *software* Rhinoceros®, com *offset* de 0,6 mm, para adequar ao programa do equipamento de corte por jato d'água.

3.5.2 Redesenho do Anel em *Software* AutoCad®

Os desenhos modelados em *software* Rhinoceros® (Figura 26A) ao serem exportados para outro programa, apresentaram falhas no segmento de linhas (Figura

26B), fato que inviabilizaria o corte correto do adorno; por esse motivo, optou-se em redesenhar os anéis em *software* AutoCad® (Figura 26C), pois este *software* possui extensão de arquivo compatível com o programa BobCad® utilizado no equipamento de corte por jato d'água.

Figura 26: Redesenho do anel em *software* AutoCad®.

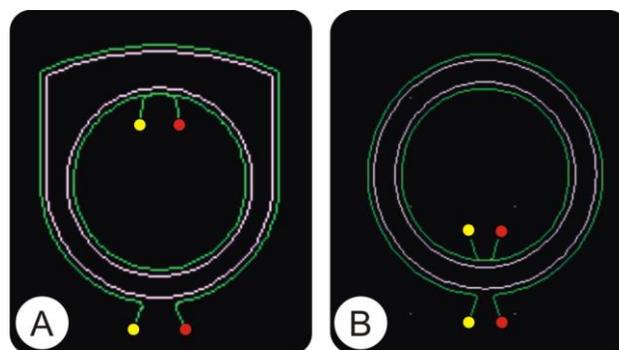


(A) Arquivo do anel modelado em *software* Rhinoceros® exportado para *software* AutoCad®, linha branca (desenho original), linha verde (acréscimo de medidas, referente a 0,06 mm); (B) Arquivo do anel em *software* Rhinoceros® exportado para *software* AutoCad® com pontos (cor azul) indicando ao *software* do programa de corte BobCad® os locais onde o jato deverá parar e reiniciar o corte; (C) Desenho do protótipo em *software* AutoCad, com pontos de corte em azul em menor quantidade, proporcionando o corte correto do modelo.

3.5.3 Modelagem para Corte em Programa BobCad®

As peças refeitas no programa AutoCad® passaram por pequenas modificações, sendo necessário acrescentar duas linhas, uma, para entrada do jato d'água, e outra, para a saída do jato (Figura 27A, Figura 27B). Essas intervenções foram necessárias para que o programa CNC do equipamento identificasse o local onde deveria iniciar e terminar o corte.

Figura 27: Indicação de entrada e saída do jato de água para o anel e a aliança.



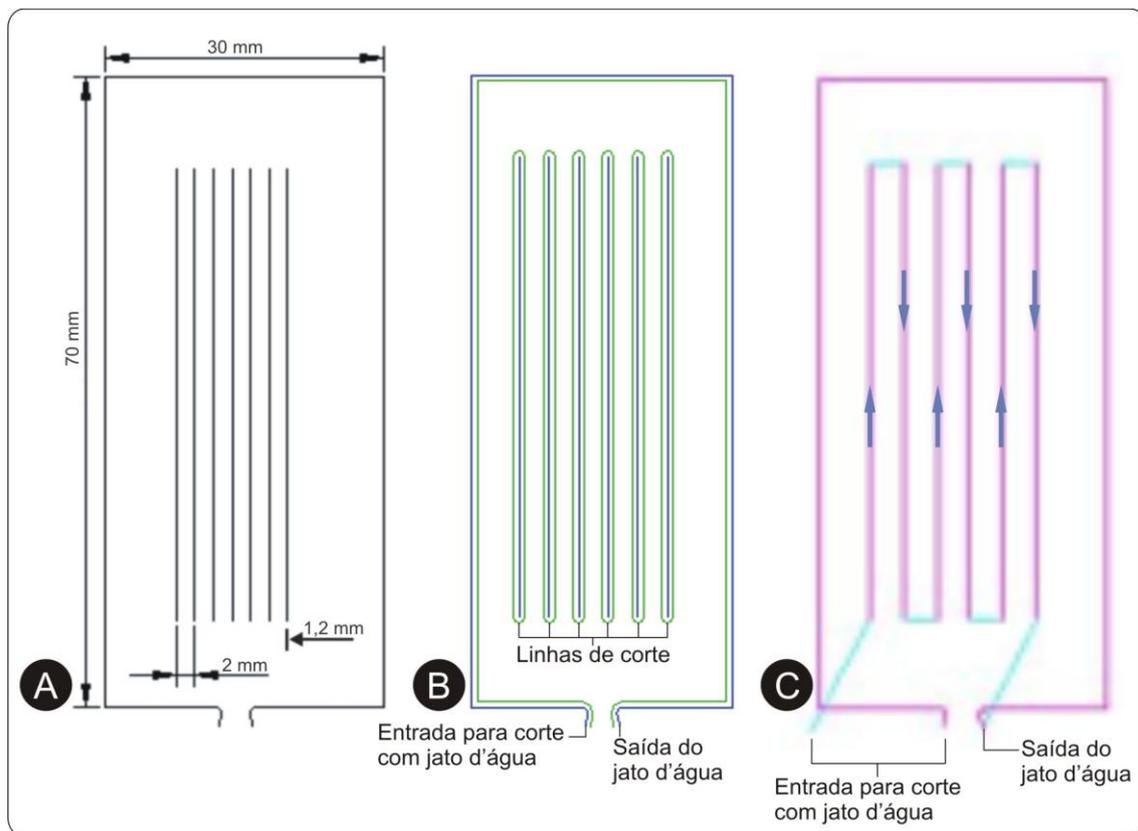
- Entrada do jato d'água
- Saída do jato d'água
- Linha de corte do jato d'água

(A) Desenho do anel, com linhas de entrada e saída do jato d'água; (B) Desenho da aliança, com linhas de entrada e saída do jato d'água.

3.6 Ensaio em Placa de Ágata

Para a verificação das medidas de espessura de corte do jato de água, foram realizados ensaios de velocidade de corte em chapas de ágata com espessura de 5 mm. As placas a serem cortadas foram desenhadas com linhas de corte de 1,2 mm (referente à soma de 0,6 mm, para cada lado da linha desenhada) representando a espessura resultante do fluxo de jato de água e abrasivo. As linhas foram distanciadas em 2 mm uma da outra. O modelo (Figura 28A) foi inicialmente desenhado em *software* CorelDRAW®; para realizar o corte, o mesmo desenho foi refeito em *software* AutoCad® (Figura 28B) onde foi possível evidenciar as linhas externas de corte. A Figura 28C indica o desenho interpretado pelo programa BobCad®, com setas de indicação do posicionamento do jato d'água durante a realização do processo.

Figura 28: Esquema de corte em placas de ágata.



(A) Desenho para corte das linhas de jato d'água, utilizando o *software* CorelDRAW®; (B) Desenho em *software* AutoCad®; (C) Desenho programa BobCad®.

3.7 Digitalização Tridimensional e Análise de Superfície do Anel

A digitalização tridimensional foi utilizada para realizar o escaneamento dos anéis e alianças em ágata cortados pelo equipamento de corte por jato d'água.

O equipamento utilizado para realizar o escaneamento do anel tem a marca Tecnodrill®, modelo Digimill 3D. Esse equipamento dispõe de um *scanner* tridimensional, a *laser*, que digitaliza peças com ângulos de até 85°, possui precisão dimensional que permite a medição de furos e a visualização de imperfeições nos diversos materiais existentes no mercado (DIGIMILL, 2012). O equipamento pertencente ao Laboratório de Design e Seleção de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, utiliza um cabeçote emissor de *laser* modelo CronoProbe 1.000, da marca Optimet®, que emite comprimentos de onda de 665 nm, potência máxima de 1 mW, podendo adquirir até 1000 pontos por segundo. A precisão da leitura depende da lente a ser utilizada (SILVA, 2011).

No *scanner*, o posicionamento dos eixos “x” e “y” serve de referência para o dimensionamento da peça, enquanto o eixo “z” faz a medição da altura (SILVA, 2011).

Silva (2011) descreve que os dados digitalizados a partir do *scanner* 3D são transformados em nuvens de pontos e, com a execução de comandos do *software*, tornam-se superfícies de alta precisão, podendo ser exportados para os sistemas de fabricação CNC, impressão 3D ou CAD. O arquivo fornecido pelo *scanner* possui formato de texto (txt). As coordenadas dos pontos são interpretadas e plotadas pelo *software* Geomagic® Studio 10.

Para este estudo, foram utilizadas lentes de 50 mm para a digitalização dos anéis e alianças (após o corte e do retorno do processo de polimento) devido à menor velocidade de digitalização e mantendo a resolução de pontos, ou seja, mantendo a resolução de imagens. A lente de 100 mm proporciona maior velocidade de leitura e foi utilizada para realizar a leitura do primeiro protótipo cortado em equipamento de corte por jato d'água, pois se tratava de uma única peça. As amostras foram pulverizadas com um produto revelador, *Metal-chek* D 70, para melhor leitura dos pontos durante o escaneamento, evitando, dessa forma, a refração da luz.

As lentes da marca Optimet, utilizadas no equipamento modelo Digimil 3D do LdSM, possuem diferenças quanto à precisão, à faixa de captura do modelo a ser escaneado, à distância em relação ao objeto e à resolução lateral (Tabela 3).

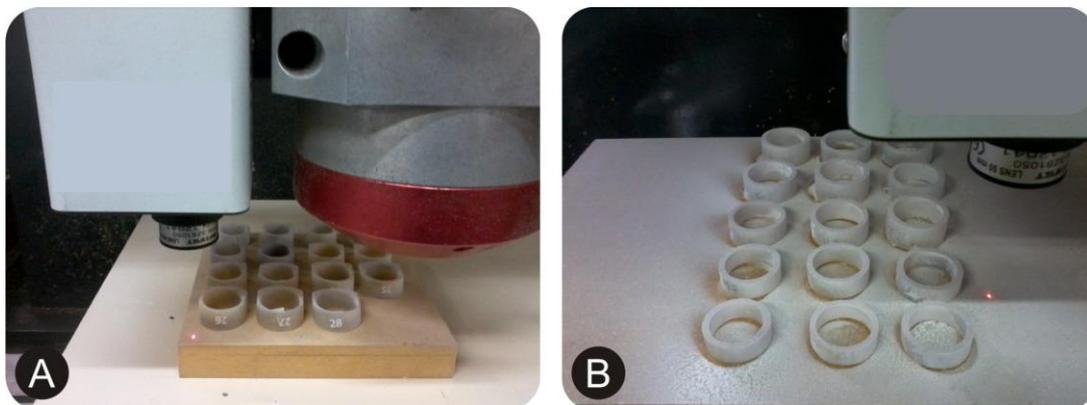
Tabela 3: Lentes de 50 mm e 100 mm da marca Optimet.

	50 mm	100 mm
Precisão (Z)	0,006	0,015
Faixa de captura (Z)	8	35
Distância do objeto (Z)	42	90
Resolução lateral (X)	0,015	0,035

Fonte: elaborada pela autora, com base em Silva (2011).

O tempo decorrido para a digitalização de cada peça é diferenciado, pois se faz necessário capturar as imagens internas e externas de cada adorno para posterior montagem em *software* Geomagic®. Foram digitalizados: a) quinze anéis, de números 14 a 29 (Figura 29A), sendo que o anel de número 15 não foi digitalizado, pois uma parte da peça foi perdida durante o processo de polimento; e b) quinze alianças (Figura 29B) com numeração entre 14 e 28.

Figura 29: Escaneamento dos anéis e alianças.



(A) Anéis com gravação numérica e pó revelador para escaneamento; (B) Alianças com pó revelador para escanear com equipamento Digimil 3D.

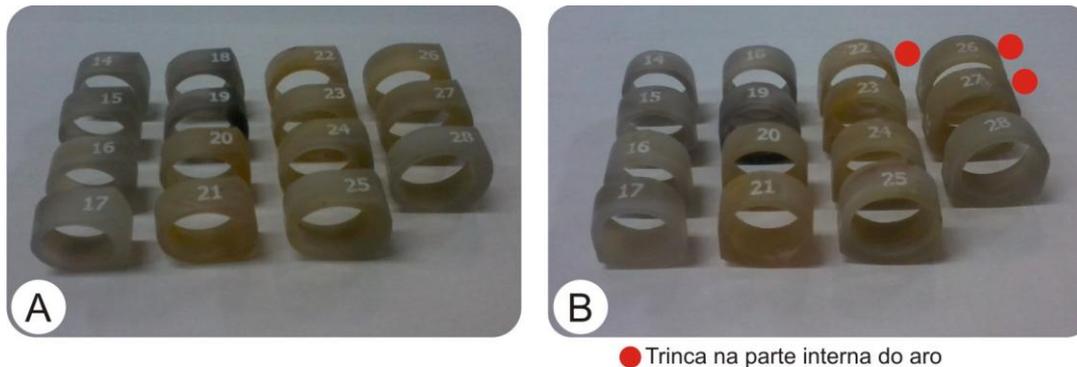
O *software* Geomagic® foi utilizado para transformar o arquivo gerado pelo escaneamento em um objeto tridimensional. Com os dados obtidos, foi possível avaliar, através do *software* Geomagic® Qualify, a perda de material gemológico ocorrido durante o corte da peça e o desgaste durante o processo de polimento.

3.7.1 Gravação a Laser para Identificação do Tamanho dos Anéis

Os números referentes ao tamanho do aro dos anéis foram gravados a *laser* para que fosse possível a identificação das peças quando retornassem do polimento. A potência utilizada foi de 60 W e lente de 10 cm x 10 cm.

A gravação numérica foi realizada na lateral do aro dos anéis (Figura 30A) e na parte inferior do aro (Figura 30B). No entanto, três dessas peças trincaram durante a execução do processo. Essa ocorrência foi devida à alta temperatura do *laser*, repetida por mais de duas vezes no mesmo local sem resfriamento prévio da peça. A repetição do processo foi realizada, pois a identificação do número a ser gravado no anel não ficou clara na primeira vez em que o *laser* atingiu a superfície dos adornos.

Figura 30: Gravação numérica para anéis.



(A) Gravação numérica na parte lateral dos anéis; (B) Gravação numérica na parte inferior dos anéis: os números 22, 26 e 27 apresentaram trinca na parte interna e interna do aro.

O equipamento a *laser* utilizado para gravação dos anéis possui a marca Mira, modelo 3007, desenvolvido pela empresa Automatisa Sistemas[®] e pertence ao Laboratório de Design e Seleção de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LdSM – UFRGS).

4. RESULTADOS

Neste capítulo, serão demonstrados os resultados referentes aos ensaios realizados para caracterizar o abrasivo de corte, para aferir a espessura dos anéis fabricados manualmente, o corte de novas peças, assim como o processo de digitalização.

Para caracterizar o abrasivo de corte, três ensaios foram realizados: a Granulometria, a Difração de raios X e a Microscopia Eletrônica de Varredura.

Em relação aos anéis em ágata, a medida de espessura do aro dos adornos fabricados manualmente foi verificada. Em seguida, foi realizada a análise dos primeiros protótipos de anéis cortados pelo equipamento de corte por jato d'água, realizando a análise das imagens dos arquivos sobrepostos (anel modelado em *software* e anel cortado pelo equipamento) à perda de material gemológico ocorrida durante o processo de corte.

Para que novos adornos pudessem ser cortados com parâmetros adequados, um novo ensaio foi realizado com diversas velocidades de corte em chapas de ágata de mesma espessura. E, por fim, houve a realização do corte dos anéis e alianças em ágata, seguido do processo de digitalização das peças e da sobreposição das imagens para aferir o desgaste ocorrido após o processo de polimento.

4.1 Caracterização do Abrasivo de Corte

4.1.1 Análise Granulométrica do Abrasivo de Corte

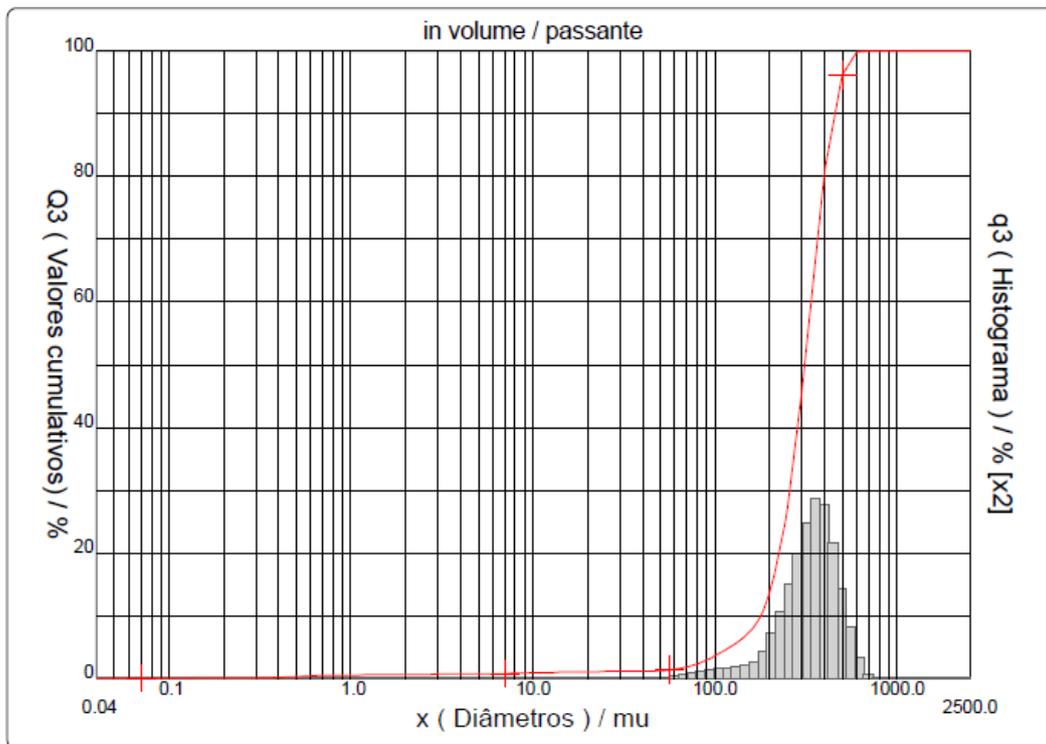
A análise determinou o diâmetro dos grãos do abrasivo de corte, apresentando resultados em 10%, 50%, 90% e diâmetro médio (Tabela 4).

Tabela 4: Análise granulométrica: diâmetro do grão (abrasivo de corte).

Diâmetro a 10%:	177.56 μm
Diâmetro a 50%:	310,86 μ m
Diâmetro a 90%:	456.47 μ m
Diâmetro médio:	312.45 μ m

O resultado do histograma para o abrasivo de corte (Figura 31) demonstra a distribuição das partículas de 0% a 100%.

Figura 31: Histograma de distribuição das partículas do abrasivo de corte.



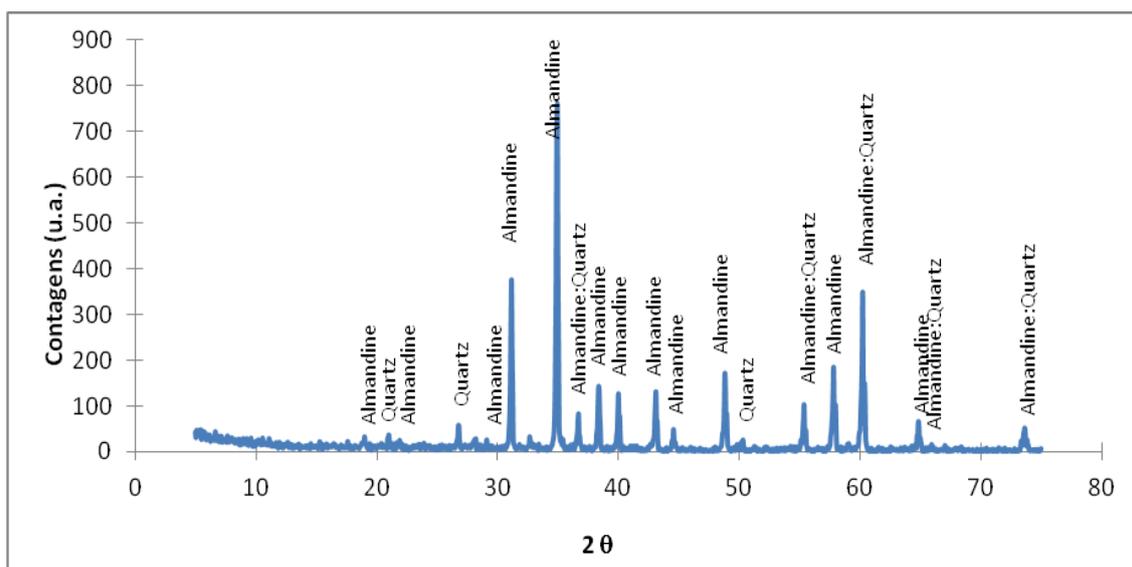
O tamanho dos grãos obtidos pela granulometria realizada a *laser* considera que 10% das partículas possuem diâmetro de até 177.56 μm , 50% das partículas possuem diâmetro de até 456.47 μm e 90% das partículas possuem diâmetro de até 456.47 μm e o diâmetro médio das partículas foi de 312.45 μm .

A análise dos grãos foi realizada para o corte específico de anéis e alianças com espessura de chapas de ágata entre 10 mm e 12 mm, confirmando ser adequado ao corte desses adornos, mantendo a uniformidade do desenho. Caso o material seja alterado, um novo ensaio deverá ser realizado.

4.1.2 Difração de Raios X

A difratometria de raios X é utilizada como instrumento de avaliação das fases minerais presentes na amostra e o difratograma possibilita a interpretação dos dados em forma gráfica (COSTA; NEUMANN, 2007; NEVES; FREITAS; PEREIRA, 2011). O resultado da caracterização do abrasivo de corte está representado no difratograma de raios X (Figura 32) realizado através do programa *High Score Plus*.

Figura 32: Difratograma de raios X do abrasivo de corte.



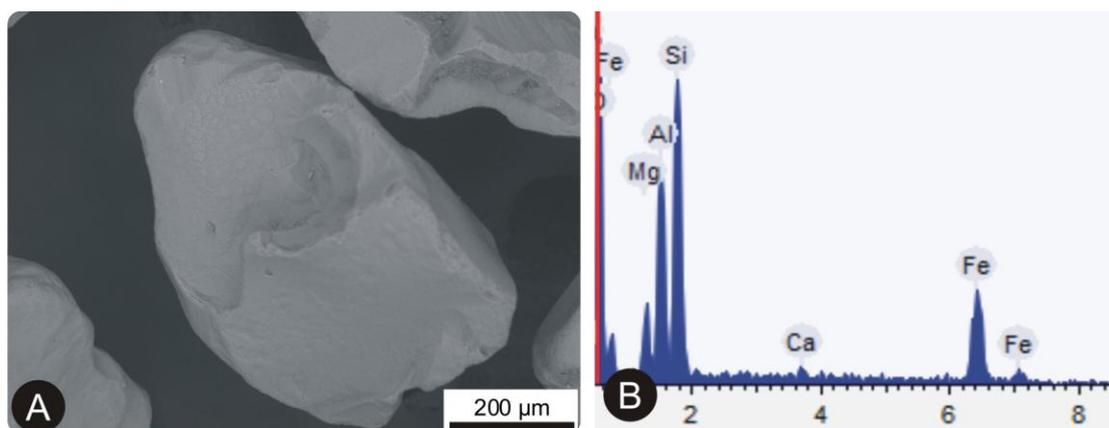
O difratograma apresenta picos de almandina e menores picos de quartzo. A almandina pertence ao grupo da granada, possui coloração vermelha escura a negra acastanhada e dureza entre 6.5 e 7.5 na escala de Mohs; o mineral quartzo pertence ao grupo da sílica (quartzo, tridimita e cristobalita), possui coloração translúcida e dureza 7 na escala de Mohs (DEER; HOWIE; ZUSSMAN, 1981; SCHUMANN, 2006).

Os minerais são classificados na escala de Mohs de acordo com sua dureza, ou seja, a facilidade com que podem riscar ou cortar outro mineral (SCHUMANN, 2006). Sendo assim, a mistura dos minerais almandina e quartzo se torna adequada ao corte de minerais com mesma dureza indicada na tabela de Mohs ou dureza inferior. Dessa forma, as chapas de ágata podem ser cortadas pelos minerais almandina e quartzo, pois possuem dureza de 6.5 a 7 na escala de Mohs (SCHUMANN, 2006).

4.1.3 MEV e EDS

A utilização do equipamento de microscopia eletrônica de varredura possibilitou a visualização do mineral almandina ($\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$) (Figura 33A), seguida da análise realizada por *Energy Dispersive X-Ray Detector* (EDS), o qual permite a análise semiquantitativa dos elementos químicos presentes na amostra (Figura 33B).

Figura 33: Imagem do MEV e análise de EDS.



Notas: (A) Imagem ampliada em x400 no microscópio eletrônico de varredura de um grão de almandina; (B) Análise EDS, com identificação dos minerais presentes na composição.

4.2 Dados Antropométricos para Largura dos Dedos e da Mão no Metacarpo

A soma individual das medidas dos dedos da mão masculina dos voluntários do Exército resultou em 67 mm para o percentil 5%, 71 mm para o percentil 50% e 82 mm para o percentil 95%. No entanto, nenhuma dessas medidas condiz com o resultado medido da mão com os dedos mínimo, anular, médio e indicador quando dispostos lado a lado (Figura 34). Sendo assim, existe uma sobra de espaço entre os dedos que possibilitaria o uso de adornos sem causar dano ao usuário final.

Figura 34: Resultado da diferença de medidas para a largura da mão no metacarpo e os dedos da mão masculina.

Percentil	5%	50%	95%
Largura da mão, no metacarpo (mm)	76	84	92
Largura dos dedos (mm)	67	71	82
Diferença (mm)	9	13	10

Mão masculina

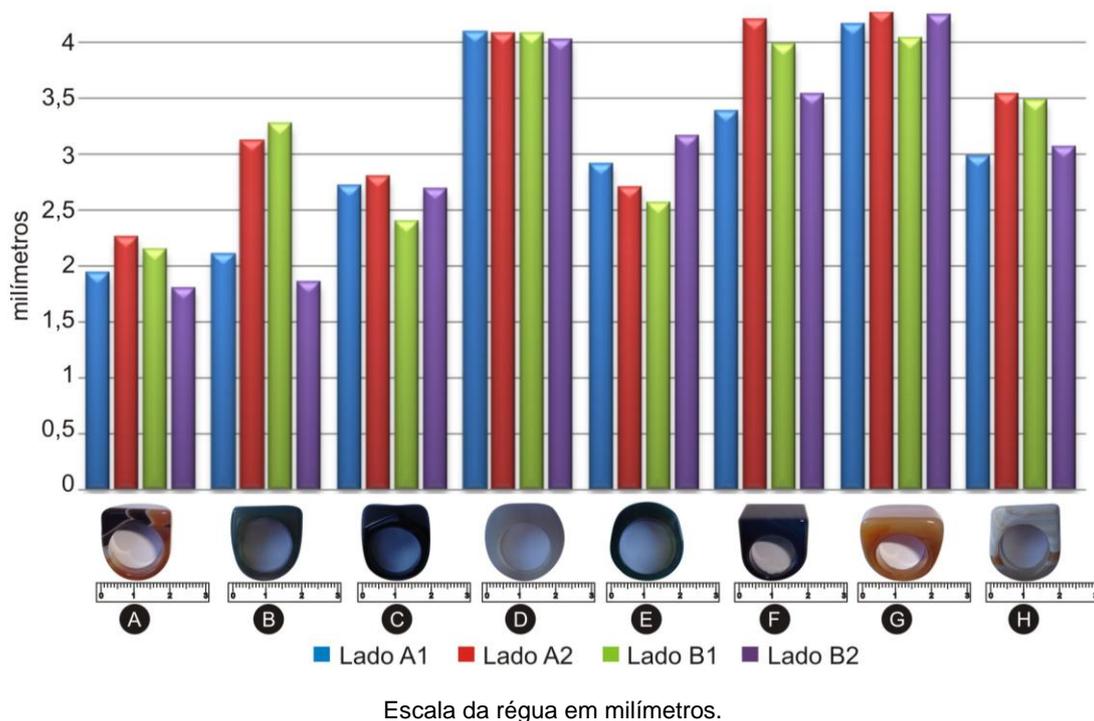
Fonte: elaborada pela autora, com base no programa Ergokit 98.

Com esse resultado, pode-se supor que a mesma ocorrência poderia ser considerada para os dedos da mão feminina, mas ainda não é possível concluir cientificamente, pois seria necessário o desenvolvimento de um novo estudo nesse sentido.

4.3 Avaliação da Espessura do Aro em Anéis Fabricados pelo Processo Artesanal

Os primeiros anéis para a verificação das medidas foram adquiridos nas cidades de Lajeado e Soledade. O anel (letra D) foi aquele que apresentou menor diferença de espessura em relação ao Lado A e Lado B do adorno, conforme gráfico (Figura 35).

Figura 35: Gráfico com as medidas de espessura (Lado A e Lado B) dos anéis em ágata adquiridos nas cidades de Lajeado e Soledade.



Em relação à primeira avaliação, não foi possível afirmar se os anéis eram próprios ou não para uso, em relação ao parâmetro ergonômico. Dessa forma, novos anéis foram analisados em duas grandes lojas revendedoras de anéis da cidade de Soledade. Na primeira loja, foram analisados dezessete anéis e verificadas as medidas em relação ao Lado A e Lado B dos adornos. O resultado (Figura 36) indicou medidas diferentes em todas as peças.

Na segunda loja, quinze peças foram analisadas e, dentre elas, somente os anéis de letras “A” e “I” possuíam medidas aproximadas (Lado A1, A2 e Lado B1 e B2). Esses dados são mais bem analisados com auxílio do gráfico (Figura 37), onde é possível verificar que o anel (letra N) possui maior diferença de espessura.

Figura 36: Gráfico comparativo das medidas aferidas (Lado A e Lado B) para os anéis em ágata (A-Q).

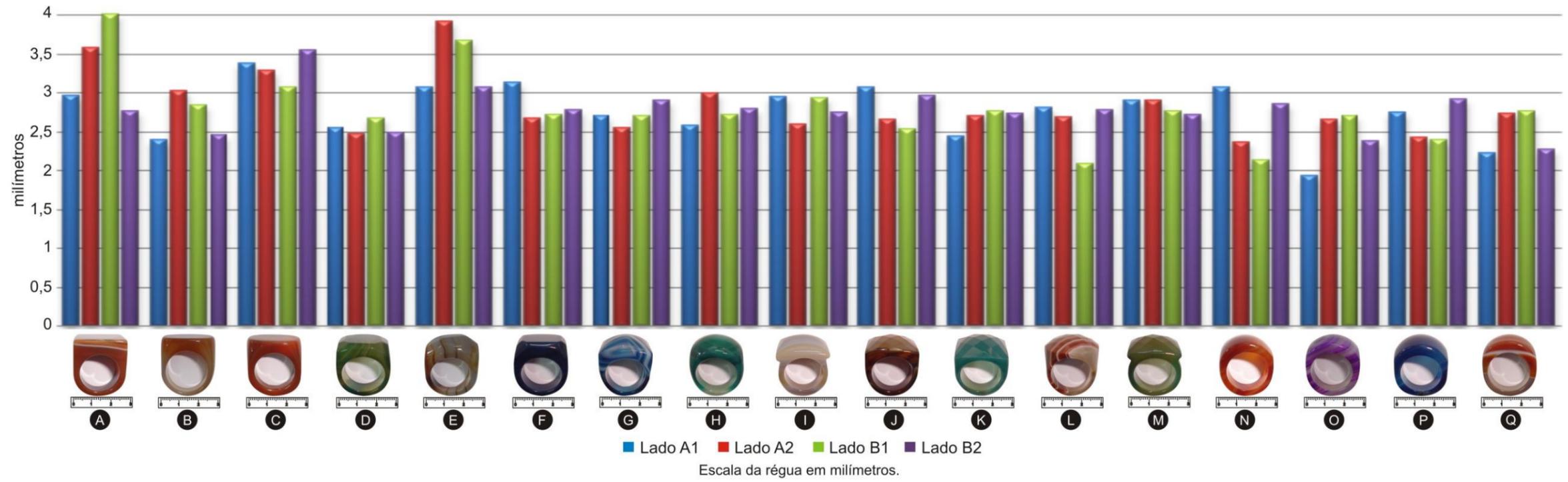
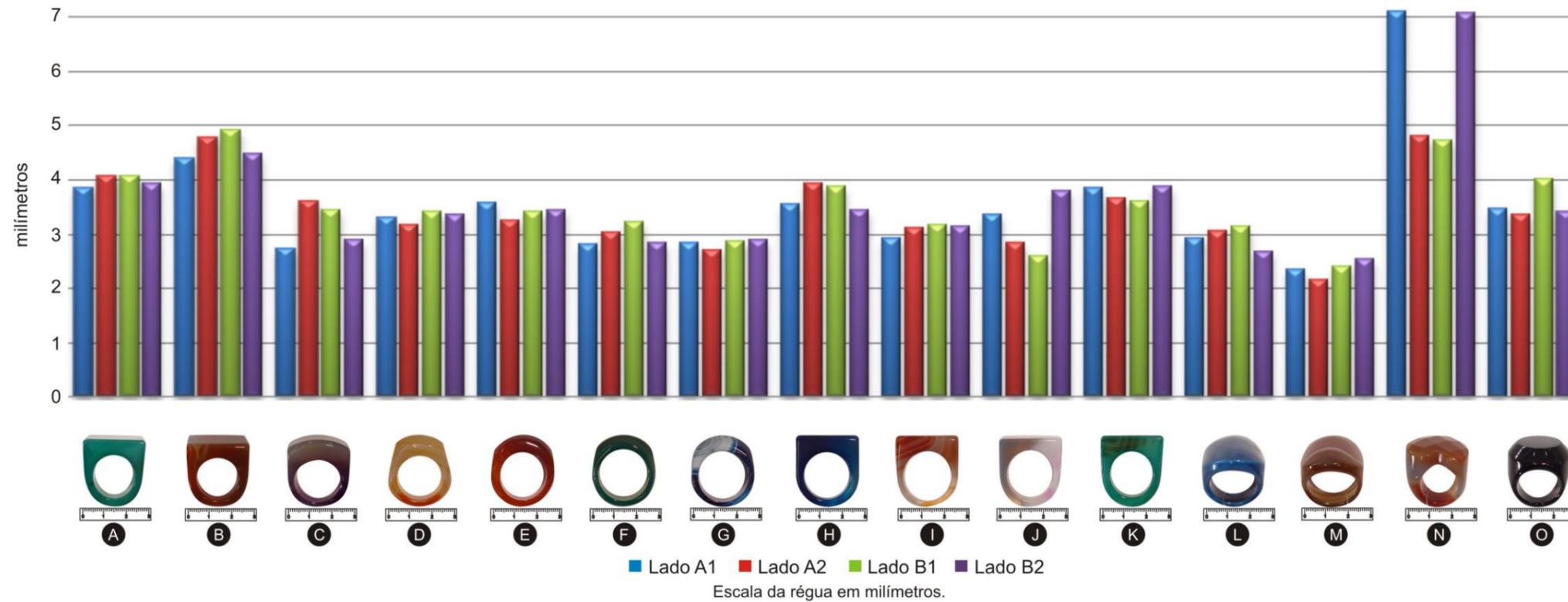
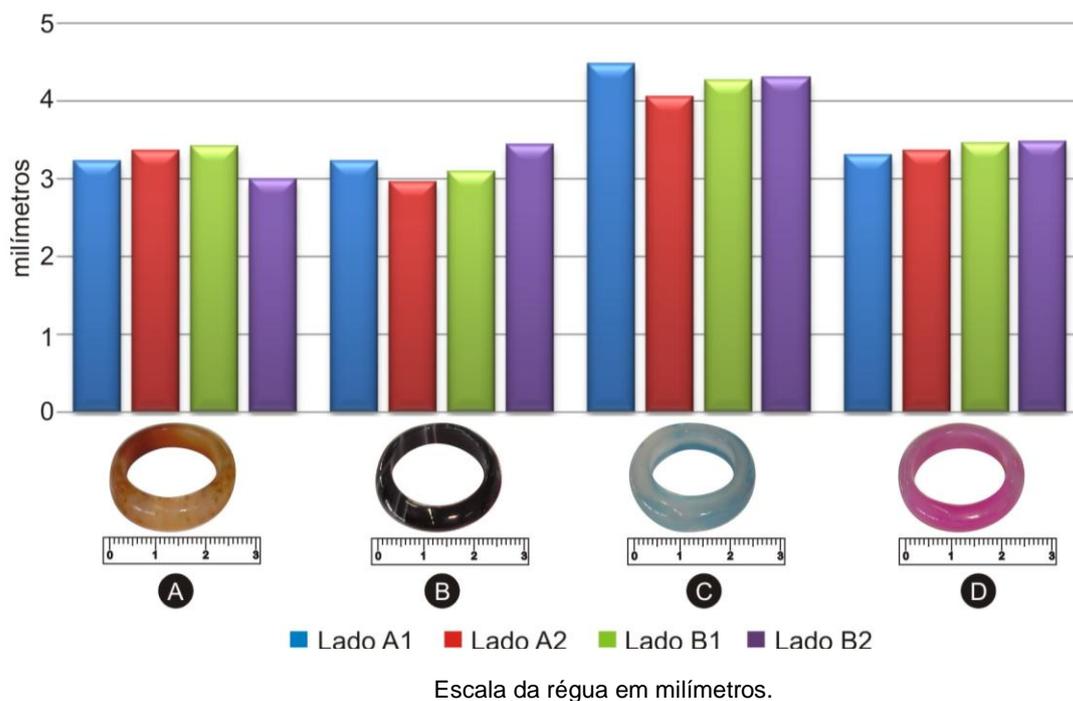


Figura 37: Gráfico comparativo das medidas aferidas (Lado A e Lado B) para os anéis em ágata (A-O).



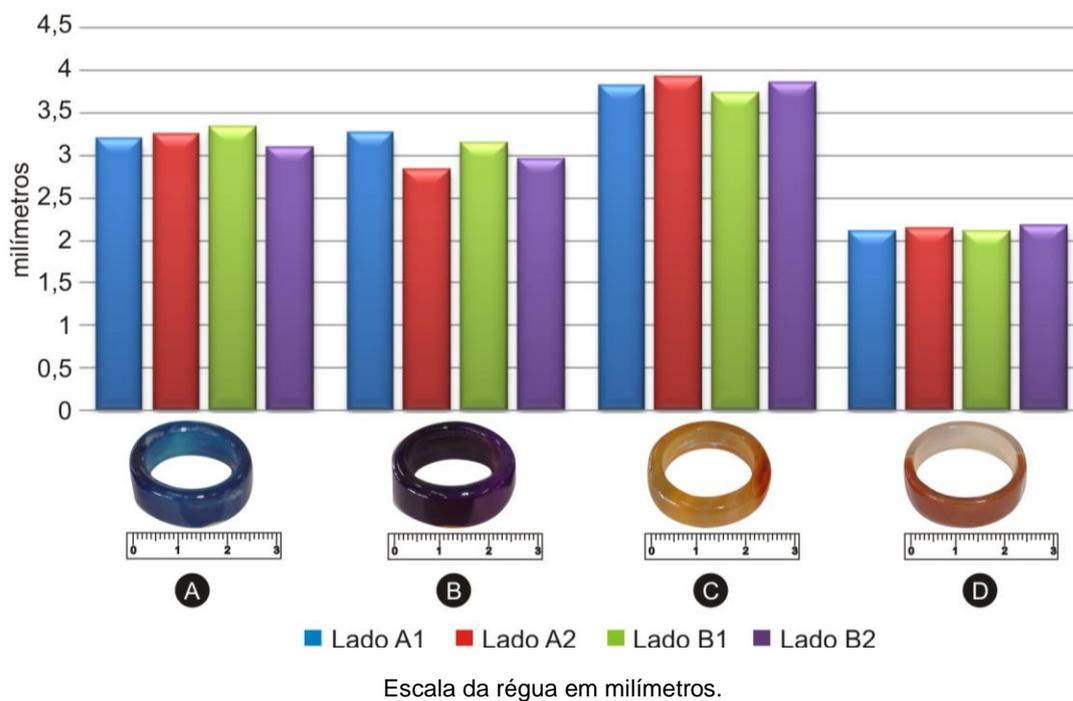
Foram analisados, também, três modelos de alianças com diferentes espessuras. O primeiro modelo de aliança fina possui espessura de chapa de ágata de 5 mm, e somente a aliança de letra D possuía medidas aproximadas, sendo 3,30 mm (Lado A1), 3,36 mm (Lado A2), 3,46 mm (Lado B1) e 3,47 mm (Lado B2), conforme gráfico (Figura 38).

Figura 38: Gráfico comparativo para alianças com altura de chapa de ágata de 5 mm.



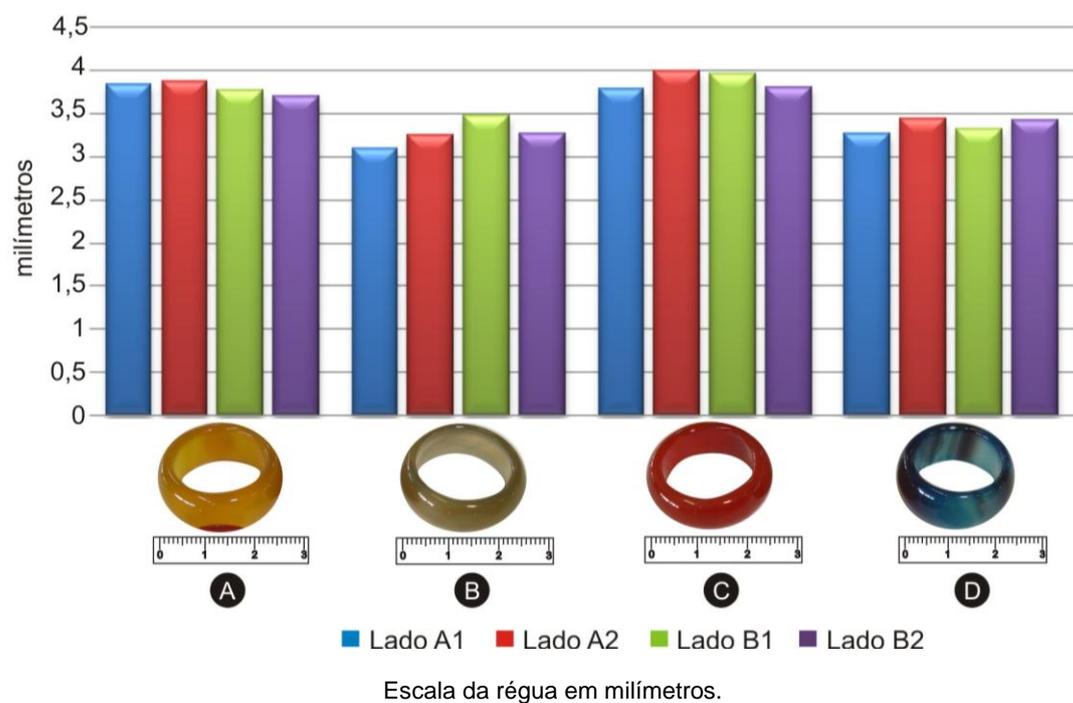
A segunda avaliação de medidas foi realizada com alianças de espessura média, com altura da chapa de ágata de 7 mm, resultando no gráfico (Figura 39), onde somente o anel de letra D possuía medidas aproximadas, tanto para o Lado A, quanto para o Lado B das peças. As medidas aferidas foram: 2,10 mm (Lado A1), 2,14 mm (Lado A2) e 2,10 mm (Lado B1), 2,18 mm (Lado B2).

Figura 39: Gráfico comparativo para alianças com altura de chapa de ágata de 7 mm.



O último modelo de aliança a ser analisado possui modelo abaulado e altura de chapa de ágata de 9 mm. Dentre elas, a aliança identificada pela letra A (Figura 40) foi a única que apresentou medidas de espessura aproximadas, sendo essas: 3,84 mm (Lado A1), 3,87 mm (Lado B2), 3,77 mm (Lado B1) e 3,70 mm (Lado B2).

Figura 40: Gráfico comparativo para alianças com altura de chapa de ágata de 9 mm.



Com a aferição das medidas dos anéis e alianças foi possível concluir que não existe equivalência para o Lado A e o Lado B das peças, ocorrendo, somente em alguns casos, medidas aproximadas. Esse é um dos motivos pelos quais o estudo de um novo método de corte das peças justifica sua aplicação.

4.4 Corte dos Protótipos 1 e 2

Foram realizados dois ensaios preliminares com o intuito de testar a possibilidade de uso do processo de corte por jato d'água para fabricação de anéis em ágata.

Os anéis modelados em *software* possuíam espessura de 2 mm para o aro do adorno. Após o corte do anel pelo equipamento de corte por jato d'água, no entanto, foi possível observar que as medidas inicialmente projetadas não foram mantidas (Quadro 1). Para a realização desse ensaio, não foi utilizado o comando *offset*, ou seja, o acréscimo de uma linha na parte interna e outra na parte externa do desenho para preservar as medidas projetadas.

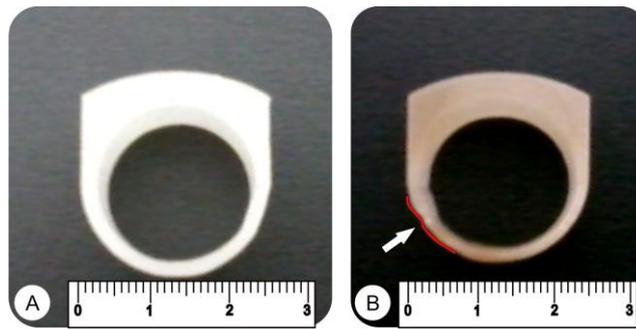
Quadro 1: Avaliação de espessura para os anéis cortados em ágata, protótipos 1 e 2.

Velocidade de corte (mm/s)	Tempo de corte (min)	Protótipo	Distância projetada: 2 mm			
			Lado A1 (mm)	Lado A2 (mm)	Lado B1 (mm)	Lado B2 (mm)
50	10	1	1,79	1,63	1,13	1,22
50	10	2	1,24	1,22	1,56	1,57

A primeira peça cortada apresentou falha em relação à espessura do aro: houve um desvio da linha de corte, causando afinamento do aro, pois a direção do jato d'água influenciou o corte interno do aro, fazendo com que o aro obtivesse formato irregular. A parte externa passou por lixa de granulação 320 para melhor acabamento, mas, no entanto, continuou com defeitos (Figura 41A).

O segundo anel cortado pelo equipamento (Figura 41B) apresentou o mesmo problema descrito anteriormente em relação à espessura, mas, nessa peça, o jato de água diminuiu ainda mais a espessura do aro (alterando o desenho original), não sendo possível à intervenção manual para efetuar reparo.

Figura 41: Anéis em ágata, protótipos 1 e 2.



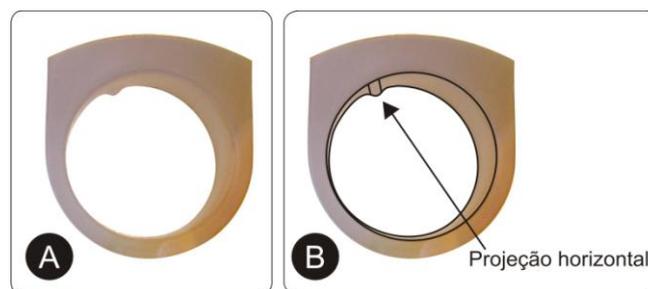
(A) Anel em ágata, protótipo 1, apresenta diferença na espessura do aro; (B) Anel em ágata, protótipo 2, apresentou falha no corte externo e interno do aro. Escala da régua em milímetros.

4.5 Ensaios realizados para verificação de medidas: linhas de corte e espessura do aro dos anéis em ágata

Os ensaios realizados no Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias da cidade de Soledade resultaram em um total de 56 peças cortadas (anéis, alianças e chapas de ágata utilizadas para realizar os ensaios de velocidade de corte).

Os anéis cortados com velocidade de corte de 50 mm/s apresentaram resultados diferentes do desenho original, com falha de espessura e uma projeção horizontal em forma de linha dentro do aro do anel (Figura 42).

Figura 42: Anel em ágata com projeção horizontal.



(A) Anel cortado em ágata com projeção horizontal interna; (B) Anel em ágata com desenho sobreposto (cor preta) para melhor evidenciar a projeção horizontal dentro do aro.

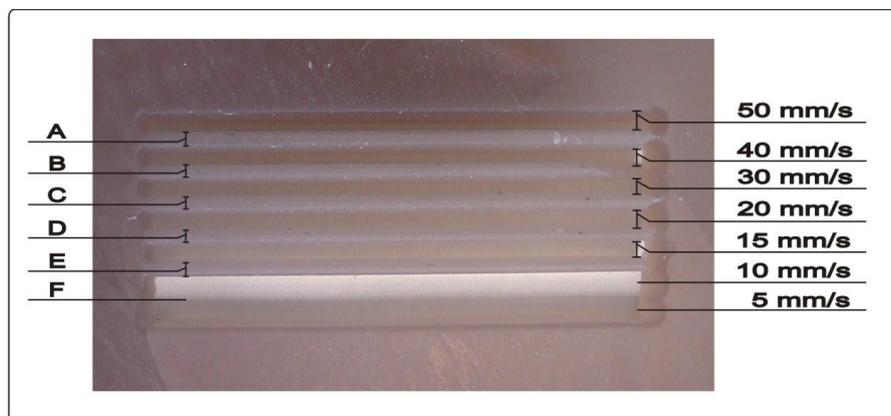
Os ensaios realizados por Barp (2009) para placas de ágata, mantendo distância entre linhas de 1 mm até 4 mm, demonstraram que, para chapa de ágata com espessura de 5 mm, as linhas mais finas mantiveram-se intactas, enquanto que no teste realizado para chapa com 2,5 mm, a linha de 1 mm quebrou. Dentre os ensaios realizados nas chapas de ágata, a linha de 2 mm foi considerada a largura mínima aceitável para realização dos cortes. Para o corte dos anéis em ágata, os

adornos foram modelados em *software* com espessura de aro de 2 mm e, para o corte, foram utilizadas chapas de ágata com espessura de até 12 mm.

Durante o período de cinco dias, foram realizados cortes em chapas de ágata para se definir, inicialmente, os parâmetros de corte e, em sequência, o corte dos anéis.

Um ensaio foi realizado em uma placa de ágata (Figura 43), com diferentes velocidades de corte (5 mm/s; 10 mm/s; 15 mm/s; 20 mm/s; 30 mm/s; 40 mm/s e 50 mm/s) e com distância de 2 mm, correspondente à espessura, representadas pelas letras “A; B; C; D; E; F”.

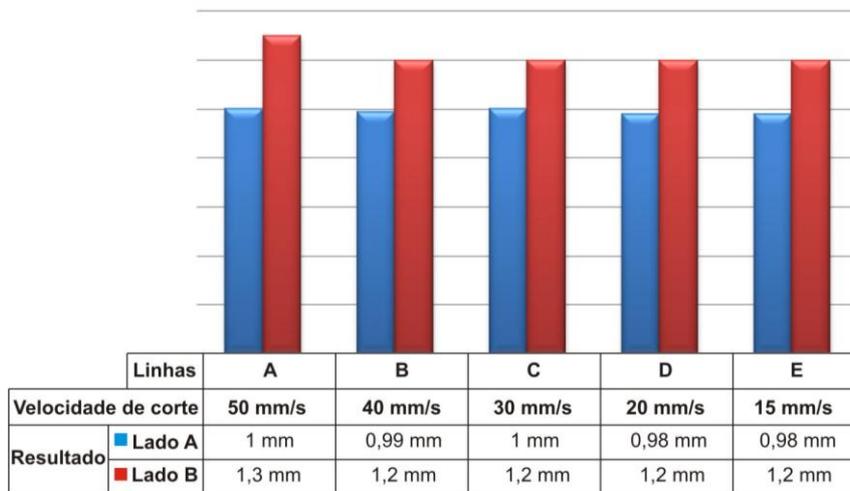
Figura 43: Ensaio de velocidade de corte.



As letras A, B, C, D, E e F, representam as linhas de corte (lado esquerdo da imagem) e a indicação das velocidades de corte utilizada (lado direito da imagem): 5 mm/s, 10 mm/s, 15 mm/s, 20 mm/s, 30 mm/s, 40 mm/s e 50 mm/s.

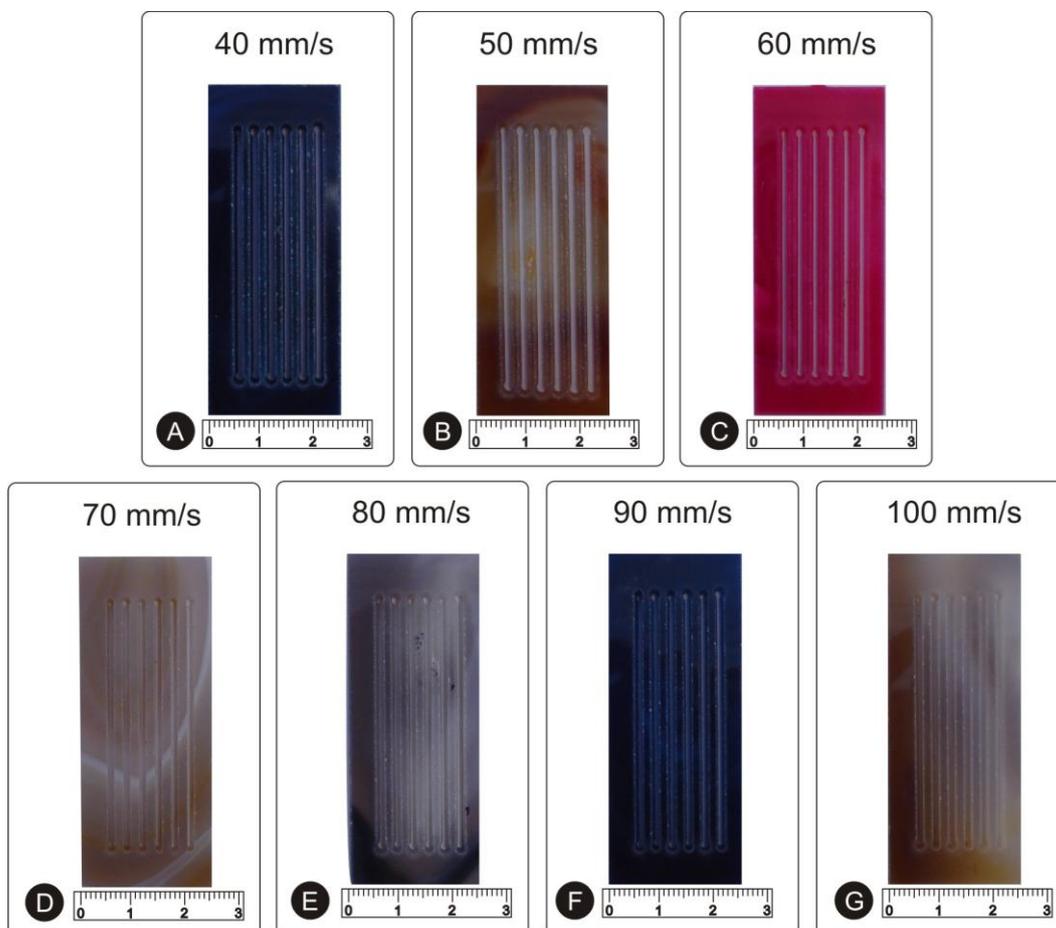
Durante o processo de corte, a linha de letra F foi perdida, em virtude da distância deixada entre as linhas. Dessa forma, tornava-se necessário que a distância entre as linhas fosse um pouco maior em virtude das diversas velocidades aplicadas à mesma placa de ágata. No gráfico (Figura 44), é possível observar a diferença de espessura existente na placa de ágata após o corte, sendo descritas por Lado A e Lado B.

Figura 44: Gráfico de resultados do ensaio realizado em chapa de ágata, com velocidades de corte estabelecidas em 50 mm/s, 40 mm/s, 30 mm/s, 20 mm/s e 15 mm/s.



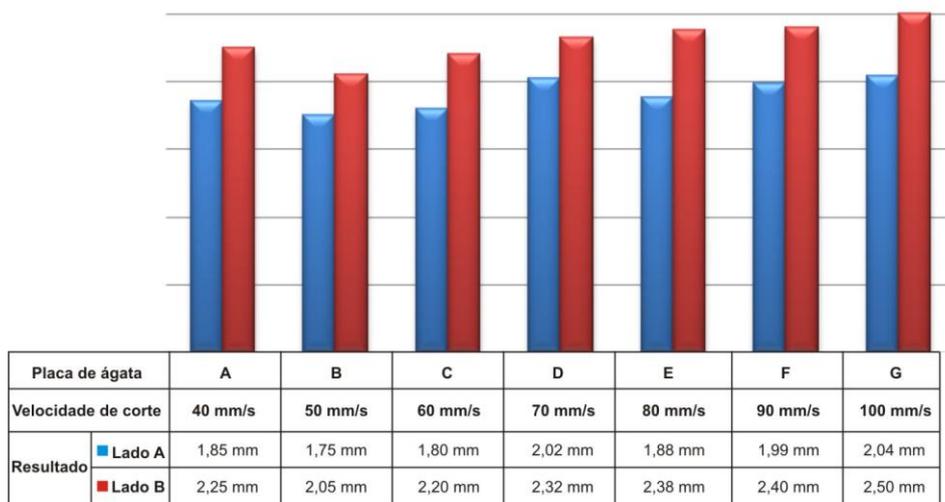
Para a avaliação da influência ocorrida nas chapas de ágata em virtude da velocidade de corte empregada, foi realizado um novo ensaio em chapas de ágata com espessura de 5 mm, e velocidades de corte de 40 mm/s, 50 mm/s, 60 mm/s, 70 mm/s, 80 mm/s, 90 mm/s e 100 mm/s (Figura 45).

Figura 45: Ensaio de velocidade de corte para chapas de ágata com espessura de 5 mm.



De acordo com a análise gráfica (Figura 46), três placas do Lado A obtiveram resultados consideráveis: placa de letra F (1,99 mm); para as placas de letras D e G, essa medida foi superior a 2 mm. Em relação ao Lado B das placas, todos os resultados foram superiores ao projetado — esse fato se deve ao ângulo formado pelo jato de água quando está finalizando o corte.

Figura 46: Gráfico resultante do ensaio de velocidade de corte realizado em chapas de ágata de mesma espessura. Representadas pelas letras: A, B, C, D, E, F e G. A cor azul representa o Lado A e a cor vermelha, o Lado B.



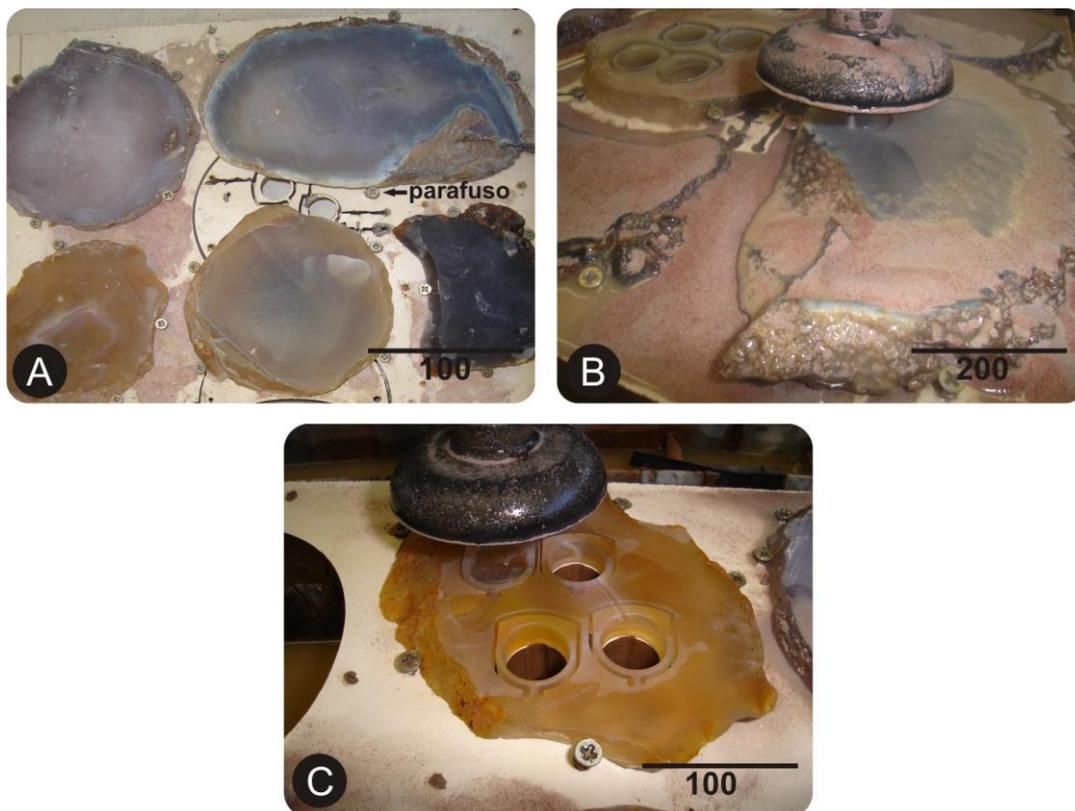
4.6 Corte: anéis em ágata

Inicialmente, as chapas foram fixadas com parafusos nas porções laterais em uma placa MDF (Figura 47A). Em seguida, teve início o corte com o jato de água e abrasivos (Figura 47B), sendo possível observar o grande volume de abrasivo utilizado para o corte. E, por fim, os anéis cortados, presos a chapa de ágata (Figura 47C).

Para retirada dos anéis da chapa de ágata, foi utilizado o equipamento da marca Lapidart[®], pois, como o projeto contempla uma porção não recortada pelo jato de água (linha de início e linha final do corte), esse processo deve ser realizado manualmente. O equipamento possui lubrificação mantida por água (Figura 48A) para amenizar a temperatura do material a ser cortado (quando este permanecer em contato com a serra por um longo período), evitando, dessa forma, possíveis trincas.

Inicialmente, foi utilizada serra diamantada, com espessura de 0,4 mm (Figura 48B), para cortar a chapa de ágata e retirar os anéis. Posteriormente, foi realizado o processo de acabamento nos adornos, com lixas de granulometria 320 e 100.

Figura 47: Corte do anel em chapa de ágata.



(A) Chapas de ágata, fixadas com parafuso em MDF; (B) Corte dos anéis em jato d'água com abrasivo de corte; (C) Chapa de ágata em processo final de corte. Escala da régua em milímetros.

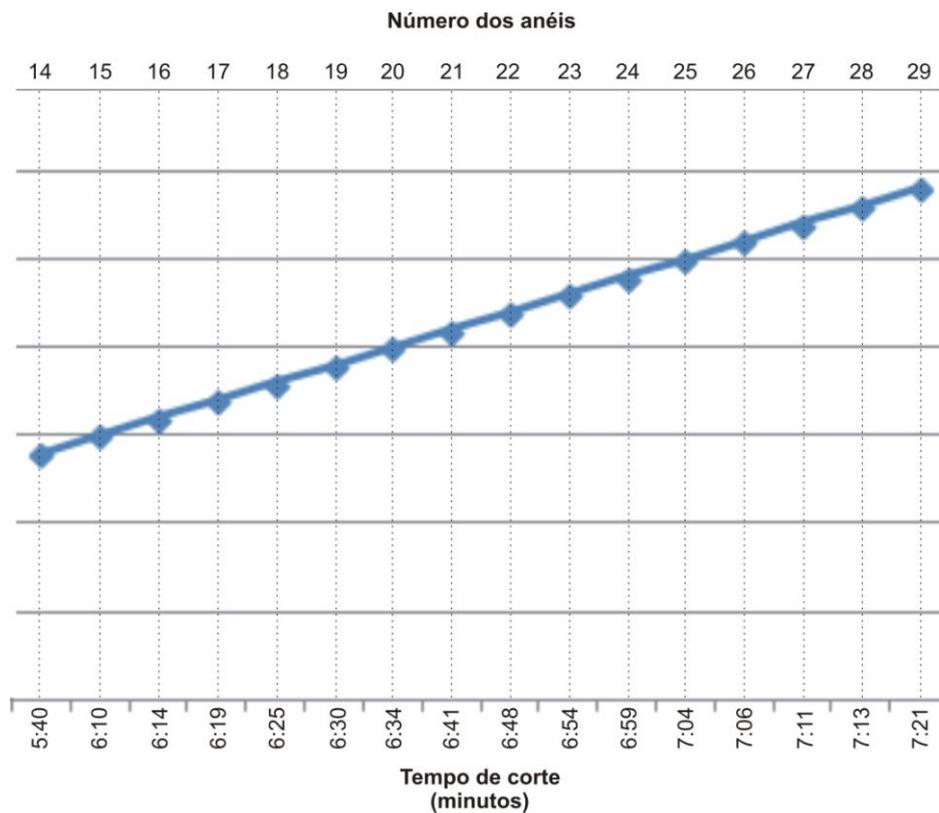
Figura 48: Máquina de corte para pequenas peças.



(A) Máquina de corte da marca Lapidart®, com serra diamantada e lixa para acabamento; (B) Detalhe ampliado: retirada do anel cortado pelo equipamento de corte por jato d'água.

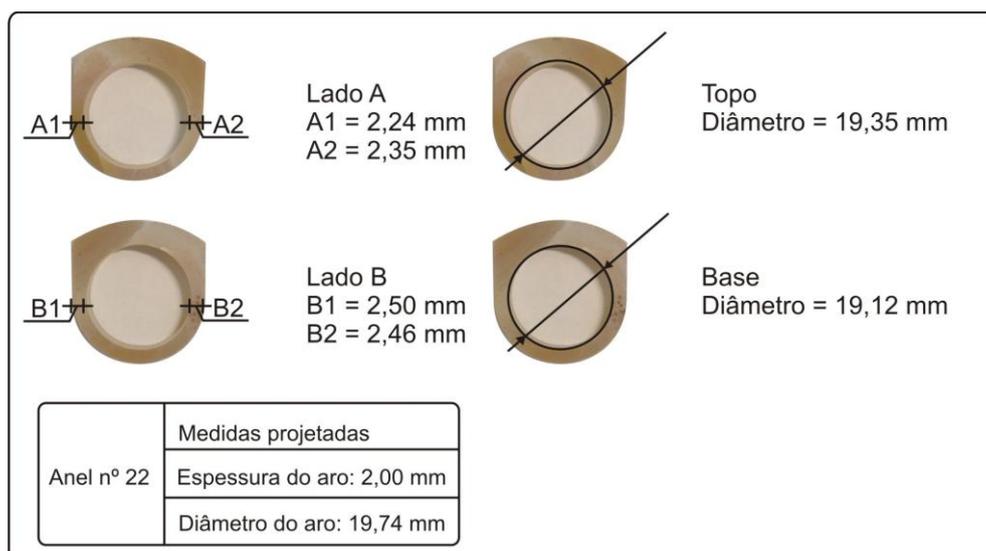
O tempo de corte para cada anel foi diferenciado devido ao diâmetro interno do aro dos anéis (Figura 49). O diâmetro interno do aro dos anéis está representado pelo número dos adornos, comumente identificado pelo mercado joalheiro.

Figura 49: Gráfico indicando o número dos anéis e o tempo utilizado para o corte de cada adorno.



Após o corte da peça (Figura 50), foi possível aferir as medidas, e o resultado foi diferente daquele projetado para o aro e o diâmetro do anel.

Figura 50: Anel cortado com jato d'água e abrasivos, visualização de medidas do aro e diâmetro.



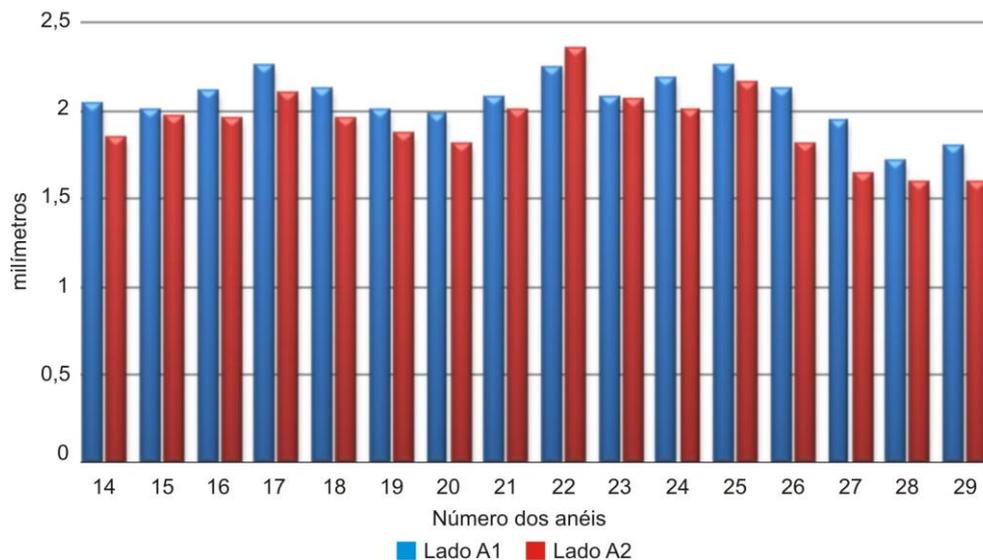
O corte dos anéis obedeceu ao padrão do equipamento com *offset* de 0,6 mm para todo o desenho. A análise gráfica realizada com os resultados obtidos, após aferir

as medidas dos anéis e alianças, demonstrou que, em algumas das peças, a espessura projetada de 2 mm para o aro dos adornos não foi atingida, mas, para a maioria das peças, esse valor foi superior.

Para o Lado A1 dos anéis (Figura 51) e alianças (Figura 53), a medida projetada para o aro dos adornos foi obtida em algumas das peças, porém, para as demais (Lado A2), essa medida foi inferior, não sendo possível identificar o motivo pelo qual tal fato aconteceu.

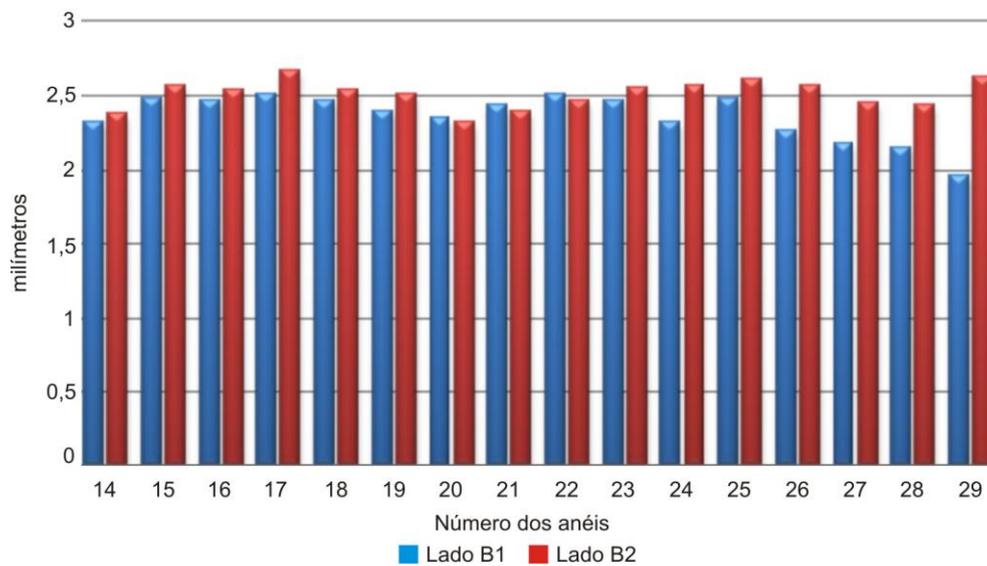
Em relação ao Lado B (B1 e B2) dos anéis (Figura 52) e alianças (Figura 54), as medidas aferidas foram superiores a 2 mm — esse fato deve-se à influência exercida pela espessura do jato de água quando atinge a parte final da chapa de ágata.

Figura 51: Visualização gráfica em relação à espessura dos anéis (2 mm), com a representação numérica de 14 a 29 (Lado A).



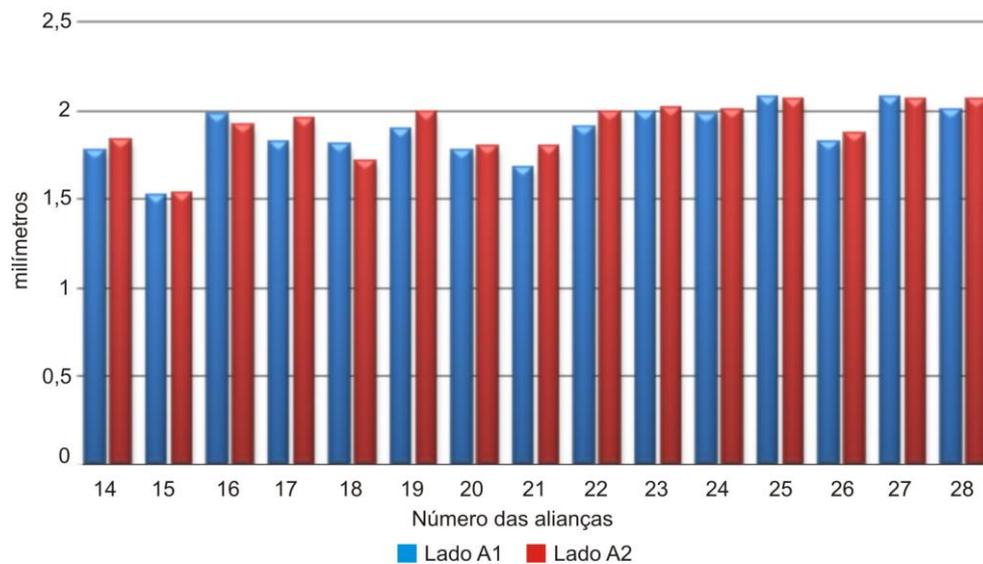
Escala da régua em milímetros.

Figura 52: Visualização gráfica em relação à espessura dos anéis (2 mm), com a representação numérica de 14 a 29 para o Lado B dos anéis.



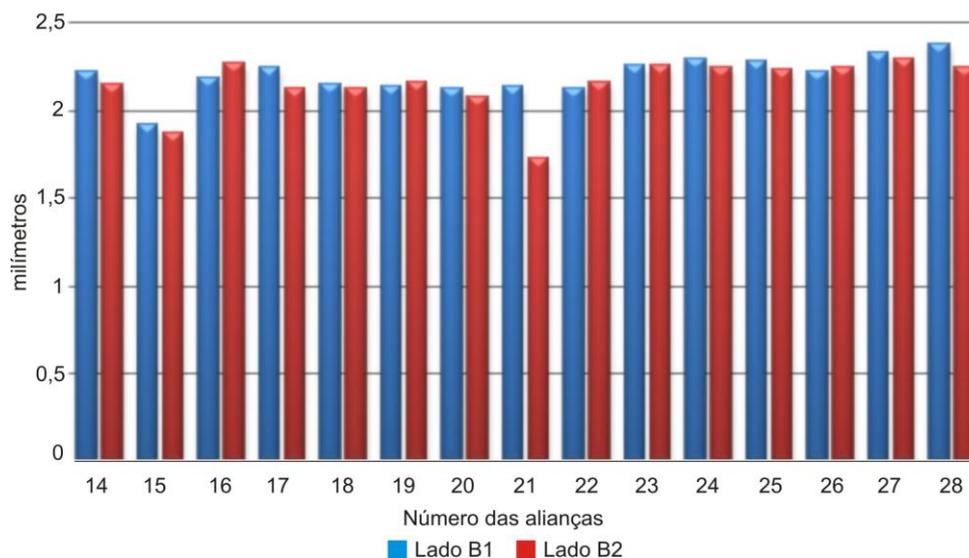
Escala da régua em milímetros.

Figura 53: Visualização gráfica em relação à espessura das alianças (2 mm), com a representação numérica de 14 a 28 para o Lado A das alianças.



Escala da régua em milímetros.

Figura 54: Visualização gráfica em relação à espessura das alianças (2 mm), com a representação numérica de 14 a 28 para o Lado B das alianças.

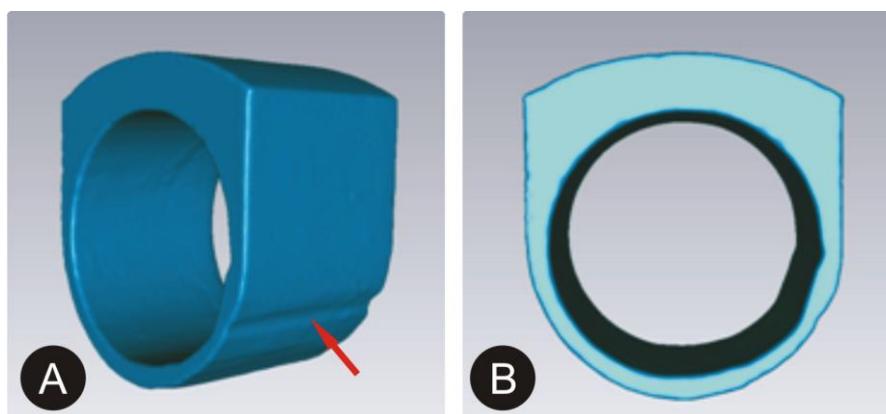


Escala da régua em milímetros.

4.7 Digitalização

Para observar as imperfeições ocorridas com o corte dos protótipos, foi utilizado o equipamento de digitalização a *laser* Digimil 3D. Com a utilização do processo de digitalização, foi possível observar a perda de material gemológico (Figura 55A) ocorrida no protótipo 2 e a diminuição de espessura em todo o aro do anel, evidenciado na Figura 55B. As imagens foram geradas pelo programa *Geomagic Studio 10*, para a visualização tridimensional do anel.

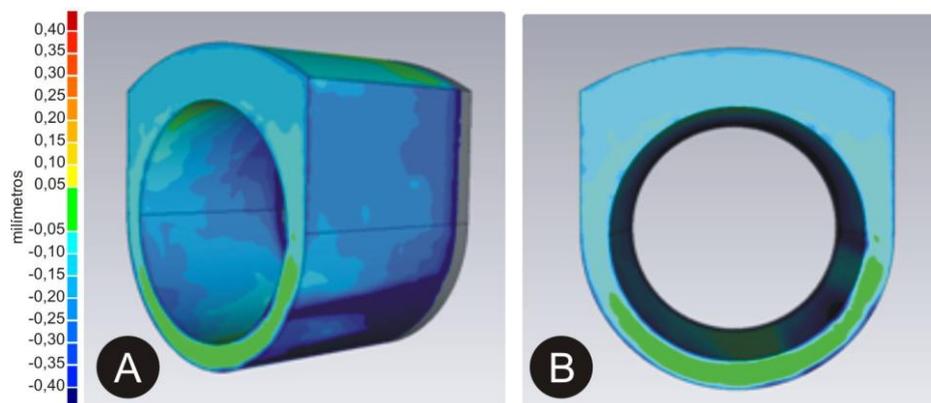
Figura 55: Imagem gerada a partir da digitalização do protótipo 2.



(A) vista lateral do anel após o corte por jato d'água, indicando perda de material gemológico; (B) vista frontal do anel, indicando as diferenças de espessura em todo o aro do anel, representada pela cor azul escuro.

O desenho modelado em *software* possuía 12 mm para a largura de chapa do anel, no entanto a espessura de chapa de ágata utilizada para o corte do anel foi de 10 mm. Essa diferença é visualizada na Figura 56A, onde é possível observar o anel modelado (cor cinza escuro) e o anel cortado em chapa de ágata (cor azul). O resultado da sobreposição das imagens demonstra que houve diminuição de espessura do aro do anel, além de perda do material gemológico, indicado pela cor azul escura. A cor verde aparente na Figura 56B indica o limite de tolerância analisado em *software* para a sobreposição das imagens.

Figura 56: Protótipo 2 — imagens digitalizadas, sobrepostas ao desenho original, geradas pelo *software* Geomagic Qualify.



(A) Vista lateral do anel: a cor azul escuro indica o local onde houve perda de material gemológico do adorno cortado em equipamento por jato d'água e a cor cinza representa o anel modelado em *software*;
(B) Vista frontal do anel: a cor verde representa o limite de tolerância para o início da análise da peça desenhada em *software* e o adorno cortado por jato d'água. Escala da régua em milímetros.

4.7.1 Sobreposição das Imagens Digitalizadas dos Anéis e Alianças após o Polimento

A análise da sobreposição dos arquivos digitalizados, realizada para aferir o desgaste dos anéis e alianças após ser realizado o processo de polimento, denotou desgaste de -0,12 mm, para o Lado A, e -0,09 mm, para o Lado B (anéis), e -0,12 mm, para alianças. O desvio-padrão para o Lado A dos anéis foi de 0,21 mm e para o Lado B, 0,23 mm. Quanto às alianças, o resultado obtido foi de 0,31 mm, para o Lado A, e 0,20 mm, para o Lado B.

Os anéis e alianças cortados por jato d'água apresentam borda afiada, o que poderia causar ferimento ao usuário quando de sua utilização — sendo assim, as peças foram enviadas ao polimento. O processo de polimento funciona com um sistema de tombamento das peças, em giro de 360°, com material abrasivo, por três dias consecutivos, e o resultado é o arredondamento das bordas dos adornos.

A sobreposição dos arquivos digitalizados dos adornos, após o corte e após o polimento, indicou o desgaste ocorrido nas peças, identificado pela cor azul escuro. O

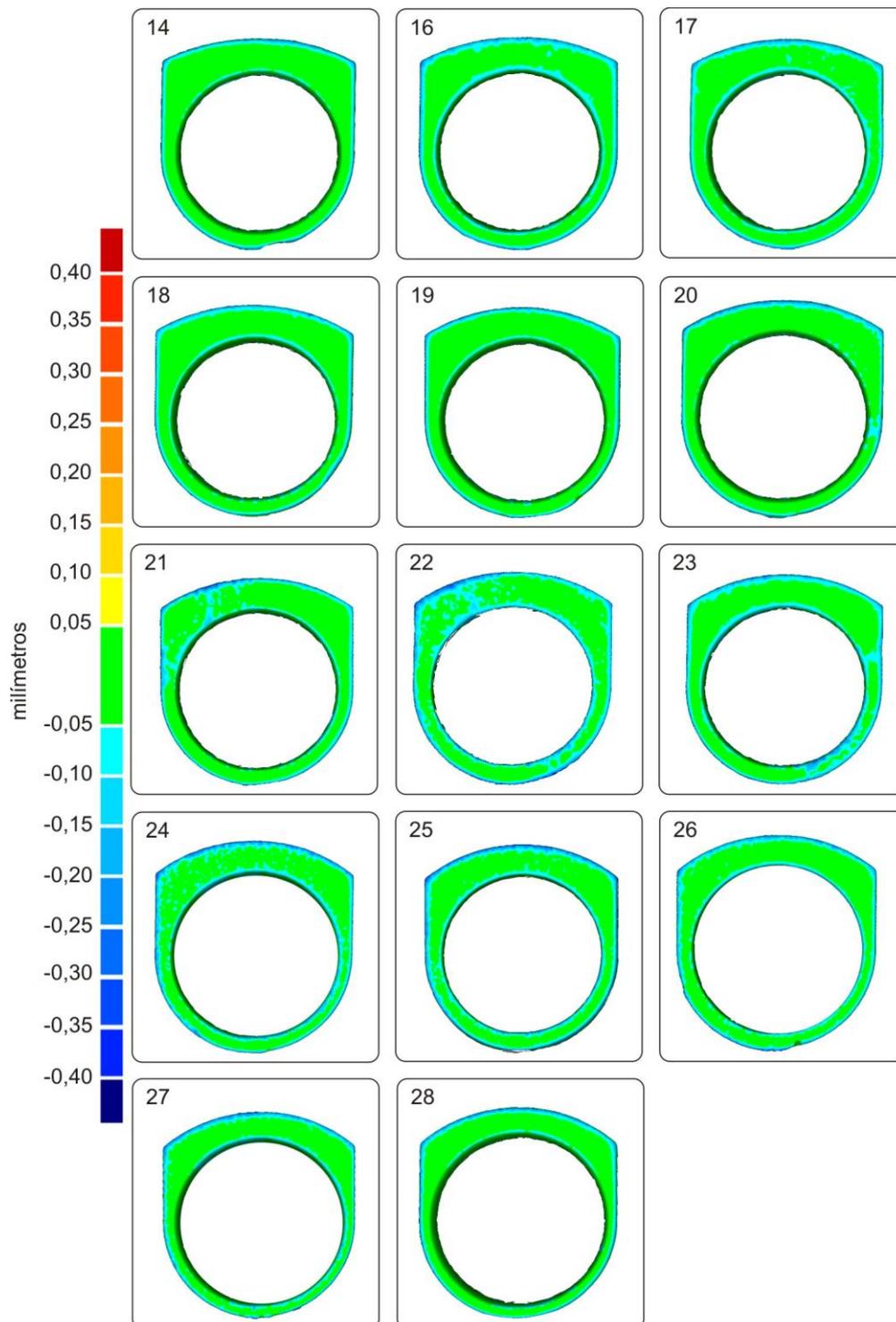
desgaste ocorreu exatamente nas bordas externas e internas das peças, provocando o arredondamento dos cantos. Esse é um fator positivo em relação ao uso posterior dos adornos, pois não irá causar lesões ao usuário quando da utilização das peças.

O *software* identifica os pontos de desgaste ocorrido nos adornos, através de cores e valores. Comparando o resultado das imagens com a régua colorida ao lado das figuras 57, 58, 59 e 60, é possível observar que, quanto mais escura a coloração, maior será o desgaste, ou seja, o valor será negativo, pois o processo de polimento retirou uma pequena camada do material gemológico dos adornos. Essa camada retirada pelo processo de polimento não é observada a olho nu, pois somente se percebe o arredondamento das bordas.

Durante o processo de corte por jato d'água, o anel de número 15 trincou na parte superior, não sendo possível realizar a comparação de imagens, pois uma parte do anel foi perdida durante o processo de polimento.

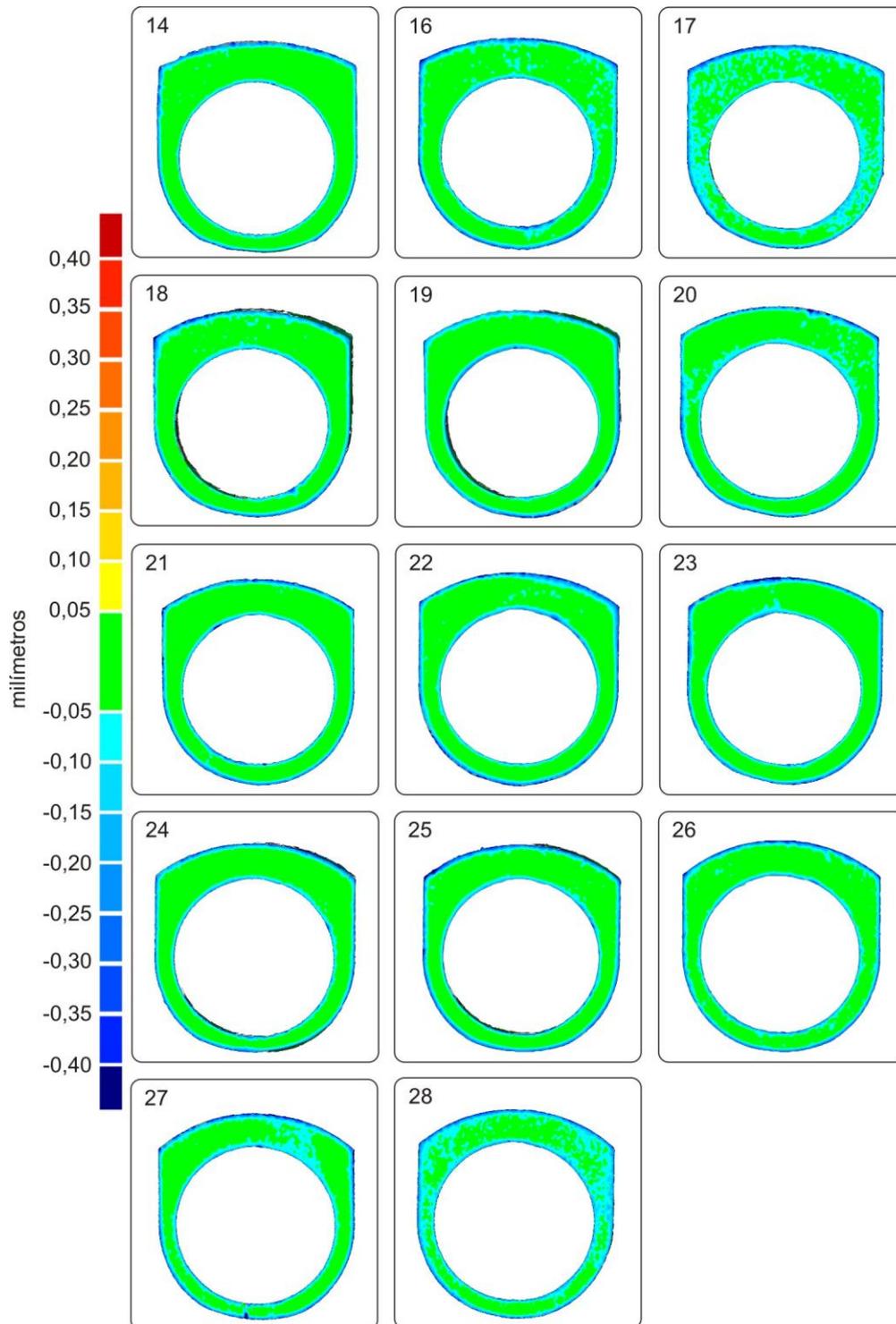
A análise das imagens (figuras 57, 58, 59 e 60) permite observar a diferença de espessura em ambos os lados, A e B, dos adornos. A diferença de espessura do aro dos anéis e alianças ocorreu em virtude da dispersão do jato de água do bico de corte do equipamento, que possui as dimensões aumentadas quando o jato de água e abrasivos atinge a parte final da chapa a ser cortada. Essa diferença também está relacionada à espessura de chapa de ágata: quanto maior for a espessura, maior será a diferença nos lados A e B dos adornos.

Figura 57: Sobreposição dos arquivos (Lado A dos anéis). Imagens geradas pelo *software* Geomagic Quality. Os números (14 a 28) indicados na figura referem-se ao tamanho do aro dos anéis.



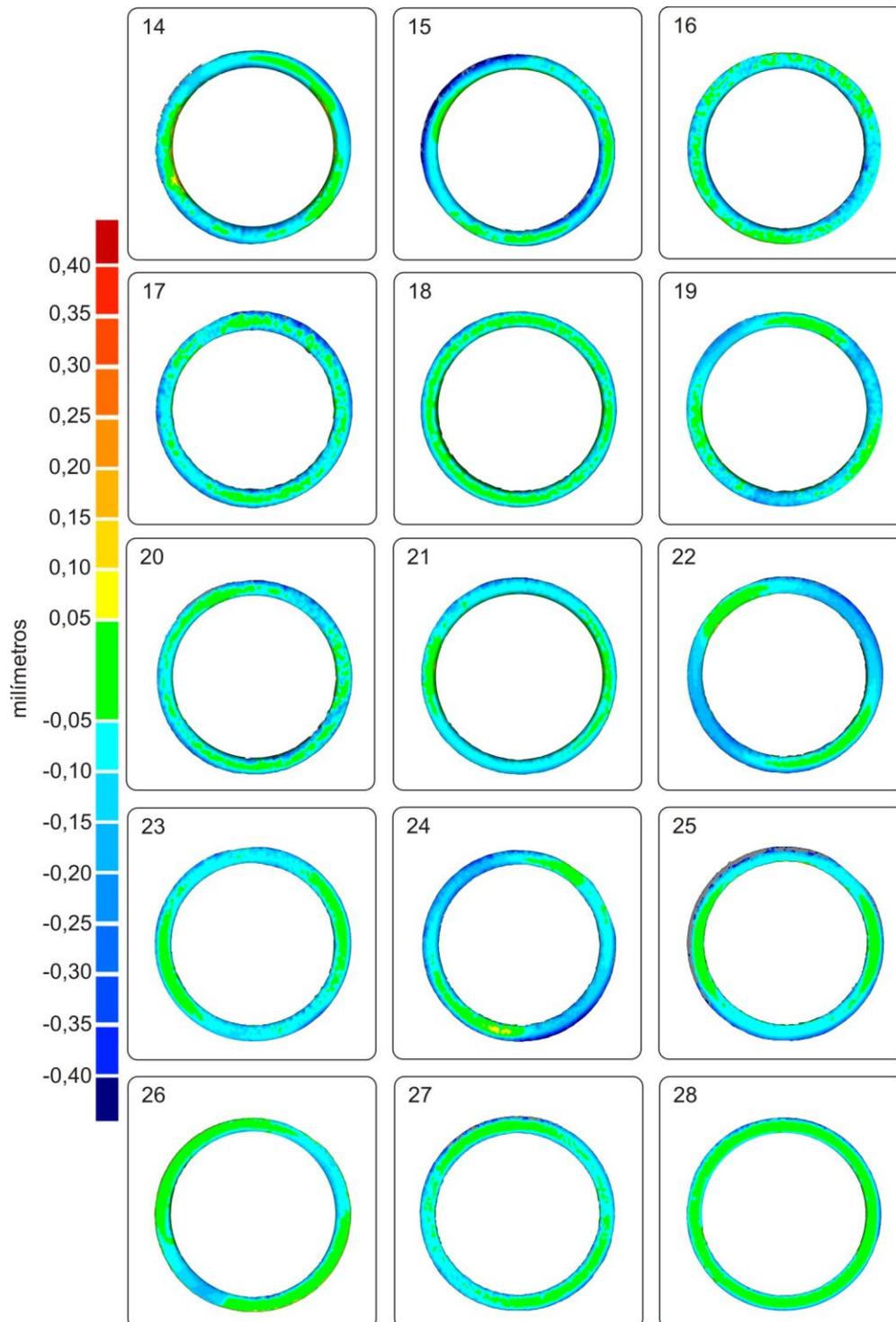
As cores identificadas pelo *software* correspondem ao desgaste ocorrido nos anéis: a cor azul escuro indica o desgaste e arredondamento das bordas dos adornos e a cor verde indica a tolerância analisada pelo *software* para sobreposição das imagens. Escala da régua em milímetros.

Figura 58: Sobreposição dos arquivos digitalizados para o Lado B dos anéis. Imagens geradas pelo *software* Geomagic Quality. Os números (14 a 28) indicados na figura referem-se ao tamanho do aro dos anéis.



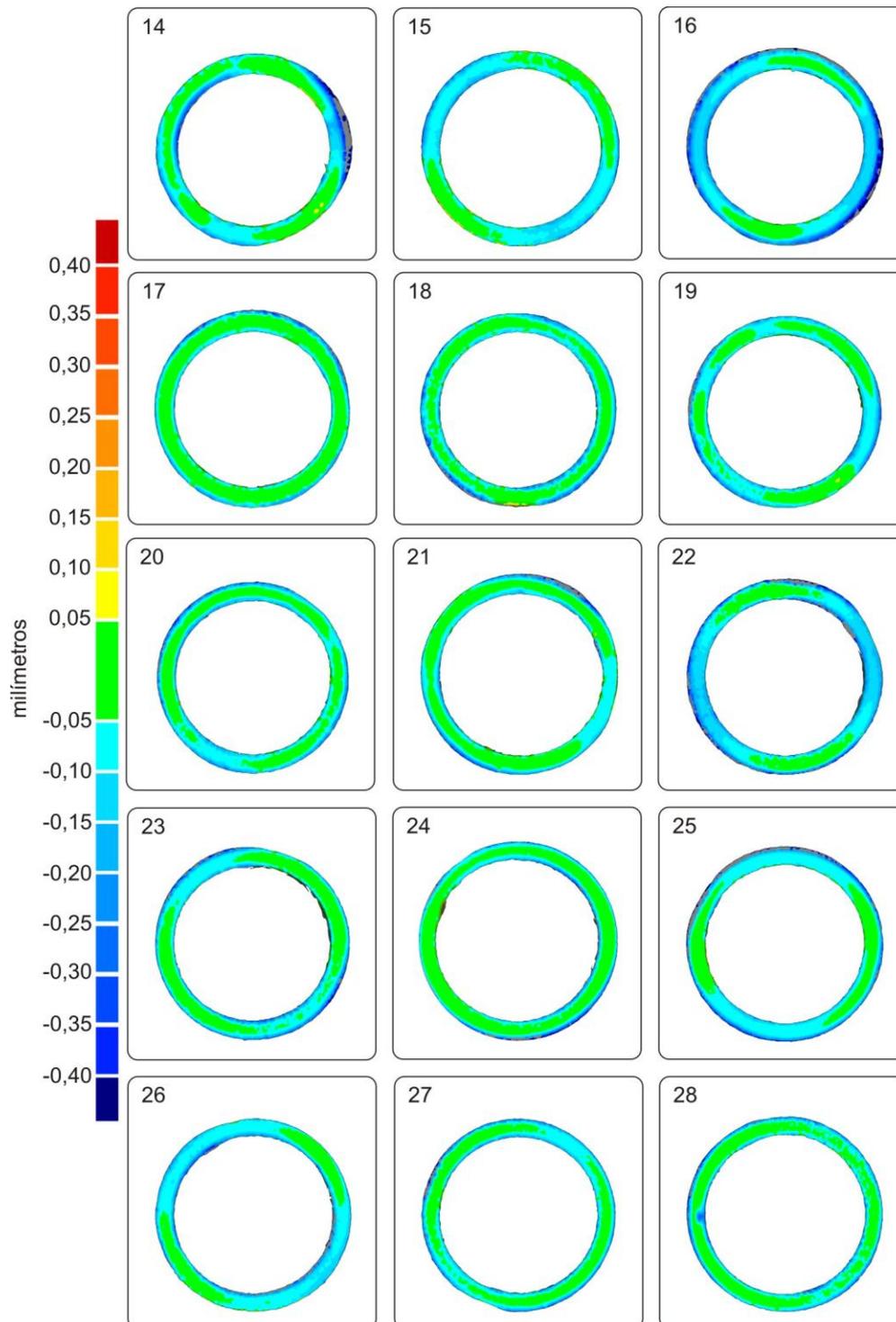
As cores identificadas pelo *software* correspondem ao desgaste ocorrido nos anéis: a cor azul escuro indica o desgaste e arredondamento das bordas dos adornos e a cor verde indica a tolerância analisada pelo *software* para sobreposição das imagens. Escala da régua em milímetros.

Figura 59: Sobreposição dos arquivos digitalizados para o Lado A das alianças. Imagens geradas pelo *software* Geomagic Qualify. Os números (14 a 28) indicados na figura referem-se ao tamanho do aro das alianças.



As cores identificadas pelo *software* correspondem ao desgaste ocorrido nas alianças. A cor azul escuro indica o desgaste e arredondamento das bordas dos adornos (essa coloração aparece em algumas das peças), a cor azul indica que o desgaste foi menor na maioria dos adornos e a cor verde indica a tolerância analisada pelo *software* para sobreposição das imagens. Escala da régua em milímetros.

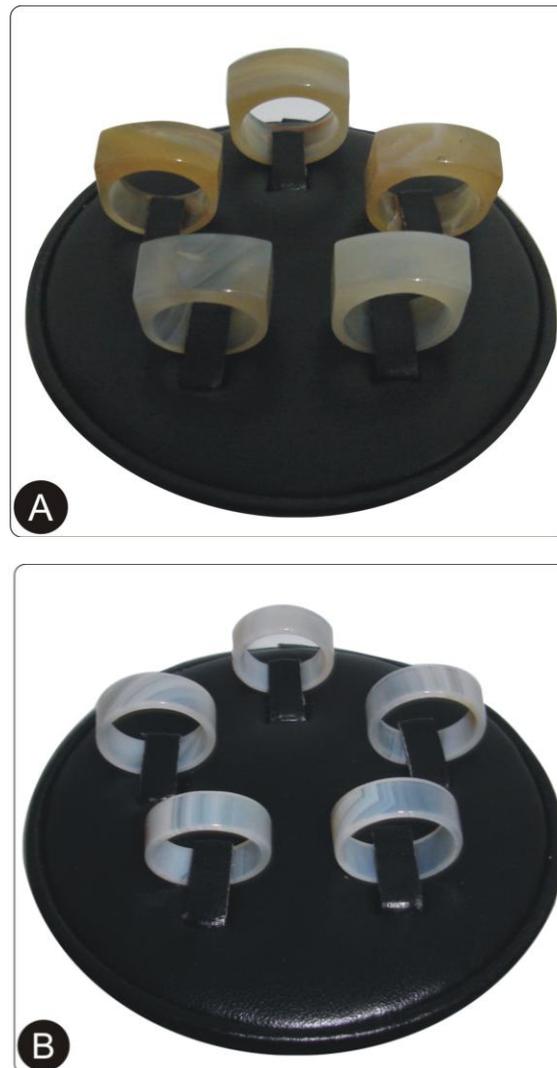
Figura 60: Sobreposição dos arquivos digitalizados para o Lado B das alianças. Imagens geradas pelo *software* Geomagic Quality. Os números (14 a 28) indicados na figura referem-se ao tamanho do aro das alianças.



As cores identificadas pelo *software* correspondem ao desgaste ocorrido nas alianças. A cor azul escuro indica o desgaste e arredondamento das bordas dos adornos (essa coloração aparece em algumas das peças), a cor azul indica que o desgaste foi menor na maioria dos adornos e a cor verde indica a tolerância analisada pelo *software* para sobreposição das imagens. Escala da régua em milímetros.

Os anéis (Figura 61A) e alianças (Figura 61B) foram cortados utilizando chapas de ágata natural, apresentando características diferenciadas após o processo de polimento, agregando valor ao produto, além de ser um adorno diferenciado quanto ao processo de fabricação. O corte por jato d'água possibilitou agilidade no processo de corte dos adornos, confeccionando-se mais peças em menos tempo, assim como se trata de um processo seguro de ser realizado pelo operador do equipamento.

Figura 61: (A) Anéis em ágata; (B) Alianças em ágata.



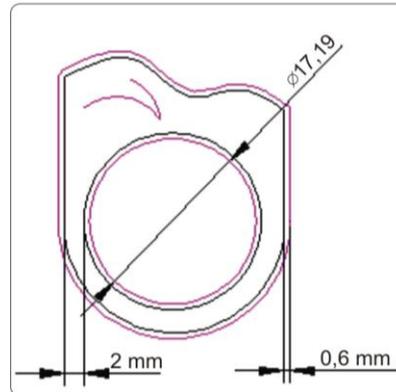
4.8 Anéis em ágata: modelos diferenciados

4.8.1 Modelagem de Novos Anéis

A sequência para o desenvolvimento de um adorno possibilitará ao leitor o melhor entendimento do processo.

O primeiro passo é a modelagem do anel em *software* AutoCad®, conforme Figura 62, acrescentando as linhas interna e externa (cor rosa), com distância de 0,6 mm. Dessa forma, as medidas projetadas serão mantidas quando o equipamento realizar o corte na chapa de ágata.

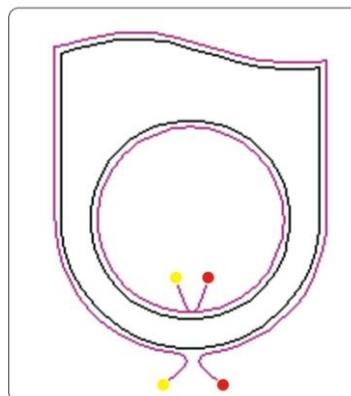
Figura 62: Desenho do anel em *software* AutoCad®.



Anel modelado com medidas de diâmetro interno e paredes laterais.

O modelo desenhado deve ser modificado, acrescentando-se pontos de entrada e saída do jato d'água (Figura 63), indicados respectivamente pelos círculos de cores amarelo e vermelho.

Figura 63: Desenho do anel com indicação de entrada (círculo amarelo) e saída (círculo vermelho) do jato d'água. Linha na cor rosa: local onde o jato de água irá realizar o corte.



A velocidade utilizada para o corte dos anéis foi de 10 mm/s e a altura da chapa de ágata, 12 mm. O tempo de corte pode variar de 5 min a 7 min em virtude do diâmetro e do modelo da peça.

Um modelo similar aos anéis (figuras 64A, 64B, 64C) foi refeito no *software* Rhinoceros® que permite a visualização tridimensional da peça com textura próxima a de um material gemológico, nesse caso, a ágata. As peças possuem superfícies

alternando entre alto e baixo e somente a Figura 64B possui um detalhe na parte frontal.

Figura 64: Modelos de anéis em ágata após renderização em *software*.

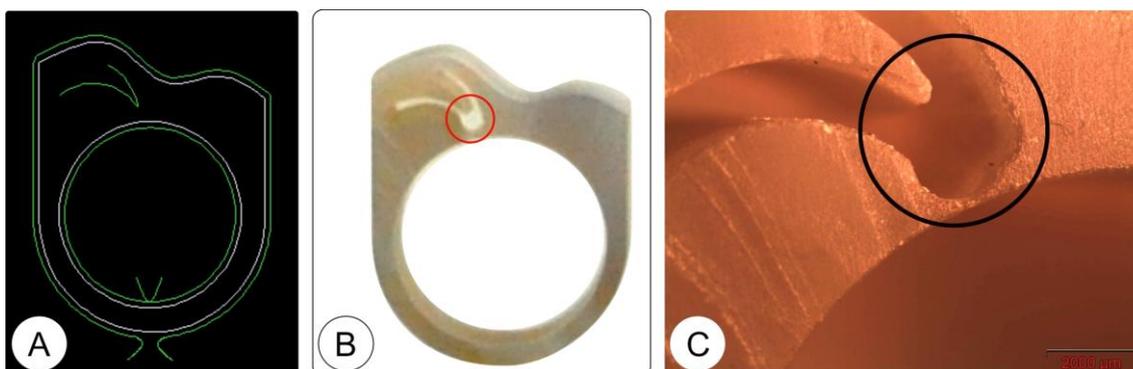


(A) Anel com linha em formato onda suave; (B) Anel com detalhe interno de corte; (C) Anel com linha formando ângulo de 30°.

4.8.2 Análise em Microscópio Estereoscópico

O anel (Figura 65A) foi desenhado contendo um detalhe na parte frontal da peça. Depois de realizado o corte, foi possível observar que a união das linhas deveria ter formato pontiagudo, no entanto, ficou arredondado. O motivo foi que o programa do equipamento identificou linhas distintas e não um segmento de linhas, e, dessa forma, iniciou uma nova linha para corte. Esse detalhe pode ser visualizado na Figura 65B (peça pronta) e com ampliação da imagem em microscópio estereoscópico em 2.5x, e escala de 2000 μm (Figura 65C).

Figura 65: Desenho de anel com detalhe do corte na parte superior da peça.

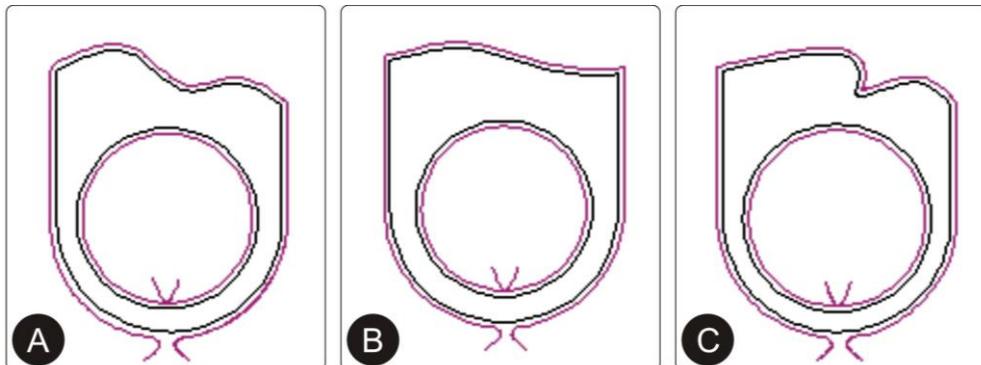


(A) Desenho do anel, linha verde (local onde o jato d'água irá cortar); (B) Anel em ágata com detalhe interno do corte arredondado; (C) Imagem ampliada do local onde o jato d'água e abrasivos parou por alguns segundos, causando o arredondamento do segmento de linha. Imagem captada pelo microscópio estereoscópico.

Com o resultado anterior, deve-se ter atenção ao posicionamento das linhas, para que não ocorra o arredondamento. Sendo assim, o anel foi remodelado sem a

linha interna (Figura 66A) e mais duas peças diferenciadas (figuras 66B e 66C) foram cortadas.

Figura 66: Modelagem de anéis com indicação de linhas de corte (cor rosa).



(A) Anel com linha em formato onda suave; (B) Anel com estrutura frontal lisa; (C) Anel com linha externa superior formando ângulo de 30°.

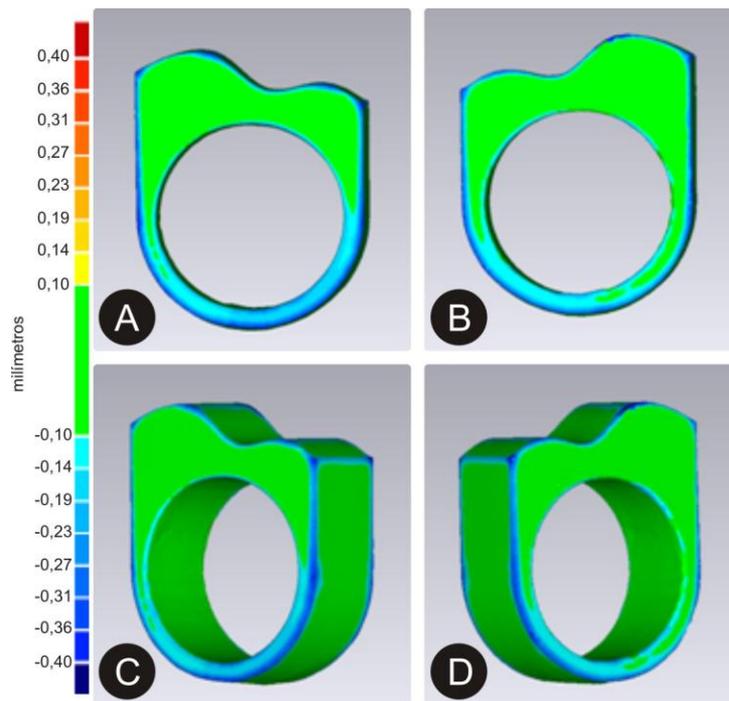
Os modelos desenvolvidos tiveram algumas modificações em relação ao formato inicialmente projetado devido à abertura do jato d'água. Se os desenhos possuíssem muitos detalhes internos, haveria a possibilidade de perder a peça; por esse motivo, o desenho permaneceu com linhas simples, mas com aspecto delicado depois de efetuado o corte.

4.8.3 Digitalização dos Anéis e Sobreposição das Imagens

Os anéis modelos A, B e C (Figura 66) foram digitalizados depois de serem cortados e polidos. O limite de tolerância foi alterado para 0,10 mm devido à complexidade de digitalização e montagem das imagens em *software*.

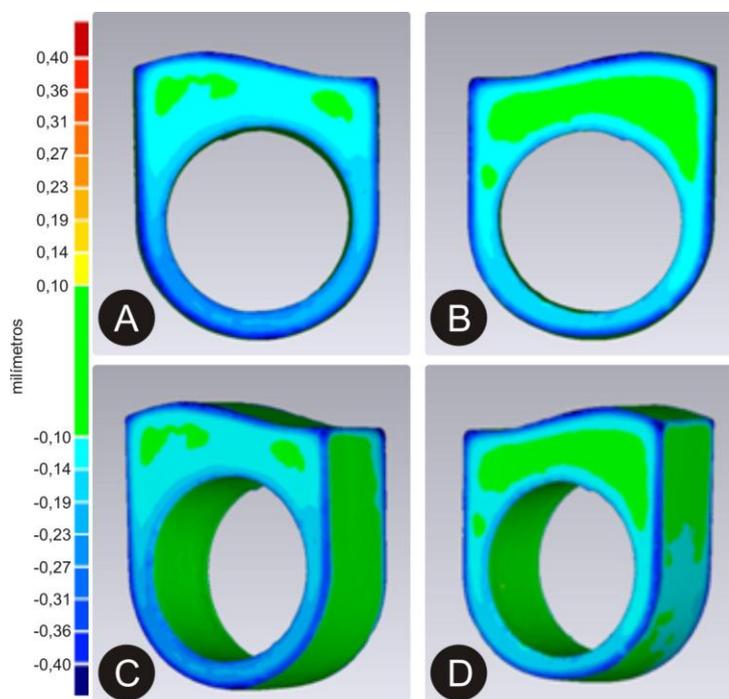
As análises realizadas para os anéis modelo A (Figura 67), modelo B (Figura 68) e modelo C (Figura 69) indicam a ocorrência de arredondamento das bordas (cor azul escuro) para todos os adornos. A observação realizada para o anel modelo B (Figura 68) foi de que a espessura do aro após o corte foi superior a 2 mm, sendo identificada após a verificação da medida com paquímetro e pelo processo de digitalização. Quanto ao anel modelo C (Figura 69), a análise de imagens demonstrou que houve desgaste (cor azul escuro) no Lado B da peça. Devido à curvatura acentuada do modelo C (Figura 69), a digitalização não ocorreu de forma correta, pois o *laser* não alcançou o ponto mais baixo da curvatura — sendo assim, quando a montagem das imagens foi realizada, a coloração naquele local ficou acinzentada.

Figura 67: Sobreposição de arquivos das imagens digitalizadas: anel sem polir e anel polido, modelo A.



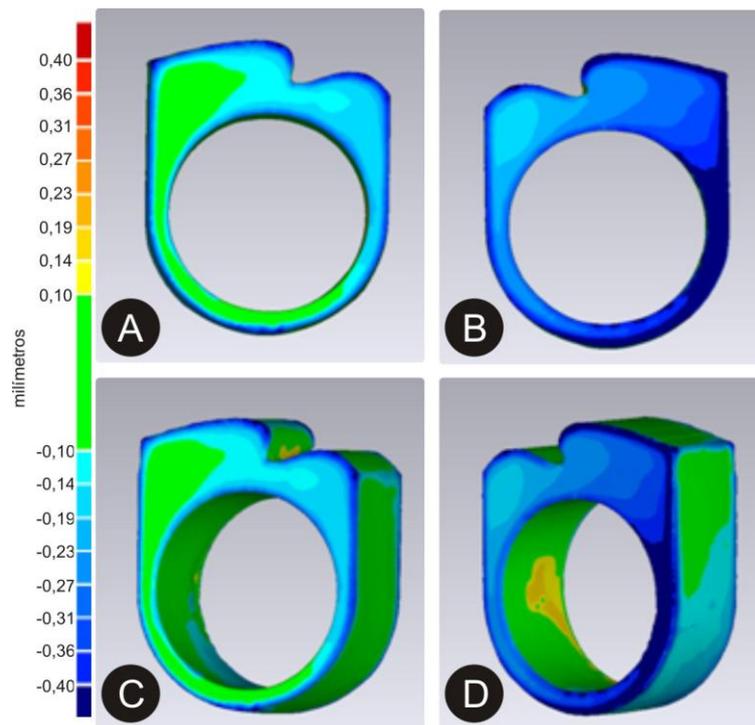
A cor azul escuro representa o desgaste ocorrido na borda do adorno, a cor azul claro caracteriza o menor desgaste, a cor verde indica o limite de tolerância analisado pelo *software* para as imagens digitalizadas do anel sem polir e do anel polido. As letras A e C representam o Lado A do adorno e as letras B e D, o Lado B. Escala da régua em milímetros.

Figura 68: Sobreposição de arquivo das imagens digitalizadas: anel sem polir e anel polido, modelo B.



A cor azul escuro representa o desgaste ocorrido na borda do adorno, a cor azul claro caracteriza o menor desgaste, a cor verde indica o limite de tolerância analisado pelo *software* para as imagens digitalizadas do anel sem polir e do anel polido. As letras A e C representam o Lado A do adorno e as letras B e D, o Lado B. Escala da régua em milímetros.

Figura 69: Sobreposição de arquivo das imagens digitalizadas: anel sem polir e anel polido, modelo C.



A cor azul escuro representa o desgaste ocorrido na borda do adorno, a cor azul claro caracteriza o menor desgaste, a cor verde indica o limite de tolerância analisado pelo *software* para a imagem digitalizada do anel sem polir e do anel polido e a cor amarela indica uma região onde a digitalização não ocorreu de forma adequada devido ao ângulo de incidência do *laser*. As letras A e C representam o Lado A do adorno e as letras B e D, o Lado B. Escala da régua em milímetros.

O tempo de execução do processo de polimento foi o mesmo para todos os ensaios realizados durante o período da pesquisa, no entanto, para esse último ensaio, referente aos anéis modelos A (Figura 67), B (Figura 68) e C (Figura 69), o desgaste foi acentuado, não sendo possível identificar o motivo de tal ocorrência. A média de desgaste analisada para os modelos A, B e C foi de -0,03 mm e o desvio-padrão para esses adornos foi de 0,10 mm.

O resultado após a análise de imagens demonstra que o arredondamento das bordas foi caracterizado em todos os adornos, sendo um ponto positivo, pois, dessa forma, torna-se confortável ao ser pressionado entre os dedos das mãos, não causando ferimento ao usuário por não mais existir pontas afiadas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Rio Grande do Sul é o maior produtor mundial de ágata, que é um dos materiais gemológicos mais utilizados pelas empresas de beneficiamento localizadas em Soledade e municípios próximos. Dentre os produtos feitos em ágata, os anéis são o objeto de estudo desta pesquisa.

Esse estudo teve como objetivo a diminuição do aro destes anéis. Por possuírem aros muito espessos e desproporcionais, o uso destes anéis causa incômodo quando de sua utilização. A proposta é a fabricação de anéis em ágata, por processos alternativos. Para isto, foi utilizado o equipamento de corte por jato d'água, que reproduz com precisão de medidas diversas peças, que podem ser projetadas em *software*. Esta tecnologia permite a execução de projetos de anéis com aros muito menos espessos do que os encontrados nos anéis fabricados atualmente.

O equipamento de corte por jato d'água funciona de modo que um jato de água+abrasivo, normalmente composto por grãos de granada \pm quartzo, secciona o material e se dá o desgaste por abrasão. Este processo resulta em desgaste no material cortado de modo que as espessuras nas peças projetadas não serão as mesmas espessuras obtidas nas peças finalizadas.

A partir de ensaios realizados em chapas de ágata e posteriormente em anéis, foi estabelecida a velocidade de corte de 10 mm/s para anéis com espessura de chapa de ágata de ± 12 mm e velocidade de corte de 20 mm/s para alianças cortadas com chapas de ágata de espessura de ± 10 mm, mantendo distância de 3 mm do bico de corte do equipamento e a chapa de ágata a ser cortada.

O processo de corte por abrasão não reproduz, em ambos os lados do material cortado a mesma espessura de aro projetada, visto que há espalhamento do feixe de água \pm abrasivo, que foi descrita como diferenças de espessuras entre os Lados A e B dos anéis e alianças. Quanto mais espessa for a chapa de ágata, maior será a diferença de espessura no Lado B dos adornos cortados pelo equipamento.

Os anéis recortados com esta tecnologia tiveram desempenho satisfatório frente aos processos de polimento atualmente utilizados pelas empresas que fabricam anéis em ágata, o que corrobora com a validação deste processo para a fabricação de anéis em ágata com aros menos espessos e padronizados. A análise de imagens obtidas por escaneamento tridimensional tornou possível a identificação do desgaste ocorrido após o processo de polimento dos adornos. Esse desgaste analisado pelo *software* resultou em uma escala de cores e valores (positivos e negativos) identificando que o maior desgaste (cor azul escuro) ocorreu nas bordas internas e

externas dos adornos, sendo este um ponto positivo ao final do processo, pois se os adornos contivessem arestas afiadas poderiam causar ferimentos aos usuários.

A conclusão de todo estudo foi de que anéis e alianças em ágata podem ser cortados em equipamento de corte por jato d'água desde que observados os parâmetros de corte analisados e as limitações de modelos. O corte realizado pelo equipamento diminuiu o tempo de execução do processo de fabricação, mantém as medidas de aro proporcionais, torna possível a fabricação de um mesmo modelo em grande escala e deste modo pode vir a agregar maior valor ao produto.

5.1 Sugestões para Trabalho Futuros

- Realizar ensaios com os anéis sendo utilizados por usuários para validar a pressão exercida entre os dedos das mãos;
- Realizar novos ensaios em anéis, adquirir uma nova peça de bico de corte e elaborar um estudo para diminuir a espessura do ângulo de saída da água e abrasivo;
- Avaliar a abertura entre os dedos das mãos femininas, utilizando equipamento de digitalização a laser.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERGO, Associação Brasileira de Ergonomia. Disponível em:

<http://www.abergo.org.br/internas.php?pg=o_que_e_ergonomia>. Acesso em: 13 ago. 2012.

BARP, D.R.A. **Design e Materiais: contribuição ao estudo do processo de corte de Ágata por jato d'água em formas complexas**. 2009. 95 f. Dissertação (Mestrado em *Design & Tecnologia*) – Escola de Engenharia e Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

COSTENARO, A. **Indústria de pedras preciosas: um estudo dos fatores competitivos em empresas de Soledade – RS**. 2005. f. 96. Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de pós-graduação em Administração, Área de Concentração em Estratégia e Competitividade Empresarial. Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

COSTA, L., NEUMANN R. **Quantificação das fases minerais e de amorfos por difração de raio X, método de refinamento de espectro multifásico total (método de Rietveld)**. XV Jornada de Iniciação científica – CETEM, 2007. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/serie_anais_XV_jic.php> . Acesso em 28 nov. 2012.

DEER, W. A., HOWIE. R. A., ZUSSMAN, J. **Minerais Constituintes das Rochas – uma introdução**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 1981. p. 558.

DIGIMILL *High technology*. Disponível em:

<<http://www.tecnodrill.com/produtos/5/sistemas-de-digitalizacao/11/digimill3d>>. Acesso em: 25 ago. 2012

ENGINEER'S HANDBOOK_Disponível em:

<<http://www.engineershandbook.com/MfgMethods/waterjet.htm>>. Acesso em: 27 ago. 2012.

FRONDEL, Clifford. **The system of mineralogy**. Silica minerals. Volume III. 1962.

GONÇALVES, M. C. **Microscopia eletrônica de varredura**. In: Sebastião V. Canevarolo Jr. (Org). Técnicas de caracterização de polímeros. São Paulo: Artlibur, c2004. 448p.

GOLA, Eliana. **A joia: história e design**. 1 ed. São Paulo. Senac São Paulo, 2008. 216 p.

GOMES FILHO, João. **Ergonomia do objeto: sistema técnico de leitura ergonômica**. São Paulo: Escrituras Editora, 2003.

GROOVER, M.P. **Fundamentals of Modern Manufacturing: materials, processes and systems**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1996.

GROOVER, M. P. **Fundamentals of Modern Manufacturing: materials, processes and systems**. 4th edition. Editora: Wiley, 2010.

HEEMANN, R. **Modelagem estrutural e tridimensional para a prospecção e avaliação dos depósitos de ágata do Distrito Mineiro de Salto do Jacuí (RS)**. Porto Alegre. 2005. f. 157. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Minerais. PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

IBGM. **Anuário Mineral Brasileiro**, 2010. Disponível em:

<http://www.dnrm.gov.br/relatorios/amb/Completo_2010.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2012.

IBGM. **O setor em grandes números 2010**. Relatório elaborado pelo Instituto Brasileiro de Gemas & Metais preciosos. Disponível em:

<http://www.ibgm.com.br/admin/_upload/biblioteca/documento/185-REL_2010.pdf>. Acesso em 17 set. 2012.

IBGM. **Principais tendências para 2012 – gemas e joias**. Instituto Brasileiro de Gemas & Metais preciosos. Disponível em:

<http://www.ibgm.com.br/admin/_upload/biblioteca/documento/670-Principaistendencias.pdf>. Acesso em 17 set. 2012.

IBGM. **A Jóia, o Jovem e o Luxo Emocional**. Brasília: IBGM, 2006. Disponível em: <http://ibgm.com.br/admin/_upload/biblioteca/documento/664-ajoia,ojovemeoluxoemocional.pdf>. Acesso em 14 de set. 2012.

IIDA, Itiro. **Ergonomia, projeto e produção**. 2º ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

Instituto Nacional de Tecnologia. **Ergokit**. Manual de aplicação dos dados antropométricos. Rio de Janeiro. INT, 1995.

IPAR. C.E.A.L. **Desenvolvimento para matéria-prima para impressão tridimensional a partir de rejeitos gemológicos de ágata**. 2011. 90f. Dissertação (Mestrado em *Design & Tecnologia*) – Escola de Engenharia e Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

JUCHEM, P. L., BRUM, T. M. M., RIPOLL, V. M. **O Laboratório de Gemologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul**. In: Tecnologias para o setor de Gemas, Joias e Mineração. Porto Alegre: IGEO/UFRGS. 2010.

JUCHEM, P. L., STRIEDER, A. J., HARTMANN, L. A., BRUM, T. M. M., PULZ, G. M., DUARTE, L. C. **Geologia e mineralogia das gemas do Rio Grande do Sul**. In: Roberto Lanuzzi, José Carlos Frantz. (Org.). 50 Anos de Geologia. Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade. p. 177-197, 2007.

KLEIN, C., DUTROW, B. **Manual de Ciência dos Minerais**. 23 ed. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2012. p. 706.

LAVILLE, Antoine. **Ergonomia**. São Paulo, Ed. USP-E.P.U, 1977.p.1-10.

NETTO, A. B. **The Importance of CAD/CAM Software in HSM Technology**. In: High Speed Machining: How the concepts of HSM/HSC can revolutionize the metal-mechanics industry. São Paulo: Érica, 2004

NEUMANN, R., SCHNEIDER, C. L., ALCOVER-NETO, A. **Caracterização Tecnológica de Minérios**. In: Luz, A. B. et. al. (Eds). Tratamento de Minérios. 4 ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Centro de Tecnologia Mineral, 2004, p. 55-112.

NEVES, P. C. P., FREITAS, D. V., PEREIRA, V. P., **Fundamentos de Cristalografia**. 2. ed. Canoas: Ed. ULBRA, 2011. 312p.

NOUCHI, L. D.; ECHTERNACHT, E. H. O. **O ourives e os ossos do ofício: a qualidade da joia a partir da interface entre projeto e execução na produção joalheira artesanal**. In: XXIII Encontro Nacional de Engenharia da Produção. Ouro Preto, MG. 2003.

ROSSETI, Eliânia. de M. **Desenhando joias com Rhinoceros**. São Paulo. Leon, 2011. p. 384.

SCHMITT, J. C., CAMATTI, C., BARCELLOS, R. C. **Depósitos de ametista e ágata no Estado do Rio Grande do Sul**. In: C. Schobbenhaus; E. T. Queiróz; C. E. S. Coelho. (Org.). Principais depósitos minerais do Brasil, Gemas e Rochas Ornamentais, CPRM/DNPM. Brasília. 1991, v. IV.

SCRIBD. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/3970060/Aula-61-Corte-com-jato-de-agua>>. Acesso em: 26 ago. 2012

SCHUMANN, Walter. **Gemas do mundo**. 9^o ed. São Paulo. Disal, 2006. p. 279.

SILVA, F. P. **Usinagem de espumas de poliuretano e Digitalização Tridimensional para fabricação de Assentos personalizados para pessoas com deficiência**. 2011. f. 192. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SILVA, R. **Avaliação da perda da coloração artificial das ágatas**. 2006. f. 98. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

SILVA, R. A., PETTER, C. O., SCHNEIDER, I. A. H. **Avaliação da perda da coloração artificial das ágatas**. Revista Escola de Minas. Ouro Preto. v. 60 (3). 2007. p. 477- 482.

SILVEIRA, F. L. **Uso de usinagem por jato d'água, usinagem por controle numérico computadorizado e corte a laser no Design de superfícies tácteis a partir de padrões modulares encaixáveis em ágata e cedro.** 2011. f. 152. Dissertação (Mestrado em Design & Tecnologia) – Escola de Engenharia e Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

STRIEDER, A., HEEMANN, R. **Structural Constraints on Paraná Basalt Volcanism and their Implications on Agate Geode Mineralization (Salto do Jacuí, RS, Brazil).** Pesquisas em Geociências, 33 (1): 37-50, 2006.

SVISERO, D. P., FRANCO, R. R. **A província gemológica brasileira.** In: C. Schobbenhaus; E. T. Queiróz; C. E. S. Coelho. (Org.). Principais depósitos minerais do Brasil, Gemas e Rochas Ornamentais, CPRM/DNPM. Brasília. 1991, v. IV.

TUBINO, L. C. B. **Tratamento Industrial da ágata em bruto no Estado do Rio Grande do Sul.** 1998. f. 177. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Minerais. PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1998.

VIKA. Exclusive store. Adornos em ágata. Disponível em:

<<http://www.vika.com.br/ch/bus/0/0/MaisVendidos/Decrescente/40/1/agata.aspx>>.

Acesso em: 02 set. 2012.