

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN E TECNOLOGIA**

RAFAEL CARDOSO BISINELLA

**DESIGN DE GEMAS: FRESADORA PANTOGRÁFICA PARA
GLÍPTICA EM ÁGATA**

Porto Alegre

2014

RAFAEL CARDOSO BISINELLA

**DESIGN DE GEMAS: FRESADORA PANTOGRÁFICA PARA
GLÍPTICA EM ÁGATA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design, ênfase em Design e Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Design.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Lauren da Cunha Duarte
Co-orientador: Prof. Dr. Juliano Tonezer da Silva

Porto Alegre

2014

Rafael Cardoso Bisinella

Design de Gemas: Fresadora pantográfica para glíptica em ágata

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, 18 de dezembro de 2014.

Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Lauren da Cunha Duarte
PGDesign e DEMAT/UFRGS

Co-orientador: Prof. Dr. Juliano Toner da Silva
Instituto de Ciências Exatas e Geociências - ICEG/UPF

Banca examinadora:

Prof. Dr. Pedro Luiz Juchem
PGDesign e DEMIPE/UFRGS

Prof. Dr. Fábio Pinto da Silva
PGDesign/UFRGS

Prof. Dr. Ney Francisco Ferreira
PROMEC/UFRGS

AGRADECIMENTOS

- Aos meus pais Roque e Vânia Bisinella, irmã Jéssica, família e amigos;
- Aos colegas e professores do PGDesign/UFRGS;
- Aos colegas e amigos do Centro Tecnológico de Pedras Gemas e Joias do Rio Grande do Sul;
- As pessoas que colaboraram na realização deste trabalho, em especial:
 - Juliano Tonezer da Silva
 - Lauren da Cunha Duarte
 - Pedro Juchem
 - Fernando Rocha
 - Jonas Fitz
 - Edmundo Ipar
 - João Rogério Pereira
 - Leonardo e Ângela Capelari
 - Ao auxílio de bolsa do CNPq
(Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico)

RESUMO

O estado do Rio Grande do Sul possui as maiores jazidas de ágata de que se tem conhecimento. Este material gemológico é utilizado para uma gama abrangente de aplicações em joalheria e produtos e neste formato pode elevar significativamente o seu valor de mercado. Cerca de 80% da produção de ágata é destinada à exportação, principalmente para a China e a Alemanha. O centro de beneficiamento de ágata no Brasil, que detém a maior concentração de empresas, está localizado na região de Soledade, no Rio Grande do Sul. Este município é conhecido mundialmente como polo industrial de “pedras preciosas”. Porém as tecnologias de beneficiamento de ágata das indústrias locais são bastante limitadas e com pouca inovação, sendo que o trabalho tem maior foco na comercialização direta, ou seja, em bruto, e em alguns produtos manufaturados de baixa complexidade tecnológica. Esta pesquisa trata da produção de camafeus, que são pequenas esculturas feitas normalmente em ágata e que são utilizadas na forma de broches e adornos, que em composição com ouro e prata podem se transformar em produtos de joalheria. Para tal, é proposto o desenvolvimento de um protótipo de equipamento para a confecção de camafeus, por um sistema de cópia, sendo uma adaptação de uma fresadora pantográfica. Esse protótipo foi projetado para ser utilizado pelos pequenos produtores soledadenses, que contabilizam cerca de 150 empresas cadastradas na APPE SOL (Associação dos Pequenos Pedristas de Soledade). A proposta é de uma alternativa técnica de baixo custo para a criação de produtos de alto valor agregado e a inserção de esculturas em ágata feitas no Brasil no mercado interno e externo. A copiadora de camafeus faz uso de ferramentas diamantadas e copia um modelo produzido em outro material. Ensaios iniciais apontam que camafeus em ágata podem ser executados com esta técnica, porém há a possibilidade de inúmeros materiais gemológicos serem beneficiados também.

Palavras Chave: ágata, glíptica, camafeus, design de gemas, copiadora pantográfica

ABSTRACT

The state of Rio Grande do Sul has the biggest agate deposits, this gemological material is used for a wide range of applications in jewelry and products, increasing significantly its value on the market. About 80% of agate production is exported mainly to China and Germany. The agate processing center in Brazil which holds the largest concentration of companies is located in Soledade, Rio Grande do Sul. This municipality is known worldwide as the gems industrial center. However, the processing technology of the local companies are quite limited, with little innovation, whereas being focused on the direct marketing, in other words, in the raw state, and in some manufactured products with low technological complexity. This research is about the cameo production, which are small sculptures usually made of agate and used in the form of brooches and ornaments, that in composition with gold and silver turn into jewels. In order to achieve this is through the development of an mechanism prototype to produce the cameos, using a copying system by adapting a pantograph milling machine. This prototype was designed to be used by small producers which account for 150 companies registered at APESOL (Small Gems Producers Association of Soledade). The proposal is a low – cost alternative technique for creating products and insertion of agate sculptures produced in Brazil's national and international markets. The cameo copy machine makes use of diamond tools, that copies from a model made of different material. Initial tests show that agate cameos can be produced using this technique and other gemological materials can use this technique as well.

Keywords: Agate, glyphi, design of gems, cameos pantograph copy milling machine.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Descarte de material gemológico em quintal de indústria de beneficiamento de ágata	7
Figura 2: Escaravelho gravado em pedra: Antigo Egito.....	8
Figura 3. Diferenças no relevo, positivo e negativo, das esculturas que diferenciam camafeus de entalhes, respectivamente.....	10
Figura 4: (A) Oficina antiga em Idar-Oberstein e (B) Esquema de lapidação com rodas de arenito	11
Figura 5: (A) Artesão executando pequenos detalhes com um formão; (B) Conchas: matéria-prima para esculturas, e (C) Peça pronta	12
Figura 6. Gravação em ágata com auxílio de torno fixo, o material gemológico é levada até a ferramenta	12
Figura 7. (A) Motor Foredom com chicote e (B) diferentes ferramentas diamantadas.....	13
Figura 8. Esquema de corte para escultura de um leão, remoção dos blocos principais na gema	14
Figura 9. Esculturas Chinesas, localizadas no “CTPGJRS”.....	14
Figura 10. Calcedão e camafeu	15
Figura 11. Geodo de ágata bandada.....	16
Figura 12. Schumann mostra as etapas para confecção de um camafeu tradicional em ágata	16
Figura 13. Esculturas em calcita e geodos de ametista, feitos pela empresa soledadense Pedra e Pássaros	17
Figura 14 – Esquema de funcionamento de usinagem por ultrassom	18
Figura 15 – Mapa gemológico da região sul do Brasil (PR, SC e RS)	21
Figura 16 – Garimpo de extração de ágata em Salto do Jacuí/RS	22

Figura 17 – Geodos separados para classificação	22
Figura 18 – Amostras de ágata do garimpo.....	23
Figura 19 – Principais produtos fabricados em Soledade.....	29
Figura 20 – Resumo dos equipamentos utilizados pelas indústrias em Soledade.....	30
Figura 21 – Fluxograma etapas comuns de beneficiamento de ágatas nas empresas soledadenses.....	32
Figura 22 – Projeto de pantógrafo para usinagem em madeira.....	38
Figura 23 - Equipamento pantográfico Zirkonzahn.....	39
Figura 24 – Tipos de pantógrafo e gravações.....	40
Figura 25 – Motores Foredom Electric Co.....	41
Figura 26 – Brocas diamantadas KG Sorensen.....	42
Figura 27 – Fluxograma estrutura de funções.....	48
Figura 28 - Desenho Conceitual 1.....	51
Figura 29 - Desenho Conceitual 2.....	52
Figura 30 – Maquete de simulação tridimensional de movimentos.....	53
Figura 31 - Conceito estrutural com rolamentos lineares.....	54
Figura 32 - Conceito estrutural com rolamentos guias lineares.....	54
Figura 33 – Dimensões importantes: área de trabalho e distância entre eixos.....	56
Figura 34 – Apresentação das peças do equipamento.....	58
Figura 35 - Vista explodida das peças 10 e 11.....	60

Figura 36 - Conjunto Superior.....	61
Figura 37 - Movimentos de Rotação em eixo Z e X.....	62
Figura 38 – etapas de fabricação.....	63
Figura 39 – Equipamento Pronto.....	64
Figura 40 – Sistema de água.....	64
Figura 41 – Postos de trabalho.....	65
Figura 42 – Alcances sobre a mesa.....	66
Figura 43 - Fabricação de apalpadores.....	68
Figura 44 - Ensaio 1: Molde de Camafeu em latão e ágata.....	70
Figura 45 - Ensaio 2: Molde circular em cibatoool e ágata.....	71
Figura 46 - Ensaio 3: Molde circular em cibatoool e calcita preta.....	72
Figura 47 - Ensaio 4: Molde quadrado em cibatoool e calcita amarela.....	73
Figura 48 - Ensaio 5: Molde quadrado em cibatoool e ágata.....	73
Figura 49 - Ensaio 6: Molde circular em cibatoool e calcita preta.....	74
Figura 50. Verificação Geomagic Qualify: Ensaio 5	75
Figura 51. Verificação Geomagic Qualify: Ensaio 6	75
Figura 52 – Representação proteção sanfonada instalada no protótipo	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Levantamento de dados da EXPOSOL (SINDIPEDRAS)	6
Quadro 2 – Classificação dos geodos quanto às dimensões.....	23
Quadro 3 – Características mineralógicas da ágata do RS.....	24
Quadro 4 – Padrão de preenchimento homogêneo.....	26
Quadro 5 – Padrão de preenchimento bandado: Bandas concêntricas.....	26
Quadro 6 – Padrão de preenchimento bandado: Bandas plano-paralelas.....	27
Quadro 7 - Padrão de preenchimento bandado: Bandas concêntricas e plano-paralelas.....	27
Quadro 8 – Padrão de preenchimento complexo.....	27
Quadro 9 – Inclusões em ágata	28
Quadro 10 – Lista de requisitos.....	45
Quadro 11 – Painel solução/subfunção.....	49
Quadro 12 – Painel Seleção de Conceito.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS

APPESOL – Associação dos Pequenos Pedristas de Soledade

CAD – Computer Aided Design

CNC - Comando Numérico Computadorizado

CTPGJRS – Centro Tecnológico de Pedras Gemas e Joias do Rio Grande do Sul

DWS – Digital Wax System

DNPM – Departamento nacional de Produção Mineral

EXPOSOL – Exposição Feira de Soledade

IBGM – Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos

LdSM – Laboratório de Design e Seleção de Materiais

PGDesign – Pós graduação em Design e Tecnologia

SINDIPEDRAS – Sindicato das Indústrias de Joalherias, Mineração, Lapidação, Beneficiamento, Transformação de Pedras Preciosas do Rio Grande do Sul

STL – Formato de arquivo de malha triangular

TFD – Tick Film Diamond

PCD - Polycrystalline diamond

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UPF – Universidade de Passo Fundo

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Delimitação do tema	3
1.3 Formulação do problema	4
1.3.1 Hipótese	5
1.3.2 Objetivos	5
1.3.3 Objetivos Específicos	5
1.4 Justificativa e relevância da pesquisa	5
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1 Escultura em gemas	8
2.1.1 Glíptica	9
2.1.2 Camafeus e outras esculturas	11
2.1.3 Cenário atual de esculturas em ágata	17
2.1.3.1 Usinagem por Ultrassom	18
2.1.3.2 Usinagem por Comando Numérico Computadorizado (CNC)	19
2.2 Ágata: características, extração e setor de beneficiamento no Rio Grande do Sul	19
2.2.1 Ágata: características e propriedades relevantes para esculturas em gemas	23
2.2.2 Padrões de preenchimento da ágata	24
2.2.3 Beneficiamento de ágata em Soledade	28
2.2.3.1 Equipamentos	29
2.2.3.2 Tingimento	33
2.2.4 Usinagem de materiais gemológicos	33
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA PARA PROJETO DE PROTÓTIPO DE FRESADORA PANTOGRÁFICA DE ÁGATA	36
3.1 Definição do Problema do projeto	36
3.2 Projeto Informacional	37
3.2.1 Usuário	37
3.2.2 Fabricante potencial	37

3.2.3	Soluções atuais de mercado	37
3.2.4	Pesquisa em Bancos de Patentes	38
3.2.5	Revisão de equipamentos do projeto	39
3.2.5.1	Pantógrafo	39
3.2.5.2	Motores e ferramentas para entalhe em gemas	41
3.2.6	Definição da Tarefa	42
3.2.7	Lista de Requisitos	43
3.2.8	Requisitos do usuário	46
3.3	Projeto do Conceitual	46
3.3.1	Projeto preliminar de configuração e geração de alternativas	50
3.3.2	Geração e seleção de conceitos	53
3.3.3	Seleção Conceitual	55
3.4	Projeto Executivo	56
3.4.1	Apresentação do equipamento e componentes	57
3.4.2	Fabricação e montagem dos componentes	62
3.4.3	Custo do protótipo	65
3.5	Considerações Ergonômicas	65
3.6	Apalpadores	67
CAPÍTULO 4 - ENSAIOS COM MATERIAIS GEMOLÓGICOS		69
4.1	Ensaio 1: Molde de camafeu em latão e ágata	69
4.2	Ensaio 2: Molde circular em cibatoool e ágata	70
4.3	Ensaio 3: Molde circular em cibatoool e calcita preta	71
4.4	Ensaio 4: Molde quadrado em cibatoool e calcita amarela	72
4.5	Ensaio 5: Molde quadrado em cibatoool e ágata	73
4.6	Ensaio 6: Molde circular em cibatoool e calcita preta	74
4.7	Análise dos ensaios	74
5	MELHORIAS NO PROTÓTIPO.....	77
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	78

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS80

APÊNDICE A – DESENHOS TÉCNICOS84

CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo, apresentam-se a contextualização, delimitação do tema, formulação do problema, objetivos, justificativas e relevância do trabalho.

1.1 Contextualização

A lapidação de ágata foi desenvolvida pioneiramente na cidade de Idar-Oberstein (Alemanha), que desde o século XV, quando as primeiras peças foram produzidas, se tornou um importante centro industrial mundial de lapidação para este material gemológico. Naquela época as oficinas de lapidação foram instaladas às margens do rio Idar (*Idar-River*) para assim aproveitar o fluxo da água através de rodas-d'água que movimentavam imensos discos de arenito, para que as ágatas e outras gemas fossem desgastadas e trabalhadas. Por pelo menos três séculos a indústria de Idar evoluiu e apenas no século XIX ela passou por um declínio por conta da escassez de matéria-prima. A partir disso os trabalhadores desta região viram a necessidade de buscar outras fontes de renda migrando para outros mercados, como a agricultura. No início do século XIX um grupo de imigrantes alemães descobriu jazidas de ágata no sul do Brasil, no estado do Rio Grande do Sul, e este material gemológico passou a ser exportado para a Alemanha, proporcionando uma recuperação na indústria de lapidação de ágata alemã (AGOSTINI & FIORENTINI, 1998).

Atualmente, o estado do Rio Grande do Sul é o maior produtor mundial de ágata e ametista, exportando cerca de 400 t/mês desses minerais. As principais jazidas de geodos de ametista encontram-se no distrito mineiro de Ametista do Sul (trezentas minas subterrâneas) e outras estão distribuídas ao longo da beira do Planalto Vulcânico (HARTMANN, 2010). A maior concentração de jazidas de ágata no estado está na cidade de Salto do Jacuí e seus arredores.

No Brasil, o beneficiamento e a industrialização de gemas até os anos de 1970 era realizada na cidade de Lajeado, sendo que no final desta década houve um deslocamento das empresas para a cidade de Soledade devido a fatores como maior proximidade com as regiões produtoras e disponibilidade de mão-de-obra a menor custo (COSTENARO, 2005). Atualmente, Soledade, que está localizada na região central do Rio Grande do Sul, é um ponto de referência mundial para a comercialização de materiais gemológicos, sendo que 35% a 38% do seu PIB provêm deste mercado, pois estima-se que exista mais de 180 empresas ativas no setor. Soledade consolidou-se como polo estadual na industrialização,

comercialização e exportação de pedras preciosas (ROISENBERG & VILASBÔAS, 2010), sendo sede do Arranjo Produtivo Local (APL) de Pedras Gemas e Joias do Rio Grande do Sul. Das exportações gaúchas deste segmento, estima-se que Soledade participe com cerca de 80% do valor (SILVA, HARTMANN & HAUSCHILD, 2010), sendo que há mais de 10 anos é realizada a Exposol (Exposição Feira de Soledade), considerada a maior feira de pedras preciosas da América Latina.

A ágata beneficiada em Soledade é preparada para objetos de ornamentação, como a confecção de joias e de artefatos. Dentre as gemas reservadas para a produção ornamental, parte é exportada em bruto e outra destinada para o beneficiamento de empresas locais, sendo que a quantidade e qualidade da matéria-prima de exportação são superiores a da produção de manufaturados local. Sobre a ágata para exportação: “[...] destina-se principalmente à confecção de peças calibradas, para posterior confecção de joias e bijuterias (camafeus, colares, brincos, pulseiras, botões, etc.)” (AGOSTINI & FIORENTINI, 1998, a). Peças calibradas são aquelas que possuem o mesmo formato, dimensões e massa, e podem ser utilizadas em escala industrial para projetos específicos.

A maioria das indústrias de beneficiamento de Soledade utilizam basicamente os mesmos processos, que são: corte, tingimento e polimento para a manufatura de ágata, podendo haver alguns processos diferentes entre elas. Os equipamentos utilizados geralmente são: serras, lixas, polidores, vibradores e rebolos. Com estes processos são produzidas chapas de ágatas com diferentes espessuras (produtos semimanufaturados), encostos de livro, relógios, pirâmides, esferas, ovos, obeliscos, espátulas, chaveiros, porta-copos, cabos de talheres, dentre outros.

Porém, na produção internacional, a ágata é muito utilizada para a confecção de camafeus, que são peças que contêm desenhos gravados em relevo (SCHUMANN, 2006). Estes ornamentos são obtidos através da glíptica, técnica de gravar em pedra, que se originou na Mesopotâmia há cerca de 6.500 anos. Esse tipo de gravação pode ser executada sobre diferentes tipos de materiais, mas o termo camafeu é designado a peças feitas em ônix ou ágata bandada (AGOSTINI, 1998).

Os camafeus têm grande importância histórico/cultural em diversos museus, como pode ser observado a seguir:

[...] Camafeus e entalhes, vasos, tigelas e taças estão presentes em muitos museus europeus, atestando o valor atribuído a essas artes. As contas – provavelmente os primeiros adornos duráveis usados pelos humanos – representam, até hoje, importante uso da ágata. Os alemães continuam criando sobre esses temas. (AGOSTINI & FIORENTINI, 1998, a, p. 21)

A arte de esculpir em ágata é feita de forma manual, de acordo com a habilidade do artesão, que leva o material gemológico até a ferramenta: um torno fixo com eixo horizontal sobre o qual podem se utilizar diferentes ferramentas para usiná-la. Os bicos podem variar em forma de disco, esfera e agulhas, seguindo a necessidade do desenho a ser obtido.

Os camafeus artesanais têm grande valor de mercado, por serem peças únicas. Na última década, desenvolveram-se equipamentos de reprodução de camafeus por meio de perfuratrizes ultrassônicas com produtividades muito maiores que as de técnicas manuais. Isso é obtido pela construção de um modelo em metal a partir de um camafeu gravado manualmente. Esse modelo é pressionado contra a superfície da ágata através de força mecânica e vibrações ultrassônicas e ajuda de um pó abrasivo que fica entre o molde e a ágata. Esses equipamentos são utilizados principalmente na Alemanha e em Taiwan (AGOSTINI, 1998).

De acordo com publicação do DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral (AGOSTINI & FIORENTINI, 1998, b), a arte de gravar ágata no Rio Grande do Sul era pouco conhecida, sendo que, desde esta publicação foram encontradas poucas pesquisas sobre o assunto, ressaltando o trabalho de Tessmann (2009) que faz um estudo de usinagem CNC (Controle Numérico Computadorizado) para a produção de camafeus.

“A arte de gravar ágata é pouco conhecida e não é praticada no Rio Grande do Sul. O SENAI de Lajeado possui equipamento e algumas ferramentas necessárias para a prática dessa técnica; porém, desde a sua aquisição, não houve interessados em desenvolver essa área, e não há pessoal qualificado para iniciar um trabalho de treinamento. Apesar de a ágata brasileira, desde o século passado, ter sido e ser ainda muito utilizada na Alemanha para a gravura de camafeus e entalhes, no Rio Grande do Sul essa arte é totalmente inexistente, senão desconhecida.” (AGOSTINI & FIORENTINI, 1998, b, p.87)

Ainda que desde a data de publicação tenham se passado 16 anos, a carência de técnicas envolvendo materiais gemológicos é grande como destaca Tessmann, (2009):

O material gemológico extraído dos garimpos de Salto do Jacuí (ágata e opala) são pouco aproveitados na produção e comércio do estado. Com isso a tecnologia utilizada e os objetos produzidos tornam-se obsoletos diante ao potencial que este material possui. Aliado a este fator, as pesquisas em design direcionadas ao beneficiamento destes materiais gemológicos são escassas, deixando em aberto inúmeros pontos a serem esclarecidos e aprofundados. TESSMANN, 2009 p.102

1.2 Delimitação do tema

A carência de novos equipamentos no setor de beneficiamento de gemas e materias gemológicos no Rio Grande do Sul é uma realidade, sendo que a tecnologia utilizada pelas

pequenas fábricas pode ser considerada a mesma desde a imigração alemã.

No ano de 2006 uma parceria entre a Prefeitura Municipal de Soledade, Governo Federal, Universidade de Passo Fundo e SINDIPEDRAS possibilitou a criação do Centro Tecnológico de Pedras Gemas e Joias do Rio Grande do Sul (CTPGJRS), que tem como missão a qualificação profissional, desenvolvimento de pesquisa científica e tecnológica e a transferência de tecnologia. Em 2010 o CTPGJRS, firmou importante convênio com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul com o propósito de desenvolver o setor que movimenta a maior parte da economia soledadense através da pesquisa científica. Alguns equipamentos foram adquiridos em parceria com o Governo Federal, inserindo novas técnicas aos produtos do setor como o processo de gravação a laser e de corte por jato d'água (SILVA, HARTMANN & HAUSCHILD, 2010).

Em contraponto, é notório o conhecimento sobre as esculturas em ágata feitas na China e mesmo na Alemanha, visto que esta técnica é pouco praticada ou inexistente pelo setor de beneficiamento no estado do Rio Grande do Sul. Este segmento de beneficiamento do material em esculturas tem o potencial de agregar altos valores à matéria-prima.

Assim, neste trabalho optou-se por estudar e desenvolver mais especificamente a glíptica para a produção de camafeus em ágata, que são esculturas pequenas, encontradas principalmente no formato de broches e geralmente representam figuras humanas, animais, selos e letras.

Neste cenário propõe-se o desenvolvimento de um protótipo capaz de auxiliar no desenvolvimento dessas peças, sendo esse equipamento acessível aos pequenos produtores e artesões da indústria de gemas e materiais gemológicos de Soledade e região. Dentre as alternativas de usinagem pensou-se em um equipamento pantográfico¹ fresador de relevo, onde os entalhes serão copiados através de um modelo, e usinados em uma peça de ágata. Neste sentido, a proposta consiste em realizar um sistema que use ágata, com auxílio de motor e utilização de ferramentas especialmente selecionados para trabalhar este material gemológico.

1.3 Formulação do problema

Como é possível diversificar a produção de ágata em produtos de maior valor agregado?

¹ O pantógrafo é um aparelho utilizado para transferir formas, podendo ser regulado para ampliar ou reduzir a sua cópia. Existem diversos sistemas pantográficos e um dos mais conhecidos é utilizado para copiar chaves.

1.3.1 Hipótese

É possível desenvolver um equipamento de baixo custo para a reprodução de escultura e entalhes em ágata

1.3.1 Objetivos

O objetivo principal deste projeto de pesquisa é desenvolver um protótipo de uma fresadora pantográfica tridimensional de baixo custo, anexando a esse sistema um motor elétrico com ferramenta móvel que trabalhe com ferramentas diamantadas comuns, para prática de esculturas em gemas. E posteriormente, realizar testes com este protótipo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estado da arte: realizar revisão bibliográfica sobre escultura em ágata, equipamentos de beneficiamento de ágata e equipamentos pantográficos;
- Adaptar as metodologias de projeto de produto para a criação de um protótipo do equipamento;
- Realização de testes com o protótipo;
- Validação do entalhe produzido, identificando semelhanças/diferenças do modelo e da cópia.

1.4 Justificativa e relevância da pesquisa

Soledade tornou-se ao longo do tempo um centro de comercialização e beneficiamento de gemas e materiais gemológicos no estado do Rio Grande do Sul é hoje uma referência mundial. Mas os produtos beneficiados em Soledade são limitados e as técnicas basicamente são as mesmas entre as empresas. Elas envolvem corte, polimento e tingimento, agregando pouco valor aos produtos. Paralelo a isso, pode-se observar atualmente uma mudança no mercado das gemas, onde os produtores estão migrando para o mercado de joias, visto que o aproveitamento das gemas é maior, sendo possível fazer várias joias com o mesmo material que seria destinado a um produto de menor valor. Um exemplo dessa mudança pode ser percebido através dos dados da Feira Internacional de Pedras Preciosas, a EXPOSOL, que

ocorre todos os anos na cidade de Soledade. De acordo com interlocução dos dados fornecidos pelo SINDIPEDRAS (Sindicato das Indústrias de Joalheria, Mineração, Lapidação, Beneficiamento e Transformação de Pedras Preciosas do Rio Grande do Sul) o espaço destinado a expositores de joias e artefatos vem crescendo gradualmente durante os anos enquanto os produtos gemológicos brutos ou com pouco beneficiamento vem perdendo espaço frente ao consumidor final (Quadro 1).

Quadro 1 – Levantamento de dados da EXPOSOL (SINDIPEDRAS). Destaca-se o aumento do número de expositores de joias e artefatos.

Ano de Realização	EXPOSOL - Exposição Feira de Soledade					
	Dados gerais do evento		Feira de Pedras Preciosas Expositores			
	Expositores	Visitantes	Pedras em Bruto	Joias e Artefatos	Serviços	TOTAL
2007	580	120.000	53	8	6	67
2008	720	100.000	41	13	2	56
2009	720	120.000	27	17	2	46
2010	720	145.000	35	27	9	65
2011	725	145.000	32	31	4	67
2012	730	155.000	34	36	6	76
2013	730	160.000	28	38	5	71
2014	450	150.000	19	49	4	72

A produção de joias pode ser considerada uma excelente estratégia para a utilização de gemas, pois faz uso de materiais de pequenas dimensões (milimétricos a centimétricos) o que pode contribuir significativamente para a redução dos resíduos gerados. Outro fator importante é o de agregar valor ao material. Porém o tempo de trabalho e atenção a cada produto é aumentado, uma vez também que as técnicas e tecnologias envolvidas tornam-se mais complexas, exigindo um nível maior de precisão. Por isso, novas alternativas de beneficiamento devem ser desenvolvidas, afim de melhor aproveitar o tipo e as dimensões dos materiais disponíveis, estudando formas alternativas para trabalhar com este tipo de material.

É comum ser observado nos locais de disposição de rejeitos das indústrias de beneficiamento de Soledade um grande volume de materiais gemológicos com pouco aproveitamento (Fig. 1). Esta situação deve-se ao fato de que as tecnologias empregadas no setor não favorecem um dimensionamento adequado ao maior/melhor aproveitamento destes materiais e grande parte do volume acaba por ser mal aproveitado. Este volume, por vezes até descartado pelos processos atuais, pode ser utilizado como pequenas peças para uso em joalheria.

Figura 1 – Depósito de resíduos em indústria de beneficiamento de Soledade, onde podem ser observados vários fragmentos de geodos de ágata já beneficiados com um baixo aproveitamento. Os orifícios na ágata são feitos por serra copo diamantada de espessuras de aproximadamente 20 mm à 30 mm, utilizados para a confecção de cabos para talheres e outros utensílios.



CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresenta-se o histórico da escultura em gemas no mundo, com foco nos camafeus feitos em ágata e suas características, bem como as técnicas desenvolvidas nesse contexto.

2.1 Escultura em gemas

A escultura e a gravação de símbolos em gemas é uma prática muito antiga da humanidade. As primeiras civilizações já praticavam essa arte para criar selos de identificação de um determinado povo ou família, amuletos de proteção com símbolos sagrados em homenagem aos seus deuses e adornos pessoais como joias e enfeites para o corpo. As primeiras gravações encontradas vêm da civilização Egípcia onde escaravelhos eram gravados em pedra e usados como forma de amuleto (TESSMANN, 2009), como representado na Figura 2.

Figura 2: Escaravelho gravado em pedra: Antigo Egito².



Fonte: <http://www.fascinioegito.sh06.com/escarave.htm>

Os artesãos egípcios costumavam trabalhar com talco e minerais do grupo da sílica de distintas variedades, tal como ametista, cornalina e jaspe. Entre outros povos com registros históricos na prática da escultura e gravura em gemas estão os chineses no início da Dinastia

² Os escaravelhos destinados aos mortos têm sua face inferior tratada com o maior realismo. Geralmente são escaravelhos-corações, amuletos de pedra dura que eram depositados no lugar do coração, no peito da múmia. Muitas vezes o escaravelho está incrustado numa moldura retangular, fixada sobre o peito do morto. Tais amuletos foram encontrados também no tórax de certos animais sagrados. O que vemos acima é feito de rocha parda e mede 8,6x6,1 cm e 3,2 cm de espessura.

Chow (1122-1149 A.C) e os romanos que esculpiam escaravelhos em cornalina e jaspe e camafeus em ágata e em conchas (KRAUS, 1987).

A gravação em gemas foi chamada pelos gregos de glíptica, um vocábulo grego, *glypto* e entre os romanos esta arte era chamada *caelatura*. Os gregos chamavam o entalhe nas gemas de *diaglyphi*, e o inverso de *anaglyphi*, ou seja, gravação em baixo relevo, para a produção de camafeus (*cammaeus* em latim) (MORAIS, 2011).

2.1.1 Glíptica

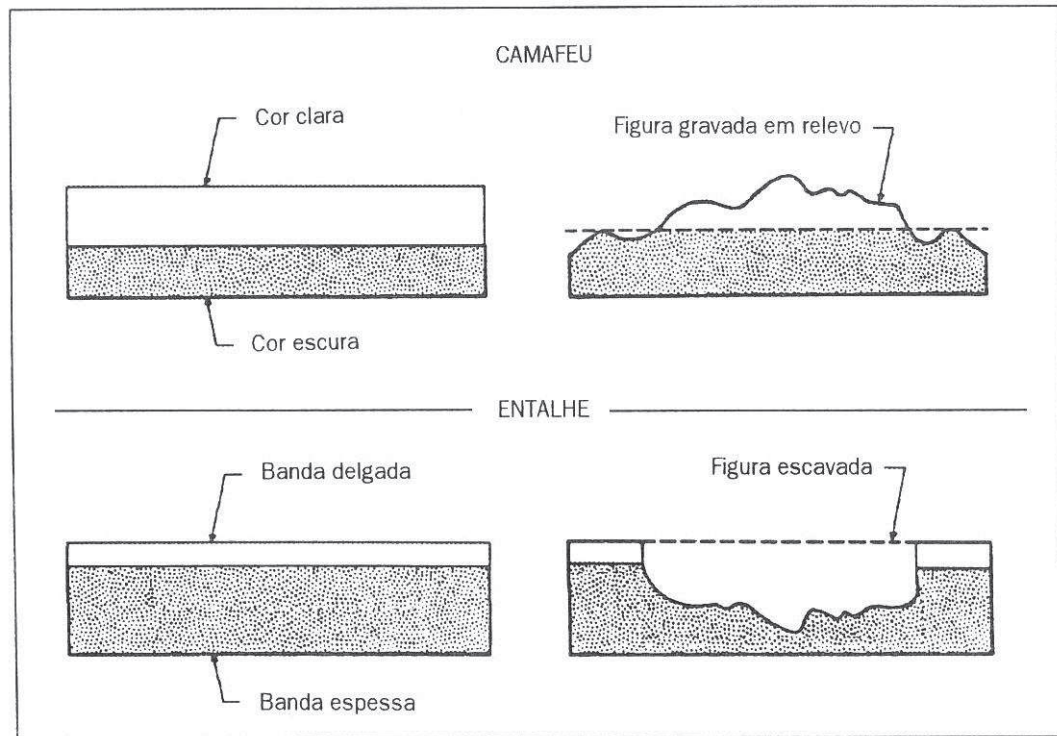
A glíptica é uma das técnicas mais antigas de gravação em gemas, que se originou na Mesopotâmia há cerca de 6.500 anos. Geralmente esta arte é praticada em superfícies reduzidas, na maioria das vezes inferior a 2,5cm em diâmetro. A glíptica se distingue de outras esculturas pela atenção no detalhamento em pequenas superfícies (AGOSTINI, 1998). No começo usou-se nesta técnica apenas gravação cavada ou côncova, chamada entalhe, e posteriormente a gravação em relevo, chamada camafeu. Essa gravação em relevo é executada em diferentes tipos de materiais, mas a designação camafeu é usada em especial para gravações feitas em ônix ou ágata bandada, compostos por camadas em cores diferenciadas.

“Os primeiros Camafeus surgiram por volta de 300 a.C, em Alexandria, Egito e eram muito utilizados em joias e adornos para vestimentas, bem como eram apreciados pelos antigos gregos e romanos, pelas figuras entalhadas de deuses e deusas”. (TESSMANN, 2009 p. 58)

Essas gravações em relevo eram feitas por antigas civilizações do mediterrâneo tais como: assírias, sumérias, babilônicas, gregas e finalmente romanas. Além dos camafeus destacam-se vasos, imagens e selos em pedras preciosas (AGOSTINI, 1998).

A diferença entre um camafeu e um entalhe é de que em camafeu a figura é gravada em relevo (*anaglyphi*) e no entalhe a figura é escavada (*diaglyphi*) (Figura 3).

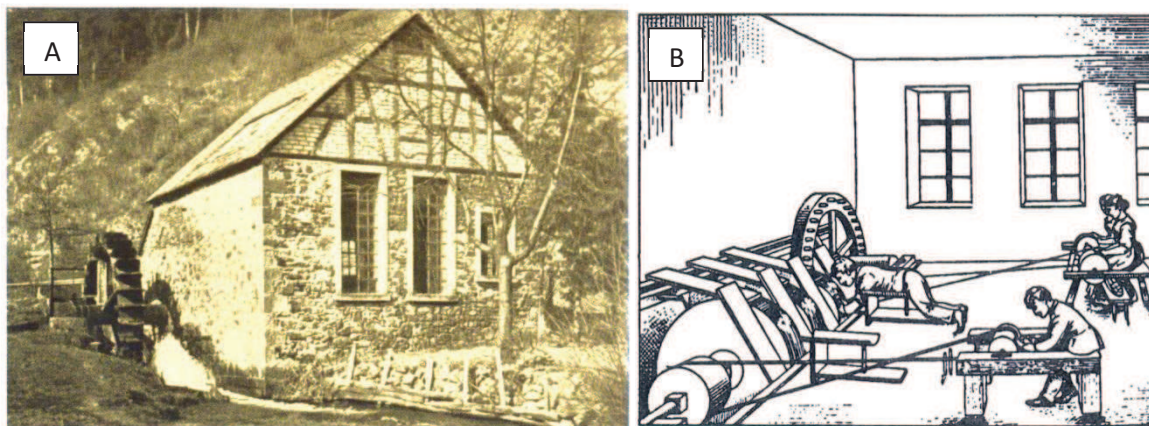
Figura 3. Diferenças no relevo, positivo e negativo, das esculturas que diferenciam camafeus de entalhes, respectivamente.



(Modificado de: AGOSTINI, 1998, Pg167)

Em seguida à guerra franco-prussiana, em 1870, a técnica glíptica começou a ser explorada na Alemanha. Após aprenderem essa arte em Paris, os alemães voltaram ao seu país para estabelecerem-se em Idar-Oberstein, onde nas montanhas próximas foi encontrada uma grande riqueza gemológica, principalmente ágata. O local se tornou um centro de escultura de gemas (AGOSTINI, 1998). Os alemães desenvolveram um maquinário para cortar e dar polimento às gemas por volta de 1450, em Idar-Oberstein, iniciando as indústrias de corte de gemas. Os artesãos construíram estruturas com rodas d'água às margens do rio de Idar (Fig. 4a), para que a força do fluxo da água fosse utilizada como energia, movimentando as grandes rodas de arenito, que pesavam cerca de 4.000 libras (~1.800 kg). Os trabalhadores posicionavam-se de bruços em um assento montado em frente às rodas de arenito e pressionavam as gemas contra a face das rodas para dar polimento (Figura 4b). As oficinas eram localizadas muito próximas ao rio e uma comunidade de famílias de cortadores foi formada nas proximidades (KRAUS, 1987).

Figura 4: (A) Oficina antiga em Idar-Oberstein e (B) Esquema de lapidação com rodas de arenito.



(Modificado de: (A) SCHUMANN, 2006 e B: MACPHERSON, 1989)

Em 1603, foi criada a Carta Guild, este documento dizia apenas os filhos de cortadores mestres poderiam participar das atividades de beneficiamento, pois os materiais gemológicos daquela região estavam ficando escassos. A indústria ainda perpetuou até o ano de 1800, quando os depósitos de ágata e jaspe nas montanhas próximas estavam se esgotando. Os artesãos começaram a importar ágata e jaspe da Índia e compravam cristal de ametista da Suíça, mas eles não conseguiam obter o suficiente para ocupar todo o seu maquinário. Os trabalhadores começaram então a se dedicar à outras áreas, principalmente à agricultura. Alguns jovens que emigraram para o Brasil no ano de 1827 acabaram encontrando depósitos de ágata no sul do país. Então um mercado de exportação para Alemanha e outros países começou e a indústria em Idar-Oberstein foi reaberta. (KRAUS, 1987).

2.1.2 Camafeus e outras esculturas

Os camafeus são entalhes realizados principalmente em ágata e são usados como adorno em forma de broche sendo conhecidos por representar imagens de deuses, símbolos e cenas históricas. Esse tipo de entalhe é feito há muitos anos por artesões alemães sendo que em Paris há também uma grande produção de camafeus, porém feitos em conchas. O trabalho em conchas facilita o trabalho do artesão, que pode escavar as esculturas com ferramentas simples como formões (Figura 5), pois o material é mais macio.

Figura 5: (A) Artesão executando pequenos detalhes com um formão; (B) Conchas: matéria-prima para esculturas, e (C) Peça pronta (preço em torno de 1.000 euros).



Foto: Vanessa Patrício

Fonte: <http://vanessapatricio.com/blog/como-se-faz-uma-jia-camafeu-fotos-em-roma/>

Os camafeus feitos em ágata são mais complexos, pois precisam de força mecânica, ferramentas com pontas diamantadas e pastas abrasivas. De acordo com Schumann (2006) o artesão move a pedra com a mão de encontro à ferramenta (Figura 6) que é acionada por um torno fixo com motor elétrico de 3.000 a 5.000 revoluções por minuto, o que requer precisão e um grande conhecimento do material.

Figura 6. Gravação em ágata com auxílio de torno fixo, onde pode-se observar que a ferramenta é fixa e o material gemológico é levado até esta para ser esculpido e a grande variedade de tipos de ferramentas utilizadas.

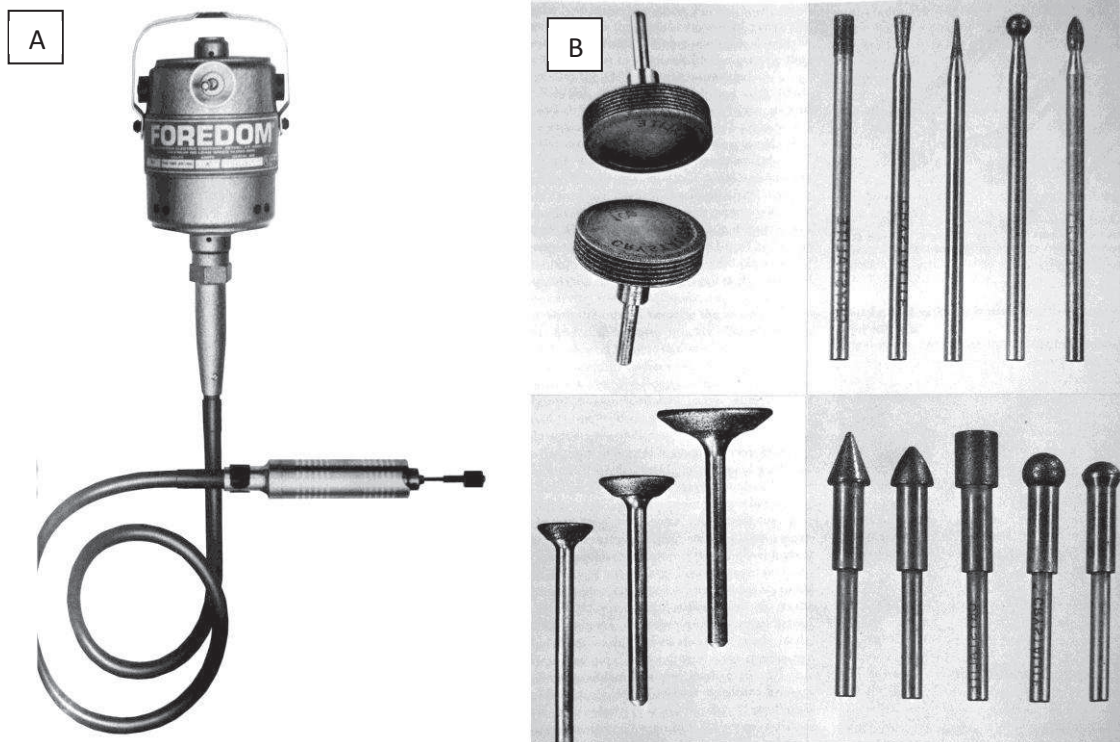


(Modificado de Schumann, 2006)

Os chineses costumam desenvolver suas esculturas de um jeito oposto levando a ferramenta até a pedra utilizando um motor que transmite as suas rotações através de um cabo de aço flexível até uma peça de mão (parecido com uma caneta) que possui um mandril onde

é presa a ferramenta diamantada (Figura 7) e que tem o funcionamento semelhante ao usado por dentistas em tratamentos dentários.

Figura 7. (A) Motor Foredom com extensão de força para uma peça de mão. (B) diferentes ferramentas diamantadas.

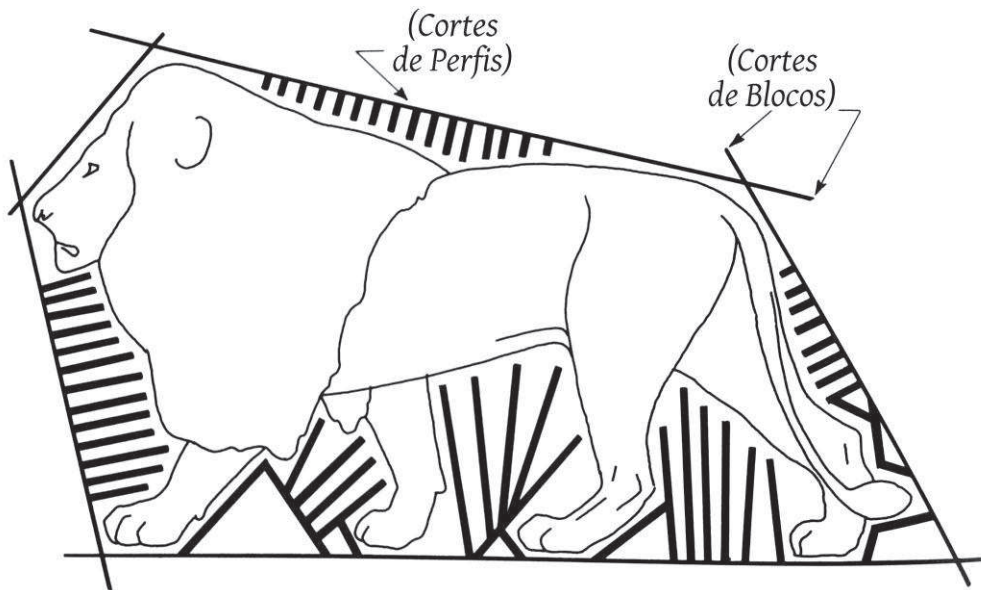


(Modificado de: SINKANKAS, 1962)

Além de camafeus, os chineses produzem esculturas complexas em ágata, geralmente representando algum animal como dragões, tigres, dentre outros. A partir de um bloco de ágata é feito o esboço para a criação da escultura de um leão, onde é traçada uma estratégia para remoção dos grandes blocos através de serras (Figura 8). O primeiro objetivo é obter uma forma próxima ao desenho final do animal, evitando assim desgastes desnecessários das ferramentas de fresamento. Em seguida, com o auxílio da ferramenta móvel, são feitos aprimoramentos à forma da escultura, através de fresas de maior desbaste e posteriormente são utilizadas ferramentas com pontas menores para a obtenção dos detalhes do animal e para o acabamento fino. “Um gravador amador descartou todas as suas ferramentas de entalhe substituindo-as por um equipamento odontológico, alegando que desta forma o trabalho pode ser feito melhor e mais rapidamente” (tradução adaptada de: SINKANKAS, 1962, p.234³).

³ “One Skilled amateur carver has discarded all other carving machines in favor of a dental machine, claiming that the work that can be done with it is far better and far more quickly done”.

Figura 8. Estratégia de corte para figura de um leão, remoção de blocos e perfis através de serras com o objetivo de chegar-se mais próximo à forma final.



(Modificado de: SINKANKAS, 1962)

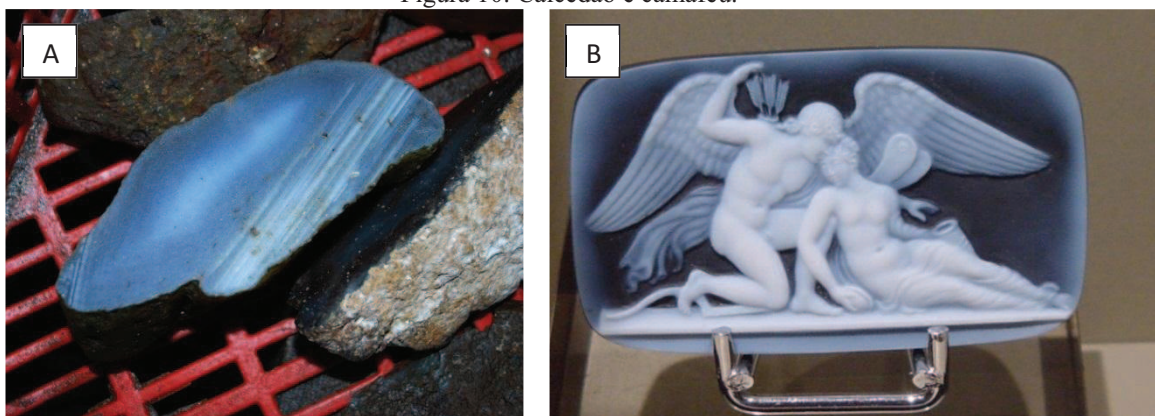
As esculturas em ágata não são comuns no mercado, pois o material é considerado duro e de difícil trabalho, em contra ponto, quando executadas, são muito valorizadas pela incrível variedade de cores e desenhos que a ágata apresenta visualmente. Duas destas esculturas em ágata de origem chinesa foram apresentadas ao Centro Tecnológico de Pedras Gemas e Joias do Rio Grande do Sul, no município de Soledade e estão expostas no local (Figura 9).

Figura 9. Esculturas Chinesas, localizadas no “CTPGJRS”.



De acordo com o comércio de Soledade, para a confecção da escultura, os chineses optam por geodos de ágata que possuem uma massa uniforme e com poucos desenhos, justamente a variedade que era menos valorizada há alguns anos atrás pelo comércio local. Já na confecção dos camafeus as variedades de ágata preferidas são as com bandas de cores diferentes, que são popularmente conhecidas como calcedão (Figura 10). Normalmente, esta variedade de ágata possui bandas brancas na base do geodo. O corte para a confecção do camafeu é feito de forma que a camada branca fique por cima da camada colorida sendo que na camada branca será esculpido o desenho e a parte colorida ficará como fundo.

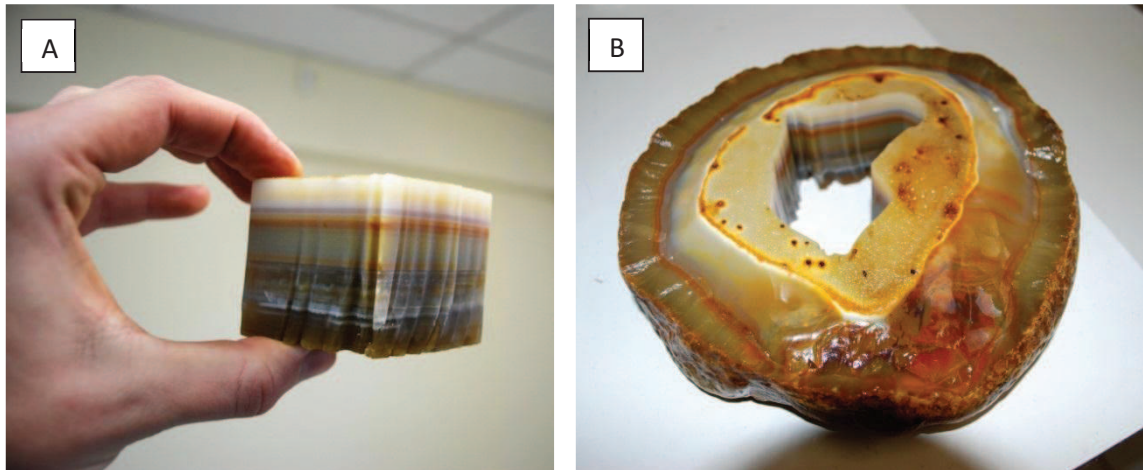
Figura 10. Calcedão e camafeu.



A) geodo de ágata variedade calcedão onde pode-se observar as camadas brancas intercaladas ao material de cor cinza/azulado (seta) e em (B) camafeu feito com material gemológico similar ao mostrado em (A). Foto B: Pedro Juchem

Alguns camafeus são encontrados com mais de dois planos de cor, feitos com ágata que possuem diferentes bandas de cor naturalmente. Esta ágata é mais rara de ser encontrada e com ela podem ser feitas diferentes composições e gerar inúmeros efeitos, contribuindo para a estética final da escultura. Na figura 11 pode-se observar um raro geodo de ágata (sem tingimento) que foi cortado no CTPGJRS por corte por jato d'água, onde é possível observar uma vasta gama de cores em diversas bandas.

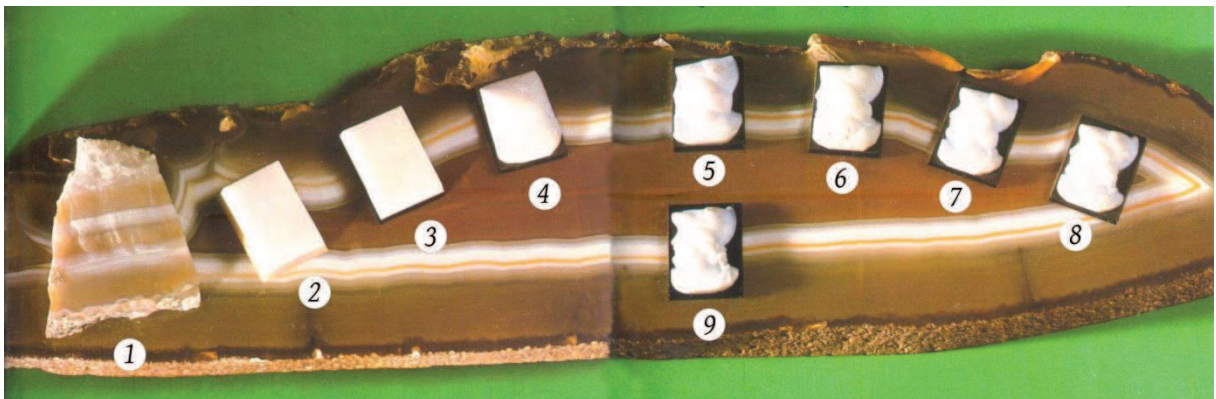
Figura 11. Geodo de ágata bandada



(A) Geodo de ágata bandada com variedade de cores e (B) Peça usinada por jato d'água no CTPGJRS.

Com relação às etapas para a confecção de um camafeu, Schumann (2006) mostra os passos desde a preparação do material, como o corte e o dimensionamento do bloco, bem como a adição gradual de detalhes até a obtenção da peça final (Figura 12).

Figura 12. Esquema indicando as etapas para confecção de um camafeu em ágata.



Primeiramente a gema é selecionada (1) e cortada em um bloco de acordo com o desenho que será gravado (2), a camada branca é onde será esculpido o camafeu, depois da preparação do bloco (3), o desenho começa a ser gravado (4) sendo desbastadas as formas principais com ferramentas de maior remoção de material (5), são adicionados gradualmente os detalhes com ferramentas de dimensões menores até a peça pronta, (6 à 9).

(Modificado de: SCHUMANN, 2006)

Os processos de entalhe de um camafeu ou escultura em ágata são feitos de forma artesanal com o auxílio de um motor e ferramentas diamantadas, por escultores alemães e chineses. Porém existem algumas técnicas para a confecção de camafeus de forma mecanizada, como é o caso da usinagem por ultrassom e usinagem CNC.

2.1.3 Cenário atual de esculturas em ágata

Hoje em dia as esculturas em ágata são valorizadas no mercado, sendo que a procura dos estrangeiros pela ágata bruta é bem maior do que a beneficiada pelas empresas de Soledade. De acordo com relatos em visitas às empresas de beneficiamento de Soledade, os chineses preferem levar o material no estado bruto para assim fazer um melhor cálculo de aproveitamento do material para criação de esculturas.

No Brasil, essa técnica é relativamente desconhecida e não há mercado de esculturas em ágata e camafeus feitos no Brasil, sendo que alguns poucos artesãos fazem esculturas com baixa complexidade em ágata e quartzo. Mesmo assim, é encontrada no mercado uma grande variedade de esculturas feitas com minerais mais macios (Figura 13) como esculturas de aves feitas em calcita, um mineral considerado de fácil fresamento por ter menor dureza (3 na escala de Mohs).

Figura 13. Esculturas em calcita e geodos de ametista, feitos pela empresa soledadense Pedra e Pássaros.



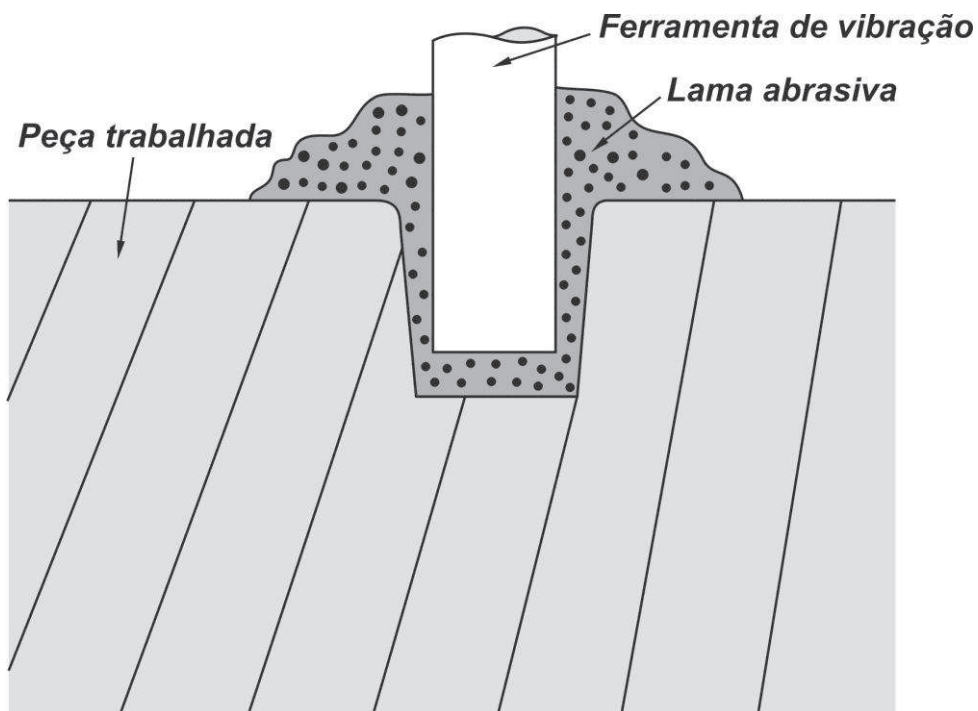
Foto: Catálogo 2013 de artefatos CTPGJRS.

Além das técnicas manuais, alguns outros processos alternativos estão sendo utilizados como a usinagem por ultrassom e por Comando Numérico Computadorizado (CNC) que serão descritas a seguir.

2.1.3.1 Usinagem por Ultrassom

Esta técnica vem sendo utilizada por chineses e alemães para copiar camafeus de forma mecanizada, podendo reproduzir inúmeras peças iguais a uma confeccionada por um artesão. O processo é feito da seguinte maneira: a partir de um camafeu artesanal é feito um molde negativo da escultura em metal com boa resistência mecânica. O molde será pressionado contra a gema através de força mecânica e vibrações ultrassônicas. O segredo desta técnica é o pó abrasivo que juntamente com água forma um lodo que fica entre o molde e o material, este pó desgasta a superfície através das vibrações ultrassônicas removendo assim (processo de abrasão) o material de acordo com a forma do molde (Figura 14). Neste processo, a ferramenta de vibração entra em contato com a peça à ser trabalhada e o desgaste é feito com auxílio de uma lama abrasiva, que perfura o material.

Figura 14 – Esquema de funcionamento de usinagem por ultrassom



(Modificado de Wikipédia) Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasonic_machining

De acordo com a figura 14, a ferramenta de vibração entra em contato com a peça de trabalho e com ajuda da lama abrasiva desgasta o material.

2.1.3.2 Usinagem por Comando Numérico Computadorizado (CNC) na confecção de Camafeus

Tessmann (2009) realizou uma pesquisa para produção de camafeus em opala e ágata, com a utilização do equipamento de usinagem CNC localizado no LdSM (Laboratório de Seleção de Materiais da UFRGS), onde foi avaliado o desempenho deste equipamento para a confecção de camafeus em ágata e opala, através de fresas diamantadas para a usinagem do material.

Dentre as análises, foram feitos testes de dureza dos materiais gemológicos e análise microscópica das fresas diamantadas (ferramentas de usinagem) para calcular a eficiência e identificar o nível de desgaste dessas ferramentas.

Como resultados apresentados, confeccionou-se um camafeu em opala. Foi identificado quebra em algumas fresas com pequenos diâmetros, bem como grande desgaste de ferramentas quando na usinagem de ágata; sugeridos testes para melhorar a eficiência da usinagem com a definição de parâmetros específicos para cada tipo de ferramenta, e acabamentos gerados por cada fresa específica. Destacou-se que a variação de diferentes caminhos percorridos pelas ferramentas poderá influenciar no resultado final da peça, também sugeriu estudos para uma lubrificação mais eficiente a fim de evitar superaquecimento do material e ferramenta.

2.2 **Ágata: características, extração e setor de beneficiamento no Rio Grande do Sul**

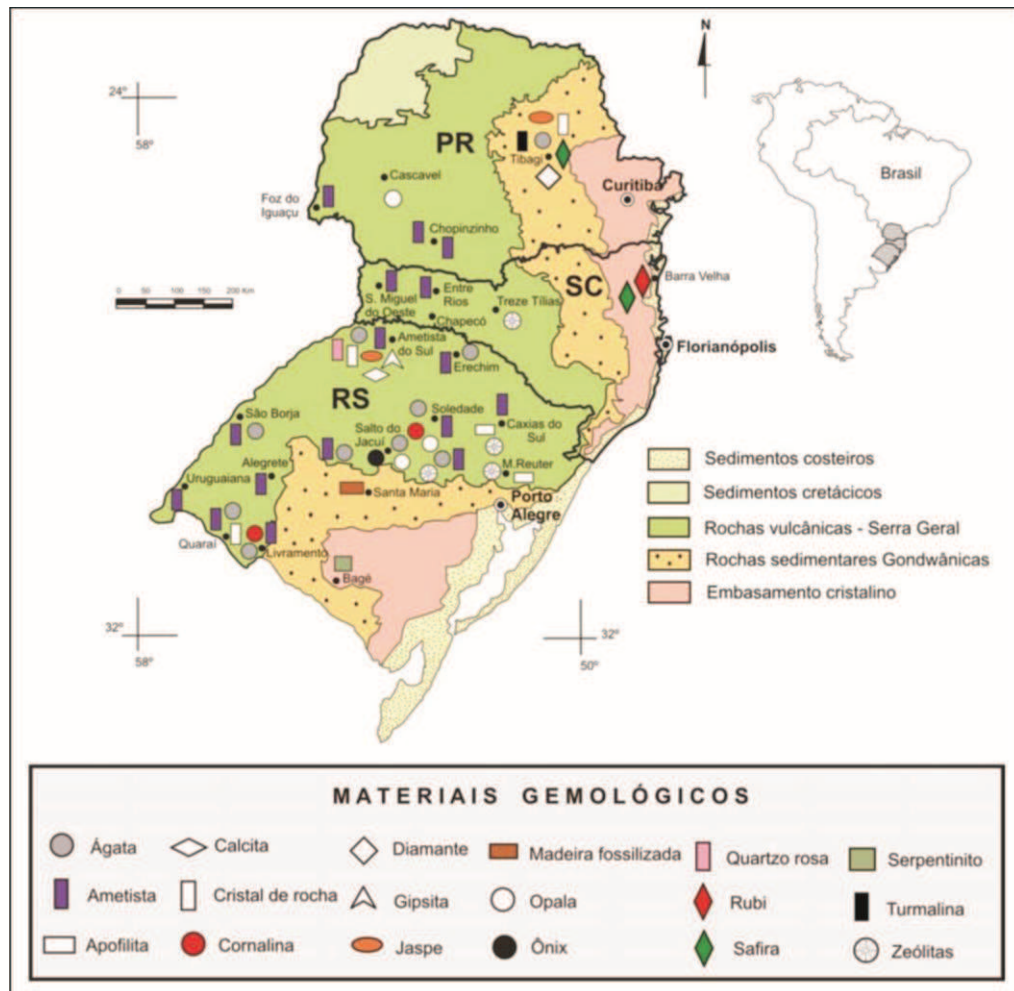
Nesta seção é mostrado o setor de extração e comercialização de ágata no Rio Grande do Sul, nos garimpos do município de Salto do Jacuí e apresentação de produtos, técnicas e equipamentos das fábricas de beneficiamento de ágata no município de Soledade.

O estado do Rio Grande do Sul possui abundantes reservas em geodos de ágata e ametista e é o maior produtor mundial desses minerais que são ocorrentes ao longo de toda Província Basáltica Paraná, que devido a uma série de fatores geológicos tais como eventos hidrotermais epigenéticos (Duarte et al., 2011) propiciaram a formação dos geodos, que através das fraturas nas rochas vulcânicas formam canais de acesso para um fluido aquoso (água quente à 150°C provenientes do aquífero Guarani) que transporta grãos de quartzo (areia) e deposita minerais de sílica em vesículas no basalto para formação das cavidades

geódicas por expansão de vapor. Posteriormente esses minerais serão cristalizados e tornaram-se gemas (HARTMANN, 2014). Além de ágata e ametista, o estado do Rio Grande do Sul possui outros materiais gemológicos importantes (Figura 15) como opala, gipsita, calcita, apofilita, cristal de rocha, cornalina, jaspe, ônix, quartzo rosa, zeólitas, serpentinito e madeira petrificada (JUCHEM,2014).

A principal região produtora de ágata no estado está localizada no distrito mineiro de Salto do Jacuí (80-90% da produção total), que é uma das maiores jazidas e a exploração ocorre em garimpos situados ao longo dos rios Jacuí e Ivaí. O basalto toleítico cinza, com cerca de 6 metros de espessura, o mais importante derrame portador de ágata, onde no ano de 1998 a produção de ágata era de aproximadamente 3.500 toneladas anuais (BRANCO & GIL, 2002). Atualmente a produção das jazidas de Salto do Jacuí contam com cerca de 1200 toneladas anuais, sendo que cerca de 70% do material produzido é exportado para a China, segundo o Geólogo Claudir Kellermann proprietário de um dos garimpos visitados em Salto do Jacuí. Além disso, de acordo com os dados da Secretaria Municipal de Indústria, Comércio, Turismo, Mineração e Desporto de Salto do Jacuí há apenas 3 garimpos de ágata em atividade, número que já chegou a mais de 100 garimpos antigamente. Esta grande diminuição na produção é devido a muitos garimpos que foram fechados por falta de regulamentação em atividades de mineração exigidas pela Fundação Estadual de Produção Ambiental (FEPAM). Inclusive é relatado que o município está em crise econômica devido à grande parte de sua economia ser baseada na extração e comercialização de ágata. Muitos trabalhadores estão sem poder exercer atividades minerais. Com relação a este problema, atualmente há uma expectativa em cerca de 30 garimpos que estão em processo de regulamentação e que poderão voltar às atividades nos próximos anos.

Figura 15 – Mapa gemológico da região sul do Brasil (PR, SC e RS). Indicando as principais áreas de ocorrência de ágata e também de outros materiais gemológicos encontrados nesta região.



(JUCHEM et. al.,2009)

A exploração das áreas nesta região é feita com o auxílio de retroscavadeiras que são utilizadas para a remoção do solo, com cerca de 20 metros de profundidade para atingir a zona de produção. Os trabalhadores utilizam os garfos da retroscavadeira para que o solo fique desagregado e possibilite o desmonte (IPAR, 2011). O mesmo equipamento desloca porções de solo enquanto os garimpeiros fazem a procura dos geodos de ágata, que então são coletados e separados para classificação (Figura 16).

Figura 16 – Garimpo de extração de ágata em Salto do Jacuí/RS, com o maquinário trabalhando para exploração do material e a coleta manual dos geodos.



A classificação é executada manualmente conforme a experiência dos garimpeiros, que primeiramente analisam o grau de preenchimento do geodo através do cálculo empírico de densidade, relacionando o peso com tamanho da peça (Figura 17). Os geodos de ágata podem estar totalmente ou parcialmente preenchidos, e conter água em seu interior, a qual é identificada pelo som quando agitado próximo ao ouvido. Para identificar a variedade do material é partida uma lasca para visualizar o interior do geodo com uma pequena lanterna. É feito também, uma classificação com relação às dimensões dos geodos (Quadro 2).

Figura 17 – Geodos separados para classificação por tamanho, qualidade e tipo de preenchimento.



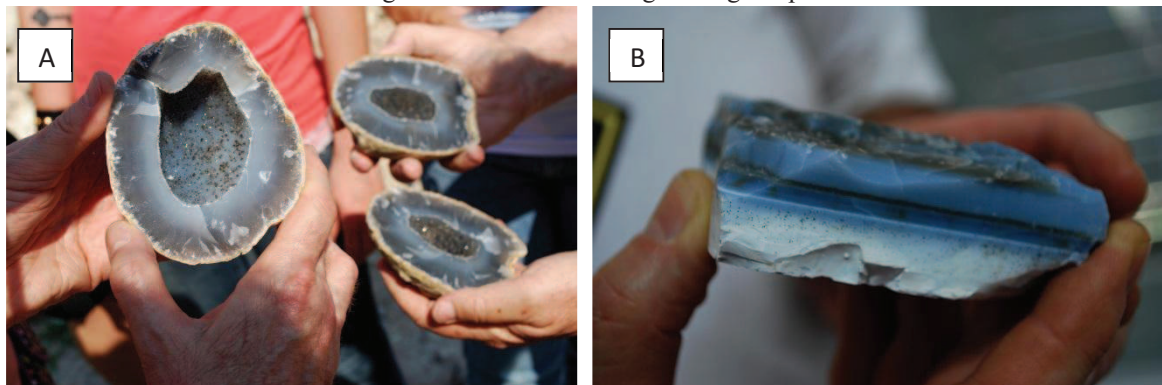
Quadro 2 – Classificação dos geodos quanto às dimensões

Diâmetro	Utilização
até 5 cm (rolinha)	Moinhos da indústria cerâmica
5-10 cm (rolão)	Chapas finas ou grossas e moinhos
10-15 cm	Cinzeiros e moinhos da indústria cerâmica
15-25 cm (Segunda qualidade)	Exportação
acima de 25 cm (Primeira qualidade)	Exportação

(Modificado de: BRANCO & GIL, 2002)

Alguns geodos com água em seu interior que são expostos ao sol para a classificação podem fraturar durante essa exposição ao sol, podendo ser então separados em duas partes com as mãos Figura 18 - a.

Figura 18 – Amostras de ágata do garimpo



(A) Geodo oco que se partiu com o calor do sol. (B) Lasca de ágata com opala branca

A maior parte dos geodos é exportada para países asiáticos e a outra porção é vendida para as fábricas de beneficiamento da região localizadas em Soledade e Lajeado, para abastecer a produção de artefatos e gemas lapidadas (IPAR, 2011).

2.2.1 Ágata: características e propriedades relevantes para esculturas em gemas

A ágata é uma variedade bandada de calcedônia que é um quartzo micro a criptocristalino granular e fibroso. Sua estrutura é formada de microporos com cerca de 0,1 μm de diâmetro e devido à essa característica estrutural ela pode ser tingida por um tratamento químico e ou/ térmico comum para alterar ou realçar cores da ágata. Podem ocorrer outros materiais junto a ela como opala, cristais de quartzo como o hialino e ametista entre outras (Fig.18 - b). A ágata possui como característica principal bandas que podem ser de variadas cores e de diferentes espessuras, textura e porosidade, sendo geradas ou por oscilações rítmicas no crescimento que sofre influências de temperatura e condições de

cristalização. Isto produz uma série de formas e arranjos diferentes percebidas macroscopicamente, sendo que desta forma ela é classificada. A ágata mais comum encontrada no Rio Grande do Sul é a ágata umbu que possui bandas pouco aparentes e tons acinzentados (DUARTE et al. 2003; JUCHEM & BRUM, 1998; SCHUMANN, 2006; JUCHEM, 2014).

Quadro 3 – Características mineralógicas da ágata do RS

Características mineralógicas da ágata do RS	
Formas cristalinas, hábitos e agregados	Agregados micro a criptocristalino de quartzo. Agregados maciços, bandados concêntricos e/ou paralelos e complexos; agregados colomorfos.
Cor, pleocroísmo e fluorescência	Cor em várias tonalidades de cinza, cinza azulado, castanho, vermelho, branco e preto; mais raro azul e verde. Pleocroísmo não observado. As bandas de cores mais claras podem ser fracamente reativas (UVC) a reativas (UVL), emitindo luz em diferentes tons de verde, amarelo e violeta.
Transparência e brilho	Translúcida a semitransparente; opaca. Brilho Resinoso a vítreo; fosca
Dureza (Mohs) e densidade	Dureza (D) = 6,5 a 7,0; Densidade (d) = 2,63 g/cm ³ (+0,02;-0,04)
Características ópticas	Polariscópio: anisótropa Refratômetro: No = 1,536 a 1,540; Ne = 1,540 a 1,544 Birrefringência = 0,00 a 0,008 Caráter e sinal óptico: U (+)
Inclusões	Minúsculos cristais de quartzo e óxidos de Fe e Mn (por vezes dentríticos), podem acompanhar o bandamento

Modificado de JUCHEM, 2014

2.2.2 Padrões de Preenchimento da ágata

A ágata é um mineral que apresenta visualmente uma infinidade de cores e formas em sua estrutura. Isso ocorre pelas inúmeras e diferentes formas de cristalização com que os geodos foram preenchidos, sendo influenciado por diferentes ambientes geológicos e

diferentes condições geoquímicas. (JUCHEM & BRUM, 1998) Por meio destes diversos fatores pode-se dizer que cada exemplar é único na natureza, cada um com suas peculiaridades. Porém pode-se identificar alguns padrões de preenchimento que comumente aparecem em diversos geodos de ágata.

A partir de uma análise macroscópica, Brum et al. (1998) identificaram três padrões básicos de deposição de ágata nos geodos:

1) Padrão homogêneo.

2) Padrão bandado: com bandas concêntricas, bandas plano-paralelas e bandas concêntricas + plano-paralelas.

3) Padrão complexo.

Os geodos com padrão de preenchimento homogêneo, conhecidos como ágata umbu, não possuem um padrão bandado evidente macroscopicamente, mas se analisados microscopicamente é possível ver porções de crescimento individualizadas, formadas por camadas de diferentes granulometrias dos microcristais de quartzo. Geralmente possuem tons acinzentados e podem ser tingidas, com o propósito de realçar suas formas estruturais.

Os geodos com padrão bandado são comuns e podem exibir bandas concêntricas ou plano-paralelas, ou até mesmo é comum uma composição com os dois tipos de bandas. Normalmente, as bandas plano paralelas estão localizadas na base dos geodos, e a circunferência da cavidade é preenchida por bandas concêntricas de calcedônia.

Os geodos de padrão complexo podem apresentar diversas formas que podem estar associadas às bandas concêntricas e às paralelas, e nem sempre são preenchidos totalmente. Podem estar compostos com outras variedades de quartzo, como ametista e cristais diminutos de quartzo em agregados globulares. Ainda, podem estar presentes cristais de calcita. Neste tipo de preenchimento, por vezes, ocorre a opala, disposta em camadas intercaladas com ágata, além de minerais opacos como óxido de Fe e Mn em agregados globulares e cristais aciculares, e mais raramente ocorre gipsita e zeólitas.

De acordo com Brum et al. (1998) existem inúmeros tipos diferentes em que a ágata pode se apresentar, estimando-se que há mais de 700 denominações encontrados em livros especializados. As principais são: ágata olho, bandada, dentrítica, ágata de fogo, orbicular, musgosa, paisagem entre outras. Esses nomes foram dados por diversos pesquisadores que fizeram análises nos diferentes arranjos estruturais encontrados na ágata. Para melhor entendimento dos principais tipos e arranjos encontrados na ágata foi desenvolvido uma painel de classificação com os padrões de preenchimento (Quadros 4, 5, 6, 7 e 8) e um quadro

(9) com arranjos de inclusões, que formam outras variedades conhecidas de ágata (as amostras do quadros possuem entre 5cm e 30cm).

Quadro 4 – Padrão de preenchimento homogêneo

Padrão de preenchimento: Homogêneo					
1		<p>1. Ágata Umbu</p> <p>- Conhecida na Alemanha como Massik, é a espécie mais comum de ágata no Rio Grande do Sul, não possui bandas aparentes. (amostra Bruta)</p>	2		<p>2. Cornalina e Sardo</p> <p>- Ágata Vermelha e Castanha. (amostra de cornalina bruta)</p>
Fotos: Rafael Bisinella e Pedro Juchem					

Quadro 5 – Padrão de preenchimento bandado: Bandas concêntricas

Padrão de preenchimento bandado: Bandas Concêntricas							
1		2		3		4	
	<p>1. Ágata Bandada</p> <p>- Bandas Concêntricas formada por uma sucessão de camadas curvas.</p>		<p>2. Ágata Orbicular</p> <p>- Bandas formam anéis circulares, chamada de ágata olho.</p>		<p>3. Ágata Tubular</p> <p>- Apresentam estruturas circulares devido ao corte (em chapa) perpendicular aos tubos</p>		<p>5. Ágata Hemisférica</p> <p>- Apresenta estruturas semi-esféricas bandeadas.</p>
Fotos: Rafael Bisinella e Pedro Juchem							

Quadro 6 – Padrão de preenchimento bandado: Bandas plano-paralelas

Padrão de preenchimento bandado: Bandas Plano-Paralelas			
 <p>1</p>	<p>1. Ágata Uruguay</p> <p>- Bandas horizontais plano-paralelas</p>	 <p>2</p>	<p>2. Ônix</p> <p>- Ágatas cujas as bandas horizontais alternam-se nas cores branco e preto e/ ou cinza.</p>
Fotos: Rafael Bisinella e Pedro Juchem			

Obs: A ágata homogênea totalmente ou parcialmente negra também é classificada como ônix.

Quadro 7 - Padrão de preenchimento bandado: Bandas concêntricas e plano-paralelas

Padrão de preenchimento bandado: Bandas Concêntricas e Plano-Paralelas			
 <p>1</p>	<p>1. Ágata Cênica ou paisagem</p> <p>- Apresenta desenhos que lembram paisagens</p> <p>- Nesta amostra pode-se imaginar o movimento de arrebatção das ondas do mar</p>	 <p>2</p>	<p>2. Ágata Hemisférica</p> <p>- Apresenta estruturas semi-esféricas bandadas junto a bandas plano paralelas.</p>
Fotos: Rafael Bisinella e Pedro Juchem			

Quadro 8 – Padrão de preenchimento complexo

Padrão de preenchimento: Complexo			
 <p>1</p>	 <p>2</p>	 <p>3</p>	<p>1. Arranjo estrutural totalmente complexo</p> <p>2. Bandas Orbiculares compostas com cristais de quartzo</p> <p>3. Cênica ou paisagem</p>
Fotos: Rafael Bisinella e Pedro Juchem			

Algumas variedades de ágata possuem inclusões de outros elementos em sua estrutura, sendo geralmente de óxido de ferro e manganês, estas inclusões geram inúmeros efeitos visuais, formando arranjos e figuras das mais diversas. Alguns destes desenhos são comuns de serem encontrados na literatura e são usados para nomear algumas variedades de ágata, como é o caso das amostras representadas no Quadro 9, conhecidas como ágata mosquito, musgosa e dentrítica.

Quadro 9 – Inclusões em ágata

Inclusões em ágata		
		
1. Ágata Mosquito - Inclusões pequenas de óxido de Fe e Mn lembram enxame de mosquitos.	2. Ágata Musgosa - Suas inclusões por óxido de Fe e Mn lembram Musgos.	3. Ágata. Dentrítica - Inclusões (de Fe e Mn) com formas arborescentes.
Fotos: Rafael Bisinella e Pedro Juchem		

2.2.3 Beneficiamento de ágata em Soledade

As primeiras fábricas de beneficiamento de gemas no estado do Rio Grande do Sul foram instaladas nas cidades de Lajeado e Estrela sendo que a partir da década de 70 a indústria se deslocou para a cidade de Soledade, pela proximidade das regiões produtoras e por contar com mão-de-obra mais barata (COSTENARO, 2005).

As principais atividades realizadas pela indústria de beneficiamento em Soledade são lavagem, corte, polimento e tingimento das gemas, sendo fabricados diversos produtos com esse processo como: porta copos, encostos para livros, obeliscos, pirâmides, pedras roladas, chaveiros, cabos para talheres, entre outros (Figura 19). Também há uma pequena parcela de artesões que trabalham com ágatas para o mercado da joalheria,

Figura 19 – Principais produtos fabricados em Soledade.



(A) sino dos ventos; (B) chapas qualidade extra; (C) relógio Mapa RS e Borboletas; (D) Anéis; (E) porta copos; (F) obeliscos; (G) pirâmides; (H) chaveiros cortados com jato d'água com banho dourado nas laterais; (I) chaveiros gravados a laser; (J) formas variadas.

2.2.3.1 Equipamentos

Os equipamentos utilizados pelas empresas de Soledade são simples sendo basicamente um motor trifásico com potência de 1 a 3 hp's (cavalos de força) que movimentam as serras, os rebolos, as lixas e os feltros de lã, que são utilizados para atividades de corte e polimento e também há utilização de furadeiras de bancada para a furação das peças com a utilização de brocas ou serra copo diamantada. Para os processos de polimento são utilizadas lixas com diversas granulações com o propósito de retificar a superfície deixando-a o mais plana possível para depois ser dado o brilho através de polimento com feltros de lã, água e abrasivo de trípoli⁴. Também nos processos de polimento são utilizados vibradores, para o polimento de diversas peças pequenas. Um mosaico fotográfico (Fig. 20) ilustra os principais equipamentos do setor.

⁴ Trípoli: Rocha sedimentar leve, porosa e friável feita de resíduos silicosos e de diatomáceas; dela se obtém pó abrasivo usado para polir metais, mármore, vidros etc.

Fonte: <http://www.aulete.com.br/tr%C3%ADpoli>

Figura 20 – Resumo dos equipamentos utilizados pelas indústrias em Soledade.



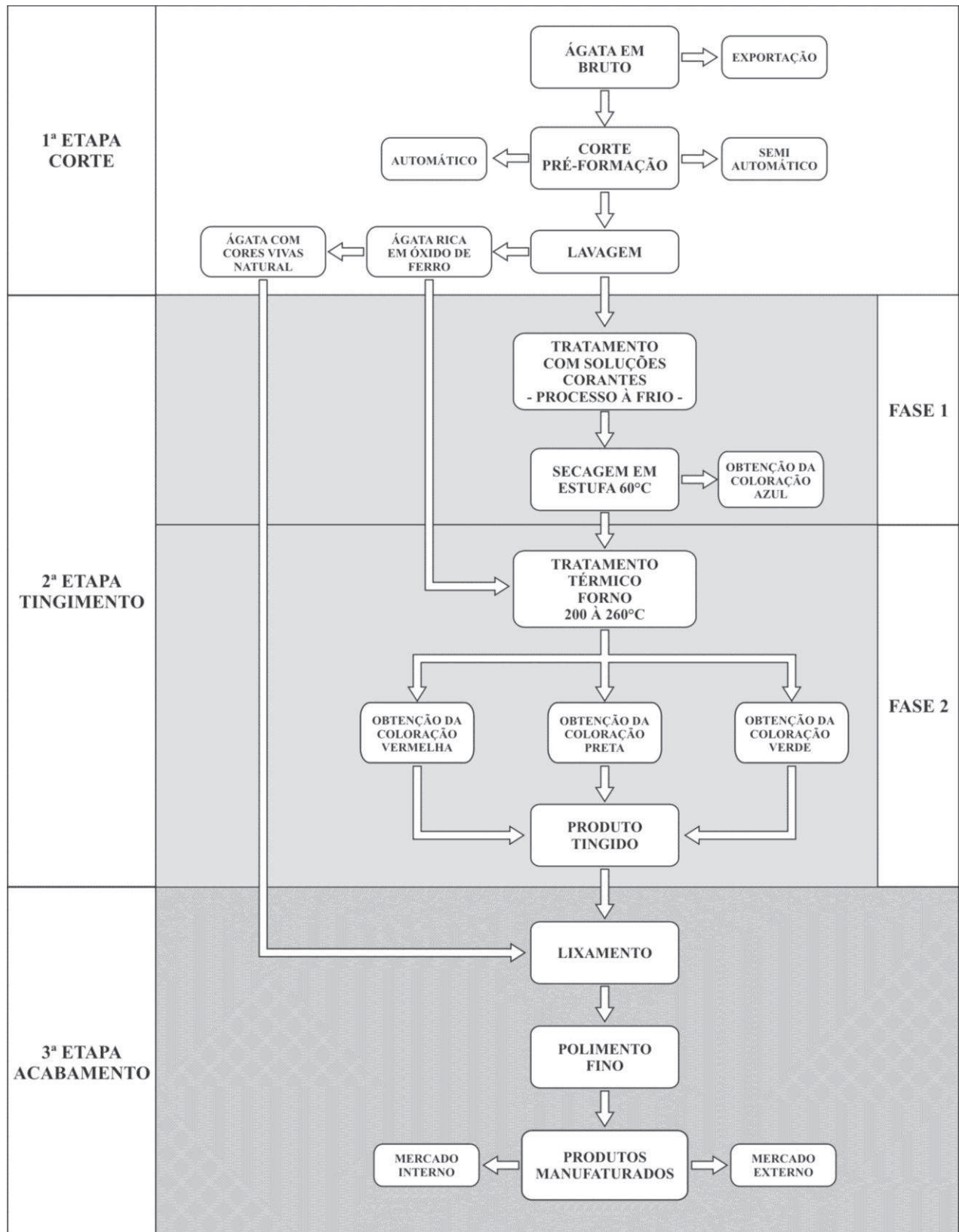
(A) serra diamantada para corte de chapas; (B) polimento com feltro de lã e abrasivo de pó de tripoli; (C) furadeira de bancada com serra copo diamantada; (D) lixa de mesa; (E) equipamento do CTPGJRS: corte por jato d'água, (F) gravadora laser (CTPGJRS); (G) cabocheira (CTPGJRS); (H) multi-machine serra e reboło diamantado (CTPGJRS); (I) multi-machine lixa e feltro de lã (CTPGJRS).

É apresentado a seguir, na Figura 21, um fluxograma das etapas básicas de produção das indústrias de beneficiamento de ágata de Soledade. Nesta figura, Tubino (1998), divide as atividades em 3 etapas: corte, tingimento e acabamento. Na 1^o etapa, a de corte, a ágata bruta é separada para exportação e para beneficiamento. Estas serão cortadas por serras diamantadas, geralmente ao meio, em chapas ou em cortes especiais para a confecção de pirâmides e obeliscos. Outros processos de corte podem ser feito posteriormente como é o caso dos porta-copos (produto bastante comum e muito comercializado) onde uma chapa de 4 à 5 mm é cortada circularmente por uma serra-copo diamantada montada à uma furadeira de bancada. Depois de cortada a ágata é lavada e separada da que será tingida (com cores opacas) da ágata com cores vivas natural, que vai diretamente para a 3^o etapa que é o acabamento.

A segunda etapa é a de tingimento onde as gemas são novamente separadas de acordo com a cor desejada. Elas podem ser mergulhadas em tanques com corantes e sem aquecimento térmico (processo à frio), podem ser tratadas termicamente em forno com temperaturas de 200 à 260°C, ou ainda podem passar pelos dois processos (corante e forno). No final desta etapa é obtido o produto tingido.

Na terceira etapa são feitos processos de acabamento, entre eles lixamento e polimento, depois ainda para a obtenção de alguns produtos específicos podem ocorrer outros processos como no exemplo dos porta-copos, onde as chapas são coladas em uma base em madeira (Fig 19, e).

Figura 21 – Fluxograma etapas comuns de beneficiamento de ágatas nas empresas soledadenses.



(Modificado de: TUBINO, 1998, P.16)

2.2.3.2 - Tingimento

O processo de tingimento é feito nas amostras de ágata que possuem cores opacas naturalmente e têm como função realçar os desenhos e formas de sua estrutura, além de gerar cores mais intensas no material. Este processo é largamente utilizado e é um processo de agregar valor ao material. As cores que podem ser obtidas são geralmente o verde, azul, preto, roxo e rosa, obtidas por um tratamento químico e/ou térmico com corantes. Para a impregnação do material, este é mergulhado em tanques para que a solução penetre nos poros da ágata, e normalmente é utilizado calor para acelerar o processo. No processo de classificação, amostras de ágata com cores naturalmente intensas são separadas das demais e são mais valorizadas no mercado.

2.2.4 Usinagem de materiais gemológicos

No que se refere aos tipos e tecnologias para usinagem de materiais gemológicos é importante saber como se comporta a estrutura física desses materiais. Com relação à ágata, opala e ametista, minerais destacados neste trabalho e muito beneficiados pelas fábricas de gemas do Rio Grande do Sul, possuem índices de dureza considerados altos como é o caso da ágata, que é constituída por cristais de quartzo micro a criptocristalino, com dureza 6,5 à 7 na escala Mohs. Nesta mesma escala, a ametista possui dureza 7, mas, diferentemente da ágata, esta é formada por macro cristais de quartzo (milimétricos a centimétricos). No caso da opala, esta pode ser constituída de um material amorfo (Opala A) até fases de cristobalita e tridimita (Opala C e opala-CT), e a dureza é variável, sendo dimensionada entre 5,5 a 6,5 na escala de Mohs (JUCHEM, 2014).

Na análise de microdureza feita em amostras de sílica fundida e quartzo (Blando & Vasconcellos, 2014), realizada em equipamento conhecido como microdurômetro (Shimadzu DUH211S), os resultados estão expressos na escala de dureza Vickers (que por sua vez traz uma relação mais precisa em números para comparações entre os materiais). Nesta técnica, os resultados com carga máxima de 100mN aplicada por uma ponteira de diamante sobre o material, foram de aproximadamente 9,8 GPa para sílica fundida e aproximadamente 14,5 GPa para a amostra quartzo. Enquanto que o diamante, elemento mais duro conhecido, usado para fabricação de ferramentas para corte destes materiais possui, na escala de Vickers, 100 GPa (CAMERINI, 2008), quase que 10 vezes superior a essas amostras.

Com relação ao processo de corte, sabe-se que um dos principais fatores é que o tipo da ferramenta deve possuir dureza superior ao material gemológico, visto que a ferramenta deve riscá-lo. Deste modo, é comum a utilização de abrasivos constituídos por minerais em fração granulométrica fina e estes também serem utilizados junto a outros equipamentos como, por exemplo, o corte por jato d'água (usinagem hidrodinâmica), na qual água sob pressão (400 Mega Pascal) adicionada de abrasivo, neste caso almandina, supera a tensão de compressão entre as moléculas do material, ocasionando o corte (BARP 2009). No caso das ferramentas diamantada são feitas serras e rebolos metálicos com diamantes aderidos ao metal por processos de eletrodeposição, e também brocas com diamantes encrustados na ponta.

As técnicas modernas de usinagem, em geral, são equipamentos controlados por computador. As chamadas de usinagem a alta velocidade (HSM – High Speed Machining) se referem ao fresamento rotacional de topo feito pela ferramenta em altas velocidades somadas a entradas de corte e avanços na peça também em velocidades altas e controladas por computador. A teoria da usinagem a alta velocidade foi desenvolvida pelo Dr. Carl J. Salomon entre os anos 1924 e 1931 e diz que a temperatura de remoção de cavacos, em usinagens com velocidades 5 a 10 vezes superiores às usinagens convencionais (aproximadamente 3500 rpm), começa a diminuir de acordo com uma análise gráfica que relacionou a temperatura com o aumento na velocidade de corte em materiais não-ferrosos tais como alumínio, cobre e bronze (FREITAS, 2006).

No estudo de Tessmann (2009), realizado em equipamento de usinagem por comando numérico computadorizado (CNC - Digimill® 3D), foram realizados ensaios de corte em amostras de ágata e opala, onde através de dados vetoriais de um determinado desenho feito em software de modelagem 3D são enviados a software CAM (Computer Aided Manufacturing). Os parâmetros dimensionais do desenho são calculados e enviados em coordenadas em 3 dimensões (eixos X,Y e Z) para 3 servo motores que controlam o avanço e recuo e também a velocidade destes eixos, bem como a velocidade de rotação da ferramenta dado pelo motor de corte é controlada. Tessmann (2009) ressalta que:

A função básica da usinagem CNC é conferir volume e forma a um bloco de material. O processo pode colaborar no beneficiamento de materiais diversos, inclusive os gemológicos, pois permite a reprodução de desenhos e formas pré-estabelecidas em detalhes com grande precisão dimensional sob a forma de relevos. (TESSMANN, 2009, p.42)

Para os ensaios em opala (Tessmann, 2009), foram utilizadas fresas do tipo brocas com incrustação de diamantes na ponta. O resfriamento foi feito mergulhando a peça em

água, com a ferramenta também neste meio. O desgaste das ferramentas foi avaliado e verificado que a usinagem de ágata gerou os maiores desgastes nas ferramentas. A qualificação do desgaste foi feita por observação destas ao microscópio eletrônico de varredura (MEV), onde puderam ser identificados os grãos de diamante e os locais onde estes foram arrancados do metal base da ferramenta, em alguns casos até mesmo partidos devido à fricção ocasionada nas ferramentas em contato com o material.

Com relação às novas tecnologias em ferramentas diamantadas, a empresa SP3 Diamond Technologies vem desenvolvendo testes em uma nova linha de ferramentas que são revestidas por um fino filme de diamante (500 μm) formado por deposição em vapor químico. Essa tecnologia chamada de Thick-Film diamond (TFd) tem um desempenho superior as ferramentas diamantadas tradicionais (PCD), oferecendo vantagens distintas: É intrinsicamente mais duro e mais resistente ao desgaste, porque é um diamante sólido sem material ligante tendo uma vida útil substancialmente mais longa; Melhor acabamento nas aristas, promovendo maior precisão e nitidez; (DAVIM, 2008).

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA PARA PROJETO DE PROTÓTIPO DE FRESADORA PANTOGRÁFICA DE ÁGATA

A aplicação de métodos, técnicas e ferramentas é usada para alcançar um objetivo traçado na realização de uma determinada tarefa traduzida muitas vezes como um problema a ser resolvido. É o caminho para se chegar a um determinado ponto, solução e conclusão, gerando informações a partir do estudo realizado.

O uso destes métodos traduz-se em mecanismos de análise para tomada de decisões com o objetivo de selecionar as melhores alternativas para o desenvolvimento do projeto e/ou produto final. A metodologia auxilia na organização das tarefas trazendo clareza a elas, sendo um suporte lógico para a seleção de alternativas e caminhos a serem escolhidos para a configuração do projeto (BOMFIM, 1995). De acordo com Bürdek (2006):

O pensamento sistemático sobre a problematização, os métodos de análise e síntese, a justificativa e a escolha das alternativas de projeto - tudo isso junto, hoje em dia, se tornou repertório da profissão de design. (2006, p.51)

A metodologia proposta nesta pesquisa consiste em uma síntese de 3 métodos para desenvolvimento de produtos: Baxter (2000), Bonsiepe (1984) e Paul e Beitz (2005), adaptadas para a criação de um protótipo de equipamento pantográfico para fresar entalhes em ágata.

Neste sentido, as etapas adotadas são:

1. Definição do escopo do projeto;
2. Projeto informacional (levantamento de dados);
3. Projeto conceitual (criação, análise e definição de um conceito);
4. Projeto executivo (execução e materialização do projeto);
5. Otimização/produção industrial (testes, melhorias no equipamento, dentre elas ergonômicas e estruturais).

3.1 Definição do Problema do projeto

Construção de protótipo de baixo custo, que tem a função de copiar/transpor formas e relevos de um molde (camafeu) para a superfície de uma ágata.

3.2 Projeto Informacional:

O projeto informacional é um levantamento de dados importantes para o projeto, iniciado por uma revisão bibliográfica, a busca do que compreende o universo da pesquisa, além de esclarecer algumas questões como: qual é tipo de usuário que será destinado este equipamento? Quais fabricantes potenciais? Quais as soluções atuais de mercado? Existem patentes com registros semelhantes?

Seguem as etapas selecionadas para contemplar o projeto informacional:

3.2.1 Usuário

Equipamento projetado para ser utilizado pelas pequenas empresas e artesões que beneficiam ágata e outros materiais gemológicos na cidade de Soledade e região, que tenham interesse em desenvolver trabalhos na forma de entalhes na superfície da ágata, com o fim de valorizar o produto final inserindo-os no mercado de joias.

3.2.2 Fabricante potencial

Empresas interessadas em construir equipamentos para os setores de artesanato, joalheria, e beneficiamento de gemas, em especial entalhes em ágata.

3.2.3 Soluções atuais de mercado

São escassos os equipamentos de baixo custo no Brasil para trabalhos em gemas e materiais gemológicos, sendo que atividades relacionadas a entalhes e desenhos em pedras, são feitos de forma manual através de motores elétricos operados manualmente e ferramentas do tipo fresas, diamantadas, dependendo exclusivamente da técnica do artesão. Por outro lado existem equipamentos de usinagem por comando numérico computadorizado (CNC), que podem ser utilizados para fresar material gemológico, porém com custos mais elevados.

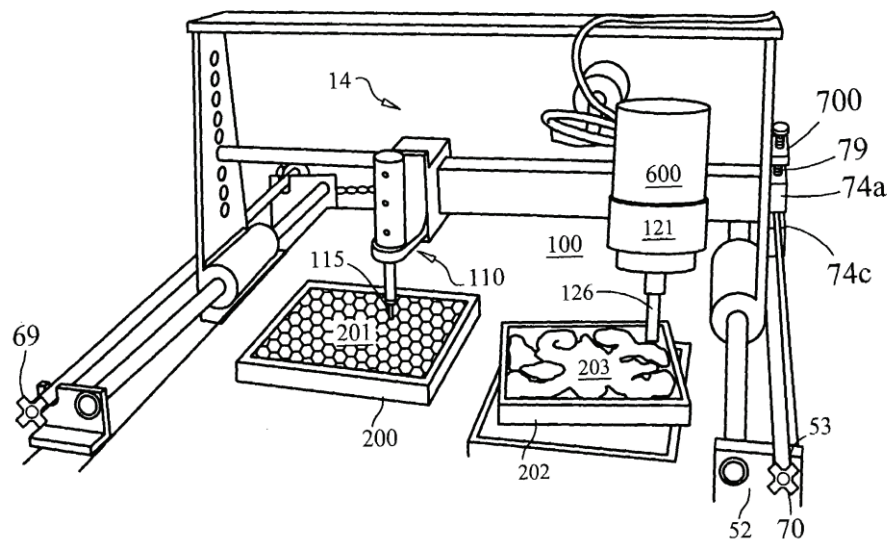
No mercado internacional há registros de entalhes e camafeus feitos na China de forma mecanizada através de equipamentos que produzem vibrações ultrassônicas em um molde que possui o desenho (entalhe) em negativo, que com ajuda de abrasivos e das vibrações, são executados os desgastes no material de acordo com o molde. (visto anteriormente na revisão bibliográfica)

3.2.4 Pesquisa em Bancos de Patentes

Existem inúmeros equipamentos pantográficos registrados, porém não com esta especificidade relacionado a criação de entalhes em material gemológico (ágata).

É possível encontrar diversos projetos de pantógrafos desenvolvidos para trabalho artesanal em madeira. Como pode ser encontrado no Google *Patent* (Figura 22)⁵, com número de publicação US7281552 B1, registrado nos Estados Unidos.

Figura 22 – Projeto de pantógrafo para usinagem em madeira, registrado no Google *patent* (os números abaixo correspondem ao código dos components)



Fonte: (https://www.google.com/patents/US7281552?dq=Wood+Carving+Pantograph&hl=pt-BR&sa=X&ei=Ic_jU8CmBeLgSATp9IDgDw&ved=0CDYQ6AEwAw)

Pode-se observar na figura 22 uma estrutura pantográfica na qual é responsável pela transmissão dos movimentos realizados pela ferramenta de cópia chamada de apalpador (marcados na figura com os números 115 e 110) sendo repetidos pela ferramenta fresa de corte (126) na mesa trabalho, sendo a força gerada por um motor de usinagem (600).

Outro equipamento encontrado, que é utilizado na confecção de próteses dentárias, e que também utiliza de um sistema pantográfico, é fabricado pela empresa italiana Zirkozahn. Como pode ser visto na figura 23 este sistema segue os princípios da cópia pantográfica, possuindo os mesmos dois conjuntos, um apalpador e o outro de reprodução da cópia (na

⁵ Wood carving assembly and a method for making the same (Escultor de madeira montagem e método de reprodução): Número da publicação: US7281551 B1; Tipo de publicação: Concessão; Número do pedido: US 11/082,565; Data da publicação 16 out. 2007; Data de depósito 17 mar. 2005; data de prioridade: 17 mar. 2005; Status de taxa: sem validade; Inventores: Harrison L. Coleman, Gerald E. Coleman; Cessionário original: Coleman Harrison L, Coleman Gerald E.

figura pode-se identificar o de reprodução de corte à esquerda com um fio que aciona a ferramenta).

Figura 23 - Equipamento pantográfico para executar cópias de coroas dentárias na confecção de próteses, fabricado pela empresa Zirkonzahn.



Fonte: <http://www.zirkonzahn.com/pt/produtos/machines-and-equipment/zirkograph>

Pode-se observar também, que a sua configuração estrutural é diferente dos equipamentos mais tradicionais, o destaque é para mesa de trabalho que pode ser inclinada em dois sentidos, dando ao operador diversas opções de diferentes ângulos de ataque com a ferramenta, proporcionando uma melhor estratégia de usinagem.

3.2.5 Revisão de equipamentos do projeto

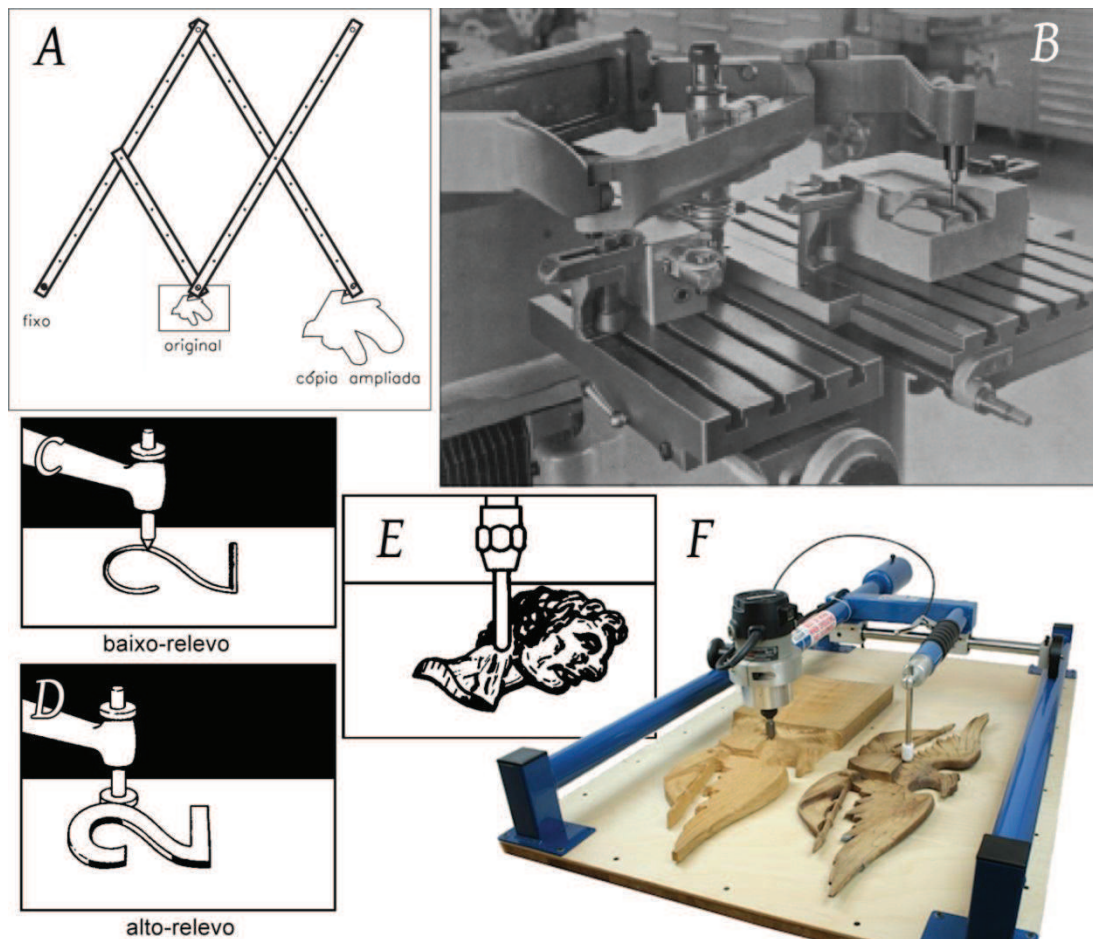
Nesse item serão apresentados equipamentos pantográficos tridimensionais, utilizados para copiar entalhes em madeira e outros materiais. Em seguida serão descritos os motores para execução de entalhes em gemas e as ferramentas fresa utilizadas junto a esses motores.

3.2.5.1 Pantógrafo

O pantógrafo é um equipamento para realizar cópias de um desenho ou objeto, em seu tamanho real ou em diferente escala do desenho original. Os primeiros equipamentos

pantográficos, os bidimensionais, são feitos com régua interligadas em madeira, onde o desenhista traça o desenho por cima do original e o braço articulado em madeira repete os mesmos movimentos traçando-os em outra área do papel. Esse sistema é bastante utilizado para ampliar ou reduzir desenhos, e é visto em diversas áreas da matemática, geografia e engenharia. Na Figura 24 observam-se os tipos de pantógrafos existentes, o clássico para copiar desenhos foi primeiro pantógrafo criado (Fig. 24A), pantógrafos mecânicos (Figs. 24 B e F) para copiar esculturas e relevos e também é relacionado com os tipos de cópia, baixo (Fig. 24 C) e alto-relevo (Fig. 24 D) e tridimensional (Fig. 24 E).

Figura 24 – Tipos de pantógrafo e gravações:



(A) pantógrafo clássico; (B) pantógrafo mecânico; (C) gravação baixo-relevo; (D) gravação alto-relevo; (E) gravação tridimensional; (F) Pantógrafo para trabalho em madeira.

Fonte: (A,B,C,D,E: Modificado de: TC2000, aula 70; F: <http://wood-carver.com/>)

O pantógrafo mecânico funciona com os mesmos princípios, porém realiza cópias tridimensionais (eixo Z). Também chamado de fresadora pantográfica, é utilizado para reproduzir gravações para estampas de moeda, medalhas, placas com texto, dentre outros (TC2000, aula 70).

A fresadora pantográfica funciona através de dois conjuntos: mesa porta-matriz, que é onde será colocado o modelo que será tocado pelo dispositivo chamado de apalpador, que irá transmitir as coordenadas a serem gravadas. O outro conjunto é denominado mesa de trabalho; é nesta área que estará o material onde será reproduzido o desenho por meio de bastão abrasivo ou fresa gravadora.

Existe uma série de diferentes equipamentos pantográficos para trabalhos artesanais, confecção de letreiros, hélices, instrumentos musicais e muitas outras aplicações. Quando se procede com pesquisa de termos como *Wood Carving Pantograph*, é possível encontrar uma série de vídeos na *web* com esses equipamentos sendo utilizados, dos mais simples, construídos de forma caseira, aos mais complexos com diversos sistemas de movimento.

3.2.5.2 Motores e ferramentas para entalhe em gemas

Os equipamentos utilizados para prática da escultura em gemas pertencem à classe dos micromotores elétricos de eixo flexível, como é o exemplo da Figura 7 vista anteriormente. Conhecidos popularmente como chicote ou serpentina, são utilizados na odontologia (tratamentos dentários), joalheria e artesanato para a gravação de metal, vidro e outros materiais.

Uma das marcas mais conceituadas nesse seguimento é a FOREDOM[®], onde em seu endereço eletrônico é possível ver uma série desses motores para diversas aplicações. Segundo a empresa, os modelos indicados para trabalho em gemas possuem alto torque e trabalham em rotações de 2000 a 15000 rpm.

Figura 25 – Motores Foredom Electric Co.

(A) Power Graver kit



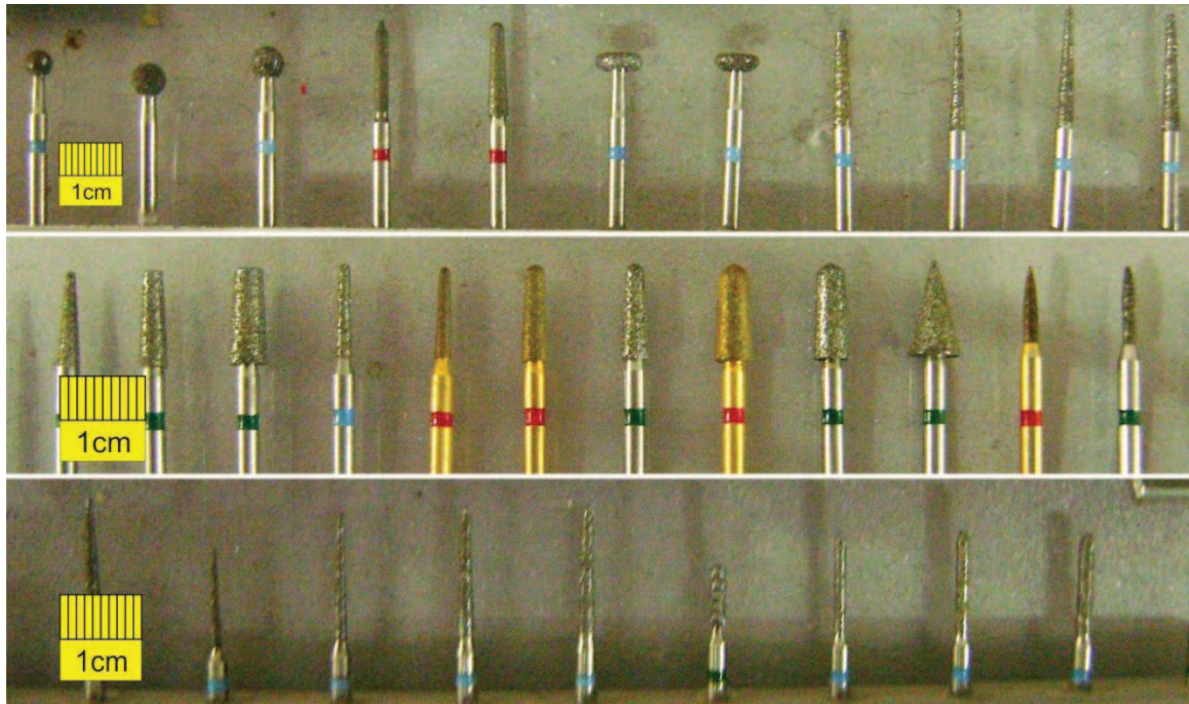
(B) K.2240 Stone Setting Kit



Fonte: <http://www.foredom.net/>

Junto aos motores da figura 25 é preciso utilizar ferramentas diamantadas, devido à dureza da ágata (6,5 à 7 na escala de Mohs). No mercado há uma série dessas ferramentas com diferentes formatos de ponta para diferentes estratégias de corte (Figura 26).

Figura 26 – Ferramentas diamantadas KG Sorensen



<http://www.kgsorensen.com.br/>

3.2.6 Definição da Tarefa

De acordo com a metodologia, no projeto informacional deve-se levantar e definir as tarefas que o produto ou equipamento deverá desempenhar. E com base na resolução destas tarefas é necessária a criação da lista de requisitos para que elas sejam contempladas. Neste foram mapeadas as principais tarefas, que estão descritas abaixo:

- Duplicar a superfície do modelo na superfície da ágata;
- Sistema de água deve evitar superaquecimento da peça na ágata e na ferramenta de corte;
- A bancada de trabalho deve dar suporte ao equipamento e proporcionar ao operador um ambiente ergonômico de trabalho;
- O equipamento deve se movimentar com facilidade e não deve exigir esforços do operador.

3.2.7 Lista de Requisitos

A lista de requisitos é um conjunto de informações reunidas pelo projetista com base nos conhecimentos até então pesquisados e não necessariamente significam que estarão corretas, pois provavelmente até o fechamento do conceito final elas serão muitas vezes alteradas. Basicamente é uma lista que tenta resolver primariamente os problemas do projeto, devendo transmitir ao projetista uma ideia do que será necessário em questão de materiais e equipamentos para que o desenhista tenha subsídios para gerar os desenhos conceituais. Esta lista (Quadro 10), contempla os seguintes requisitos: Geometria (dimensões), Cinemática (movimentos), Forças (potência do equipamento), Energia, Material, Segurança, Produção, Operação, Manutenção e Prazos.

Com relação aos requisitos elaborados no Quadro 10, no que diz respeito ao quesito geometria, definiu-se algumas dimensões suficientes para contemplar a confecção de peças para joalheria com dimensões não maiores que 1000 mm², sendo as peças para compor pingentes, brincos, anéis e camafeus.

Também foi definido a dimensão do reservatório de água, um valor de 5 litros foi estimado, para durar de 6 a 7 horas de trabalho com uma vazão respectiva de 14 a 12 ml por minuto, o valor pode variar dependendo do fluxo a ser controlado por uma válvula. Esse sistema tem a função apenas de vaziar algumas gotas na peça onde o corte será efetuado, sendo que tanto a vida útil como a qualidade do corte da ferramenta é muito superior em relação ao corte seco.

O segundo requisito, que diz respeito a cinemática, ou seja os movimentos mecânicos do protótipo, definiu-se como prioridade os três movimentos básicos de usinagem as coordenadas x, y e z que é responsável pela profundidade e a tridimensionalidade da peça. Outros movimentos especiais de rotação foram pensados. Os de rotações nos eixos padrões, porém esses movimentos não são essenciais como os três movimentos clássicos (x,y e z) apenas tem a função de conferir movimentos alternativos e proporcionar ao usuário uma maior variedade de ângulos de ataque da ferramenta à peça.

No requisito forças os motores de suspensão FOREDOM, foram previamente selecionados por ser utilizado na prática da escultura em ágata e outras gemas pelo resto do mundo, além de ter características móveis que contribuem com a ideia do projeto. Possuem em torno de 18.000 rpm's e 1/6 HP.

Com relação ao motor responsável por conduzir o fluxo de água do reservatório ao bico da ferramenta, será testado um motor comum usado em fontes e aquários para sugar

água, imagina-se que este sistema seja suficiente para essa função, de acordo com uma análise em equipamentos de lapidação que utilizam motores semelhantes a estes.

O item 4 corresponde aos componentes ligados a energia elétrica, sendo os motores de corte e d'água e uma lâmpada para iluminação da bancada de trabalho.

O item 5 refere-se aos materiais que serão utilizados para o desenvolvimento do protótipo. Primariamente pensou-se na bancada de trabalho em madeira como uma mesa onde o equipamento será montado, com relação aos componentes e base para montagem do equipamento e a estrutura de cópia será basicamente feito em aço carbono. Os polímeros serão usados para peças mais simples como o reservatório para água.

Com relação à segurança do trabalhador sabe-se primariamente a necessidade do uso de EPI's, como protetor auricular (diminuir ruído do motor), óculos de proteção (proteção aos olhos do cavaco de corte do material), máscara de filtro de ar (filtrar partículas de sílica ocasionado pela usinagem de materiais gemológicos, evitando a inalação e prevenindo doenças respiratórias como a silicose) e jaleco guarda-pó (esse item é necessário apenas por uma questão de higiene. Além dos equipamentos de proteção individual, é necessário que o equipamento tenha boas dimensões para o trabalho sentado e com as duas mãos, bem como a estrutura deve ser rígida mas não deve exigir esforços do trabalhador.

O item 7 referente a produção, descreve o equipamento como protótipo e não como equipamento pronto para o uso, é preciso avaliá-lo após os testes apontar melhorias para então assim obter-se a ideia final do equipamento.

No item operação, descreve o equipamento como manual e de reprodução de entalhes em apenas uma peça por vez.

Com relação à manutenção os principais cuidados são a limpeza e engraxamento dos rolamentos e trilhos das guias lineares, bem como a troca de água do sistema hidráulico.

Quadro 10 – Lista de requisitos. As letras E e D significam respectivamente exigências e desejos, sendo que os desejos podem ser descartados.

Rafael Cardoso Bisinella		Lista de requisitos: Pantógrafo de relevo para entalhe em ágata	Folha 1 Página 1
Data:	E/D: Exigências ou Desejos	Requisitos:	Modificado:
31/10/2013	E	<p>1. Geometria: Dimensões área de trabalho para produção de peças em ágata: 120 mm x 120 mm Produção de peças não maiores que 14400 mm² altura do entalhe não maior que 10 mm</p>	
	E	Dimensões estrutura/bancada de trabalho: mesa com altura ergonômica de aprox. 70 cm para trabalho sentado, com área útil de 40 cm x 110 cm altura da estrutura de cópia não maior que 35 cm.	
	E	Dimensões reservatório de água: para capacidade de armazenamento de 5 litros medidas aproximadas: 30 cm de altura x 15 cm de comprimento x 12 cm de largura	
	E	<p>2. Cinemática: Cabeçote de corte tem a função de copiar os movimentos traçados pelo operador através do cabeçote de molde, realizando movimentos em 5 eixos: Movimentos: X, Y, Z, rotação em eixo X e rotação em eixo Y.</p>	
	D	Movimento de rotação da mesa de trabalho	
	D	<p>3. Forças: Contra peso para equilibrar estrutura de cópia eliminado esforços do operador</p>	
	E	Movimentos sobre rolamentos para redução de atrito	
	E	Força do motor principal: aprox. 5000 rpm's, alto torque. Ex: FOREDOM LX Series.	
	E	Motor/bomba para reservatório de água	
	E	<p>4. Energia: Motor principal</p>	
	E	Motor/bomba água	
	E	Iluminação	
	E	<p>5. Material: Bancada de trabalho: Madeira</p>	
	E	Estrutura pantográfica: Barramentos em aço	
	E	Reservatório para água: Polímero	
	E	<p>6. Segurança: Dimensões ergonômicas</p>	
	D	Apoio para antebraço	
	E	Equipamentos de proteção Individual: Máscara de filtro de ar; protetor auricular; óculos de proteção;	
	E	<p>7. Produção: Protótipo</p>	
	E	<p>8. Operação: Manual (produtividade uma peça por vez)</p>	
E	<p>9. Manutenção: Limpeza do equipamento e engraxamento dos rolamentos</p>		
E	Troca de água		
D	<p>10. Prazos: Dezembro 2014</p>		
<i>Lista de requisitos com base na metodologia de PAHL et al. (2005)</i>			

3.2.8 Requisitos do usuário

Com base em uma discussão com dois profissionais experientes em lapidação e manuseio de gemas, foram traçados algumas características e propriedades que se espera do equipamento. Assim foi gerado uma lista com os requisitos do usuário. Segue as informações elaboradas nesta discussão.

- Equipamento de fácil manuseio;
- Ter extrema rigidez e precisão;
- Não deve ter folgas na estrutura de movimentos;
- Deve transmitir firmeza ao operador, porém seus movimentos não devem exigir esforços possuindo um bom sistema deslizante nos eixos;
- Deve trabalhar com água ou óleo para refrigeração do corte;
- É necessário o uso de ferramentas diamantadas para execução de cortes em materiais gemológicos;
- Recomenda-se um motor de suspensão com bom torque como é o caso do Freedom;

Com base nos dados levantados, a próxima etapa é a definição conceitual do projeto, geração de ideias, desenhos iniciais, e posteriormente definição do conceito final.

3.3 Projeto do Conceitual

O protótipo será um pantógrafo de mesa, feito para se trabalhar em peças pequenas de ágata para joalheria. Ele deve realizar cópias através de um molde de um camafeu (desenho em alto-relevo) e sua energia de usinagem será gerada por um micromotor elétrico e fresas diamantadas. Um sistema com a utilização de água deverá auxiliar na refrigeração da ferramenta. O pantógrafo deverá executar movimentos necessários para uma cópia, sendo que movimentos em eixo X, Y e Z são essenciais e movimentos em diagonais desejáveis.

Nesta fase foram especificadas as funções que o equipamento deve realizar. Estas são divididas em função global (é a função principal do equipamento) e subfunções (funções que cada componente do equipamento deve realizar para que a função global seja contemplada).

Para essa etapa criou-se um fluxograma (fig. 27), onde foram mapeadas as funções e especificadas as soluções para cada componente do equipamento. Pode ser observado um

layout de funcionamento que correlaciona as funções e explica a ligação entre os componentes.

funções definidas serão listadas a seguir.

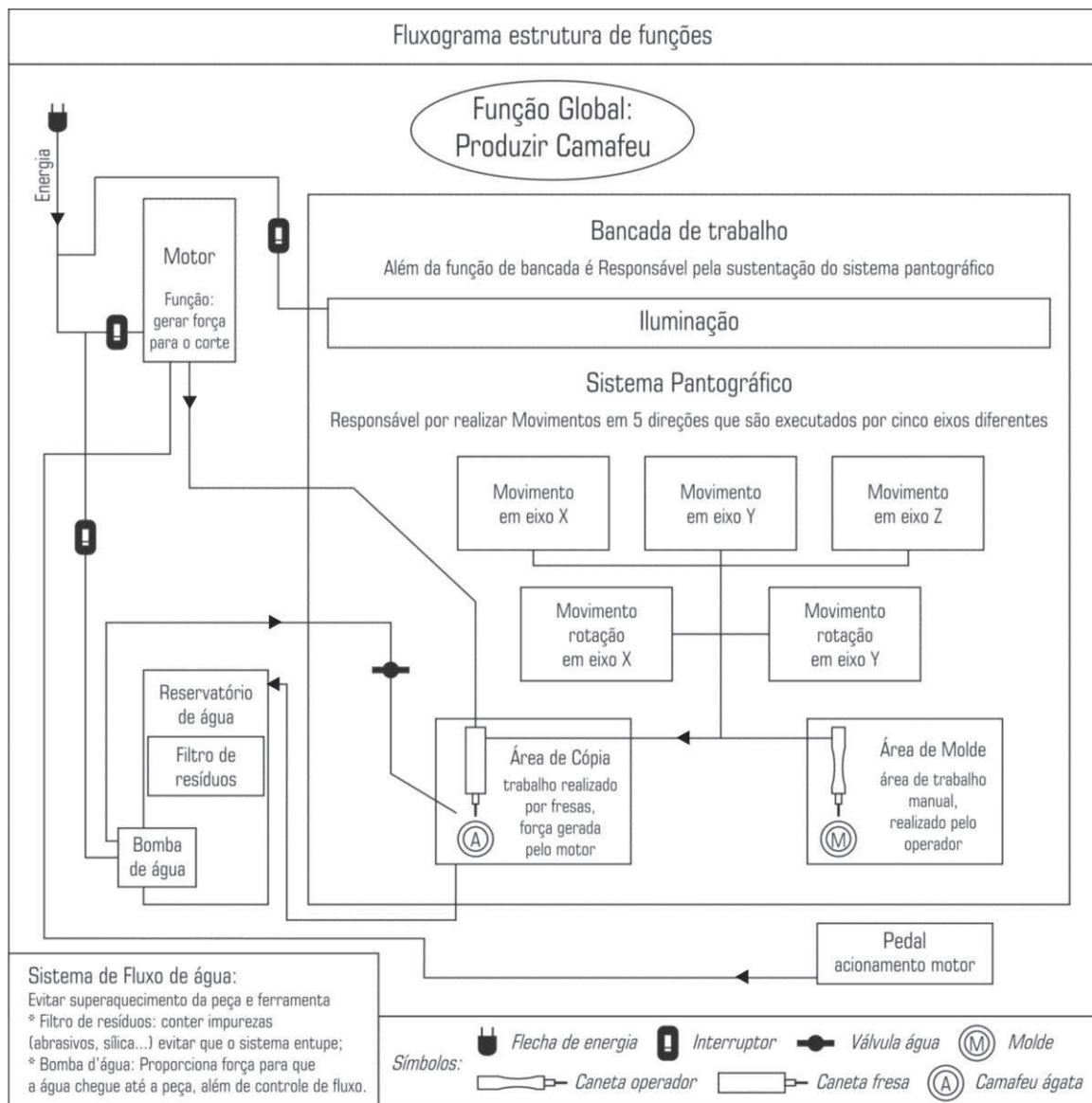
Função Global:

- Produzir Camafeus

Subfunções:

- Bancada de trabalho: dar suporte ao equipamento e proporcionar ao operador um ambiente ergonômico de trabalho;
- Iluminação: proporcionar ao operador uma boa visualização das peças a serem trabalhadas;
- Sistema pantográfico: realizar movimentos suficientes para uma duplicação do modelo, sem exigir grandes esforços do operador;
- Motor: proporcionar força à fresa de corte de ágata;
- Pedal: acionar o motor e controle de intensidade;
- Sistema de água: evitar superaquecimento da peça e ferramenta na área de cópia;
- Bomba d'água: levar a água até a peça a ser usinada em ágata e controle de fluxo;
- Filtro de resíduos: evitar que o sistema de água entupa;

Figura 27 – Fluxograma estrutura de funções



De acordo com o fluxograma (Fig. 27), pode-se observar a ligação entre os componentes no qual pode-se dividir em 3 sistemas de funcionamento, são eles: sistema de motor e energia, sistema mecânico pantográfico e sistema hidráulico. O sistema de energia dá força elétrica ao motor, iluminação para a bancada de trabalho e bomba d'água. O motor é acionado pelo operador através de um pedal, transmitindo a força mecânica e as rotações para que as fresas usinem o material. O sistema mecânico pantográfico é sustentado por uma bancada de trabalho (mesa), esse sistema é responsável por executar movimentos de usinagem tridimensional seguindo os relevos do molde que será copiado. Por fim o sistema hidráulico tem a função de ajudar na refrigeração das ferramentas. Uma bomba d'água instalada dentro do reservatório é responsável para que o fluxo da água chegue até a mesa de trabalho onde a peça estará sendo usinada, sendo que esta água deve voltar ao reservatório para ser

reaproveitada completando-se o ciclo. É importante a verificação da utilização de um filtro para evitar possíveis entupimentos na bomba d'água.

O próximo passo a partir do levantamento de dados e identificação dos sistemas do equipamento foi desenvolver um painel que prevê soluções para atender as subfunções que irão contemplar a função global de produzir camafeus. Este painel, representado (Quadro 11), é chamado de Solução/subfunção, sendo que as subfunções listadas à esquerda são correlacionadas com algumas alternativas de dispositivos que podem ser capazes de cumprir a tarefa.

Quadro 11 – Painel solução/subfunção

<i>Solução</i> <i>Subfunção</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<i>Estrutura Pantográfica</i>	Rolamento Linear ✓	Rolamento Guias Lineares ✓	Rolamento Fuso de esferas	Rolamento Radial ✓
<i>Sistema de Hidráulico</i>	Reservatório de água + Bomba d'água ✓	Reservatório de água + Bomba d'água + Filtro de resíduos ✓		
<i>Motor</i>	Equipamentos odontológicos 30.000 rpm	FOREDOM LX Series ✓	FOREDOM Power Graver ✓	
<i>Acionamento motor</i>	Pedal com ajuste de velocidade ✓	Botão com ajuste de velocidade ✓		

No quadro 11 foram analisados algumas soluções para contemplar as subfunções do equipamento, para o item estrutura pantográfica pensou-se em alguns rolamentos comuns em equipamentos de usinagem no mercado, para realizar movimentos lineares dos eixos x e y os rolamentos mais indicados são os lineares e guias lineares. Para os movimentos de rotação em um eixo os rolamentos mais usados são os radiais, que são os mais comuns no mercado. Já os rolamentos fusos de esferas não foram selecionados, pois possuem um sistema de avanço giratório mais indicado a equipamentos mecanizados.

O sistema hidráulico neste caso é bastante simples apenas tem a função de levar algumas gotas de água à ferramenta de corte. É formado por um reservatório de água, um motor de circulação, uma válvula de controle de fluxo e um coletor de água e resíduos de corte. A outra opção apresentada soma a esse sistema um filtro de resíduos no coletor de água fazendo uma ligação com o reservatório inicial, podendo assim reaproveitar a mesma água,

diminuindo assim a manutenção, tendo apenas que limpar o filtro periodicamente. Para o protótipo proposto neste trabalho, versão de teste do equipamento, optou-se pela configuração mais simples, sem filtro.

O motor selecionado foi indicado por um lapidário experiente, que já trabalhou com inúmeros modelos destes motores em materiais gemológicos, bem como é referenciado na literatura nas técnicas de escultura. Com relação ao motor com rotação de 30.000 rpm's, muito utilizado também na joalheria para se trabalhar com metais, apesar de sua alta velocidade é um motor substancialmente menor e com menos potência, no qual foi possível fazer testes em ágata com ferramentas diamantadas, a usinagem acabava que perdendo rotações ao entrar em contato com a ágata, não demonstrando força suficiente para realizar boas usinagens neste material. Para o acionamento do motor tanto o pedal como o botão de ajuste de velocidade são adequados.

3.3.1 Projeto preliminar de configuração e geração de alternativas

Nesta etapa são desenvolvidos *layout's* e formas preliminares do protótipo com base nos dados já levantados. Para esta fase foram feitos desenhos sem limitações e exigências funcionais, um modelo apenas ilustrativo no qual as ideias do projetista foram transmitidas para o papel isento de responsabilidades, apenas com o intuito de desenvolver a criatividade.

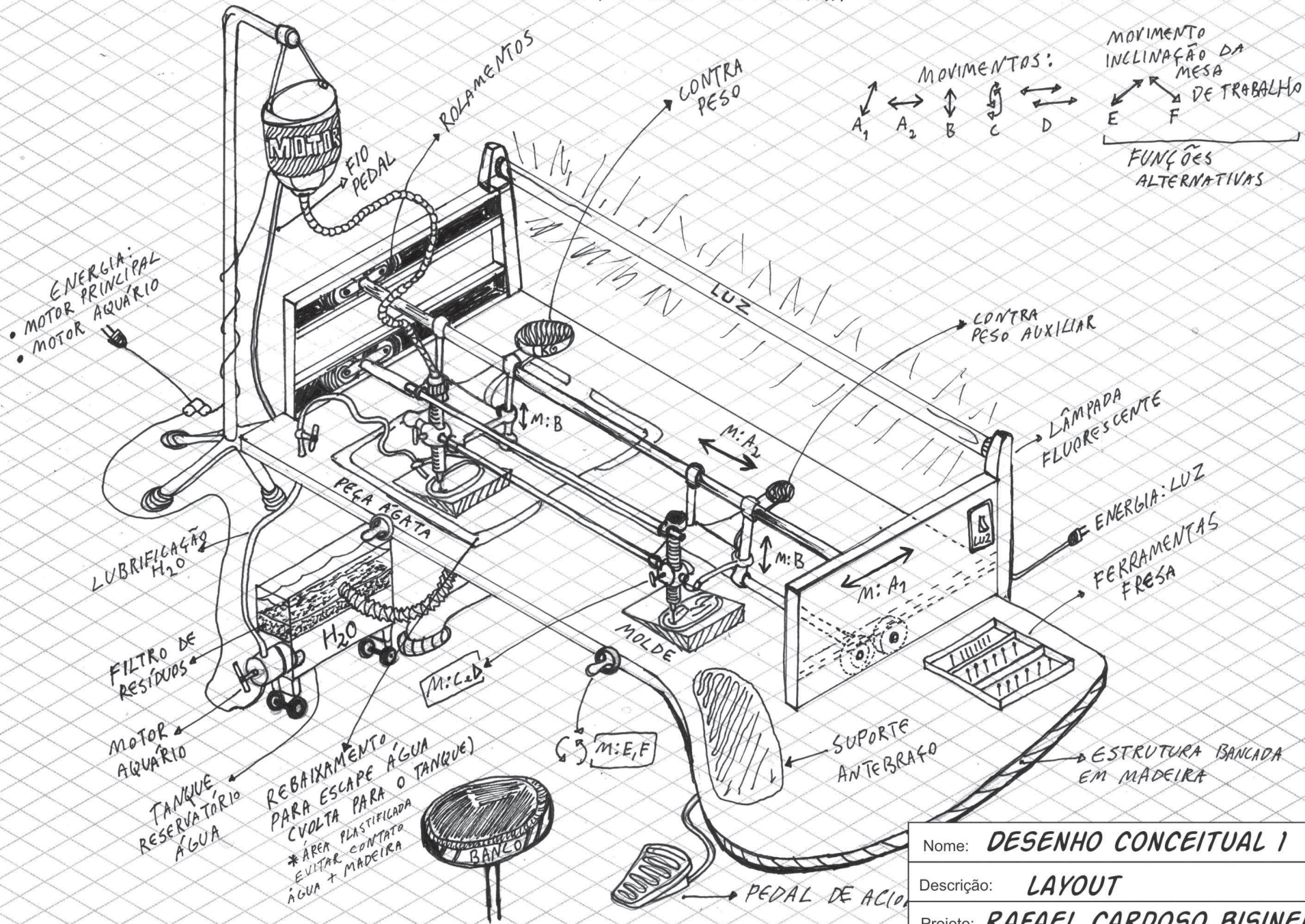
Esse desenho primário é representado pelo Desenho Conceitual 1, que como pode ser visto não possui escala e nem parâmetros reais. (Fig. 28).

Este desenho em perspectiva isométrica foi desenvolvido com o propósito de transmitir visualmente a estrutura de bancada de trabalho e as ligações entre os componentes do equipamento. Algumas alternativas também são ilustradas como: rebaixamento para vazão d'água, movimentos de rotação da mesa de trabalho e apoio para antebraço.

Já na fase seguinte é apresentado o Desenho Conceitual 2 (Fig. 29), que é mais elaborado e realista, com objetivos traçados como: clareza visual, simplificação da estrutura, tamanhos próximos aos reais e a preocupação com conceitos de forma alinhados à função.

Este desenho em perspectiva isométrica foi desenvolvido com alguns parâmetros já estabelecidos e tem como objetivo esclarecer o sistema pantográfico (estrutura com rolamentos lineares) e seus movimentos (X,Y,Z, rotação em X e rotação em Y). O tamanho da área de trabalho das peças é de 120 mm x 120 mm, o desenho está em escala reduzida 2:1 (metade do tamanho real), sendo possível ter a noção do tamanho da estrutura e de seus componentes.

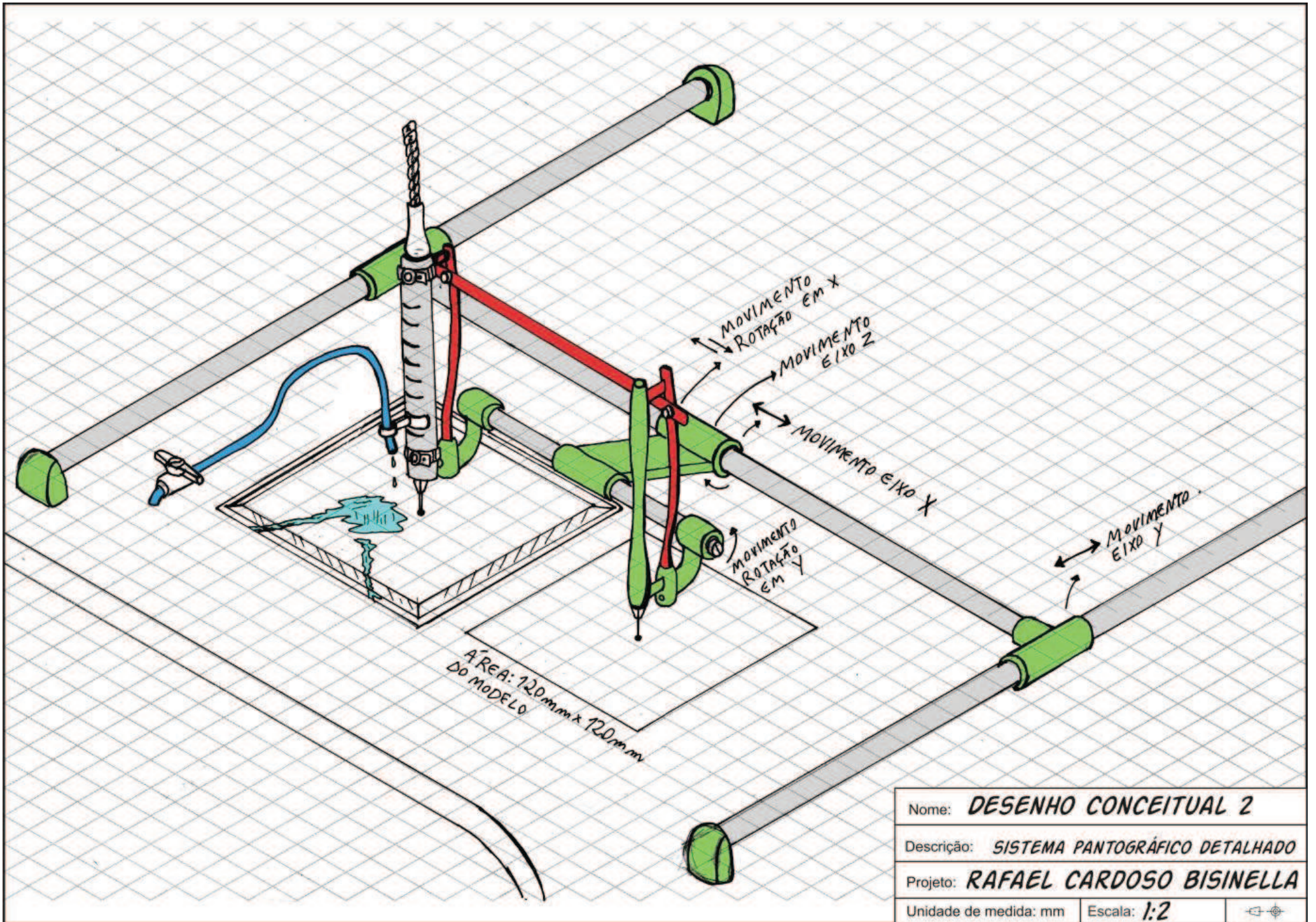
DESENHO CONCEITUAL : PANTÓGRAFO DE RELEVO PARA ENTALHE EM ÁGATA



Nome: **DESENHO CONCEITUAL I**

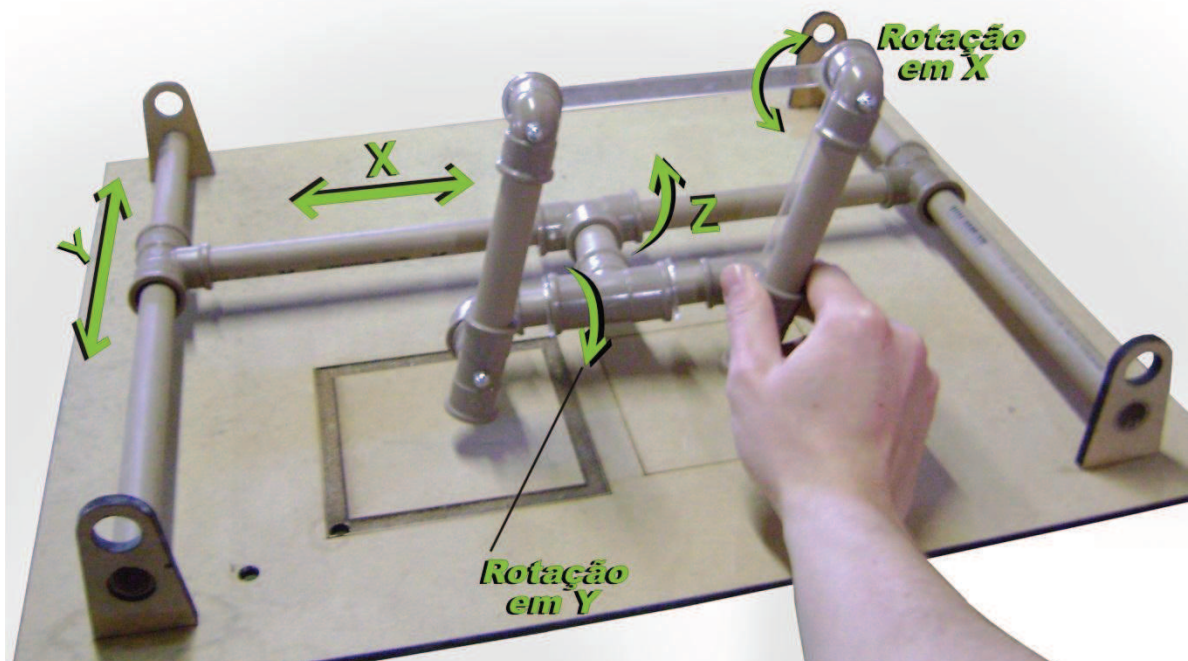
Descrição: **LAYOUT**

Projeto: **RAFAEL CARDOSO BISINELLA**



Depois dos desenhos conceituais prontos, foi desenvolvido uma maquete de acordo com o Desenho Conceitual 2, sendo esta maquete uma representação tridimensional em tamanho real e elaborada com material alternativo, neste caso canos de PVC de 20mm e joelhos e juntas PVC de 25mm. O material de base é uma chapa de MDF de 6mm cortada em plotter laser, com a marcação da área de cópia e trabalho com 120mm x 120mm gravadas a laser. Uma chapa de acrílico com 2mm de espessura cortada a laser e alguns parafusos são responsáveis pelo funcionamento do movimento denominado rotação em eixo X.

Figura 30 – Maquete de simulação tridimensional de movimentos feita com canos e juntas PVC.



Essa maquete foi desenvolvida para a realização de um entendimento tridimensional e análise dos movimentos do equipamento, obviamente os canos PVC não deslizam facilmente e estrutura possui folgas, mas a criação desta maquete tornou-se uma síntese clara dos movimentos desejados (movimento eixo X, movimento eixo Y, movimento de altura em Z e movimentos em diagonais, rotação em X e Y) a serem executadas pelo protótipo.

3.3.2 Geração e seleção de conceitos

Depois dos estudos conceituais gerados anteriormente o projeto chega a um ponto crucial de tomada de decisões e definição do projeto conceitual final, para que assim, depois da definição estrutural dos componentes seja possível o desenvolvimento do protótipo real do

equipamento.

A tomada de decisão mais importante deste projeto é sem dúvida a seleção dos dispositivos deslizantes selecionados anteriormente. A dúvida se dá entre a utilização de rolamentos lineares ou guias lineares e a relação custo benefício entre os dois.

Para estas duas alternativas, de acordo com a forma de funcionamento de cada um dos dispositivos, pode-se notar que há uma diferença entre os dois. Para esta foram criados através do *software* 3D de desenvolvimento de equipamentos e produtos, o *Solid Works* 2010, uma simulação tridimensional de como seria a estrutura do equipamento para os dois tipos de rolamentos, de acordo com as Figuras 31 e 32:

Figura 31 - Conceito estrutural com rolamentos lineares 20 e 16 mm.

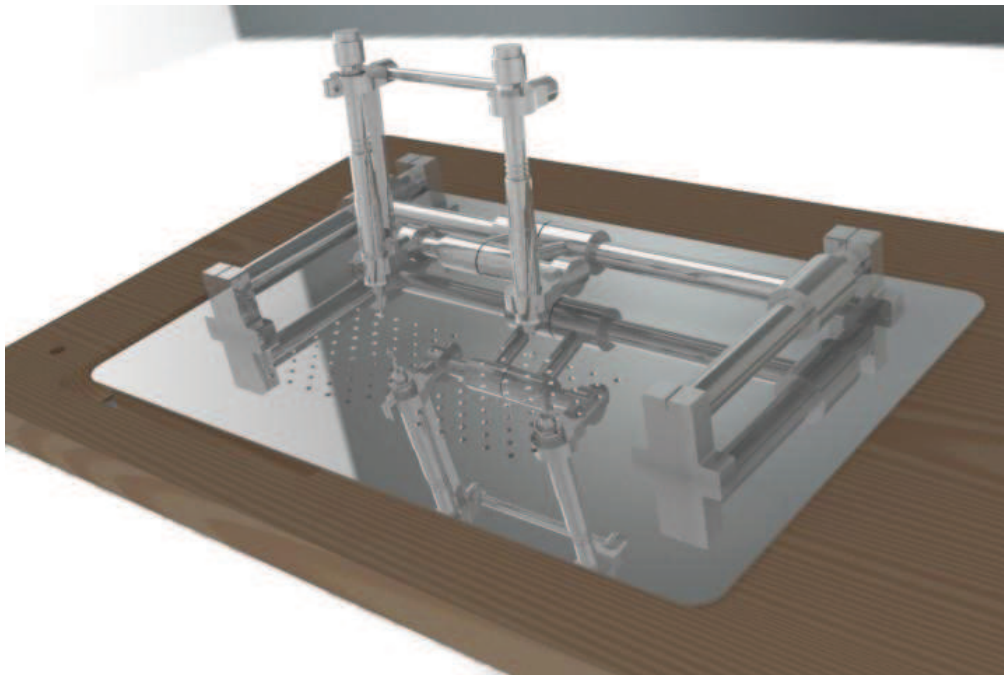
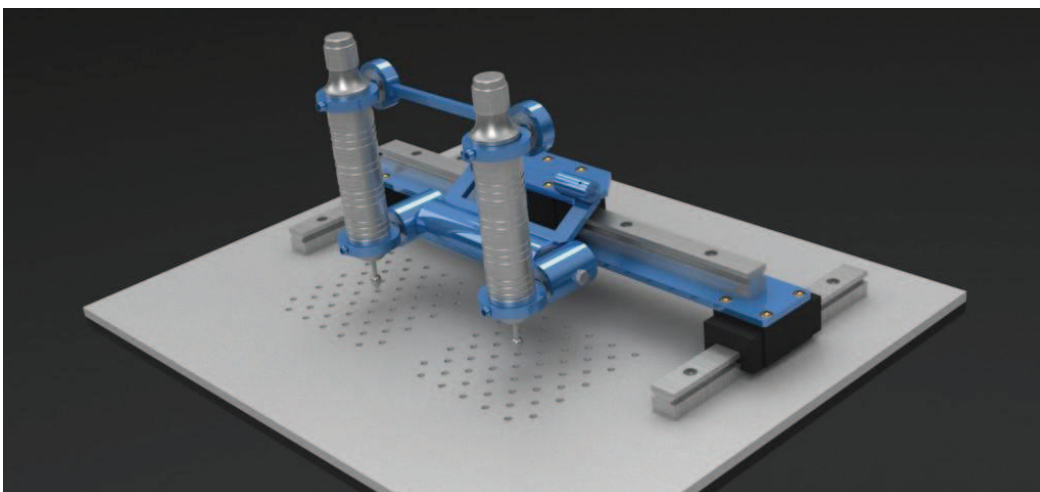


Figura 32 - Conceito estrutural com rolamentos guias lineares com trilhos de 15 mm.

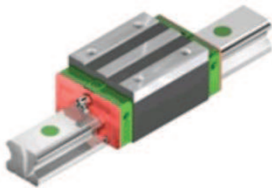



3.3.3. Seleção Conceitual

Para esta etapa foi feito um painel de seleção de conceito (Quadro 12), que compara os atributos dos dois sistemas, sendo o: C1: estrutura com guias lineares com trilhos de 15 mm e C2: Rolamento Linear 20 mm.

Para a seleção do conceito mais adequado, comparou-se as duas alternativas através de uma nota de 1 a 5 pontos atribuída para cada um dos parâmetros levantados e considerados importantes para a estrutura pantográfica. São eles: capacidade de carga dinâmica e estática, precisão, rigidez e preço. Sendo atribuídos também um peso de 1 a 5 pontos para cada um deles, este, deve ser multiplicado pela nota do conceito em cada um dos itens. Por exemplo a capacidade de carga dinâmica das guias lineares possui peso 2 e nota 5, quer dizer que os pontos relacionados a esse item correspondem a 10 (2x5).

Quadro 12 – Painel Seleção de Conceito

Seleção de Conceito			
			
C1: Guia linear 15 mm	C2: Rolamento linear 20 mm		
	Peso	C1	C2
Capacidade de carga Dinâmica	2	5 (796 kgf)	2 (88 kgf)
Capacidade de carga Estática	2	5 (1377 kgf)	2 (140 kgf)
Precisão	2	5	2
Rigidez	2	5	2
Preço	5	2 (4x + alto)	5
	Pontos	50	41

Como se observa no painel do quadro 11, o C1 (estrutura com guias lineares), possui vantagem nos 4 primeiros itens (os números em kgf para a comparação dos dois primeiros foram tirados do catálogo de rolamentos da fabricante HIWIN) e apenas com exceção do preço que é de 4 a 5 vezes mais alto que o preço dos rolamentos lineares. Considerando a importância deste requisito para um protótipo de baixo custo, foi dado um peso de 5 pontos a

esse item.

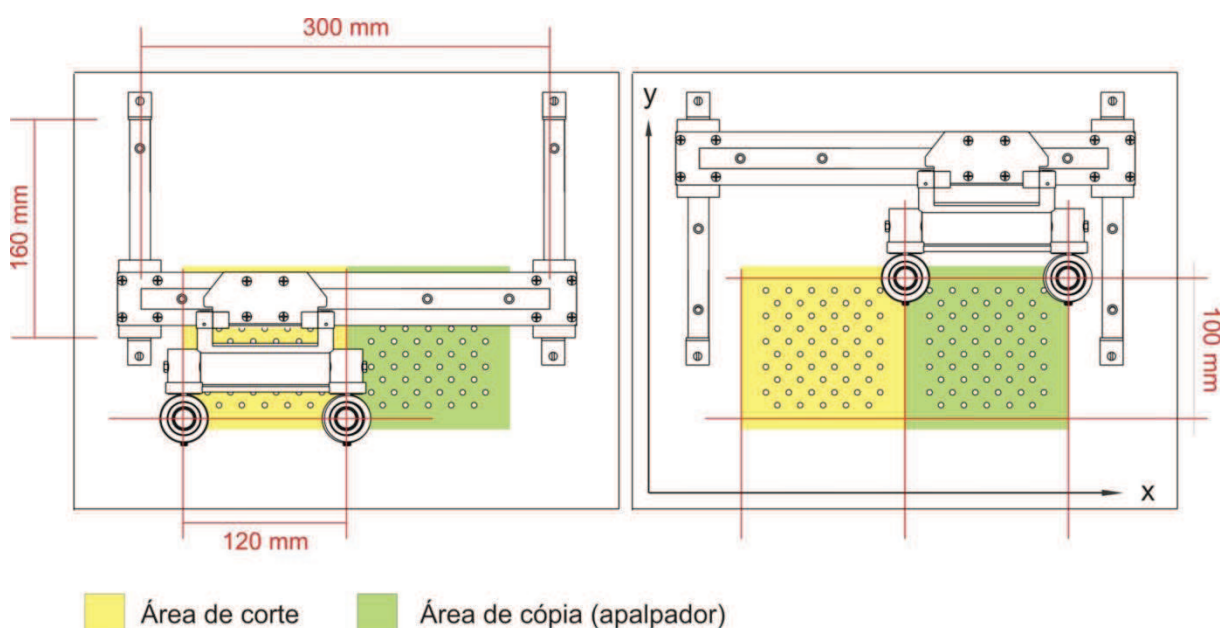
Como pontuação final o C1 com 50 pontos superou o C2 com 41 pontos, mostrando que a escolha do Conceito 1 com guias lineares apesar do custo superior, pode ser a solução mais adequada e segura para o melhor funcionamento do dispositivo de cópia pantográfica.

3.4 Projeto Executivo

Nesta etapa do projeto o equipamento é materializado, sendo este, um protótipo para execução dos testes e posteriormente a validação da técnica e equipamento. Para a construção deste, primeiramente serão apresentados os componentes do equipamento e o detalhamento técnico desses, bem como meios de fabricação e montagem, para assim construir-se uma primeira versão do instrumento.

O primeiro parâmetro considerado para a elaboração das dimensões do equipamento foram a partir da definição da área de trabalho definida anteriormente como de aproximadamente 14400 mm², para a confecção de peças menores à estas dimensões ou seja a distância entre os eixos de corte e de cópia (apalpador) deveria ser de 120 mm, e a partir desta distância foram definidas as dimensões das guias lineares para complementar esta medida da área de trabalho. Podemos ver a definição desses parâmetros melhor de acordo com a figura a 33.

Figura 33 – Dimensões importantes: área de trabalho e distância entre eixos



Na figura 33 tem-se uma vista de representação de topo do equipamento, que sendo

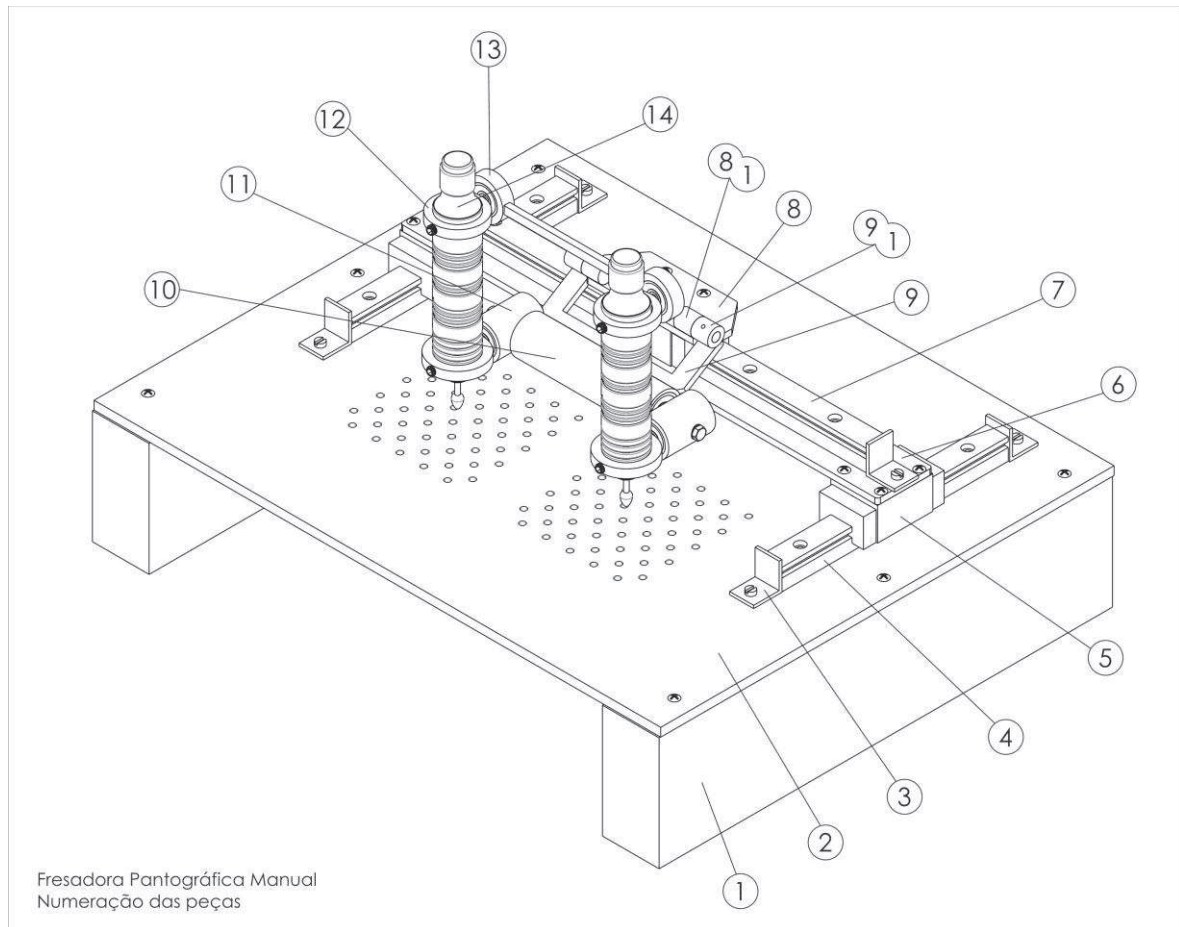
um pantógrafo tem sua área de trabalho dividida em duas seções: área de corte (Amarela) e área de cópia (verde). Na área de cópia será fixado o molde em relevo à ser apalpado pelo conjunto (peça de mão) direito, sendo que o conjunto mecânico será responsável para que a peça de mão esquerda execute os mesmos movimentos do conjunto direito. Nesta área de corte (amarela) é onde será fixado o material gemológico a ser usinado. O conjunto de peça de mão esquerdo será conectado ao motor de suspensão FOREDOM que acionará a broca diamantada presa ao mandril (peça de mão esquerda) para o corte do material. No conjunto direito, por sua vez será preso ao mandril (peça de mão) um apalpador, com mesmo formato da ferramenta diamantada a fim de transmitir apenas os movimentos de entrada de corte para aquele tipo específico de ponta de ferramenta. A definição destas áreas pode ser invertida de acordo com a preferência do usuário, que pode ser canhoto ou destro.

Ainda nesta figura, vê-se que a distância entre os eixos é correspondente aos 120mm estipulados, mas o valor de alcance lateral ficou de 100mm, devido ao tamanho dos trilhos das guias lineares laterais de 160mm escolhidos para caber na chapa de aço de base que já possuía um tamanho definido e foi reaproveitada para este protótipo. Ainda assim esta dimensão lateral é suficiente neste caso, por se tratar da confecção de peças pequenas para o mercado joalheiro. Estes números ainda podem ser redimensionados de acordo com a aplicação desejável, devendo-se alterar os tamanhos dos trilhos das guias lineares e a distância entre os eixos de cópia e de corte.

3.4.1 Apresentação do equipamento e componentes

De acordo com a figura 34, tem-se uma ilustração do equipamento em vista isométrica, com a numeração de todas as peças visíveis, sendo empregado um mesmo código para as peças iguais. Para as peças invisíveis nesta vista, que é o caso de peças internas no conjunto central de suporte dos eixos de corte e cópia responsáveis pelos movimentos de rotação, para estes casos são apresentadas ilustrações do conjunto explodido com as peças internas também numeradas com códigos. Em seguida será apresentada uma descrição das peças com relação ao material e processos de fabricação e montagem. Os desenhos técnicos podem ser consultados, para a produção das peças, no Apêndice A desta dissertação.

Figura 34 – Apresentação das peças do equipamento



Descrição das peças:

1. Suporte de base: Construído com 3 tubos retangulares de aço (40mm x 80mm) soldados entre si em formato da letra H. Serve para criar uma base reta e elevar a mesa de trabalho de forma que possa ser instalado em baixo um coletor de fluídos de corte;

2. Chapa de Base: Chapa de aço de 6mm de espessura com dimensão 400mm por 320mm, com peso de 6Kg. Passou pelos processos de prensa hidráulica para ser planificada. Em seguida foram marcados os furos e pulsionados para o corte com furadeira de bancada, além de um padrão especial de furos de raio 4 mm nas áreas de trabalho onde a peças devem ser fixadas, há os furos onde serão fixados os trilhos das 2 guias lineares laterias, e também os furos laterais onde será parafusado o suporte de base (1);

3. Limitantes de Movimentos: Chapa 2mm de aço dobrada e parafusada rentes as guias lineares para ser um batente para que os rolamentos guias lineares não saiam do trilho;

4. Trilho para guia linear de 15mm com 160mm de extensão;

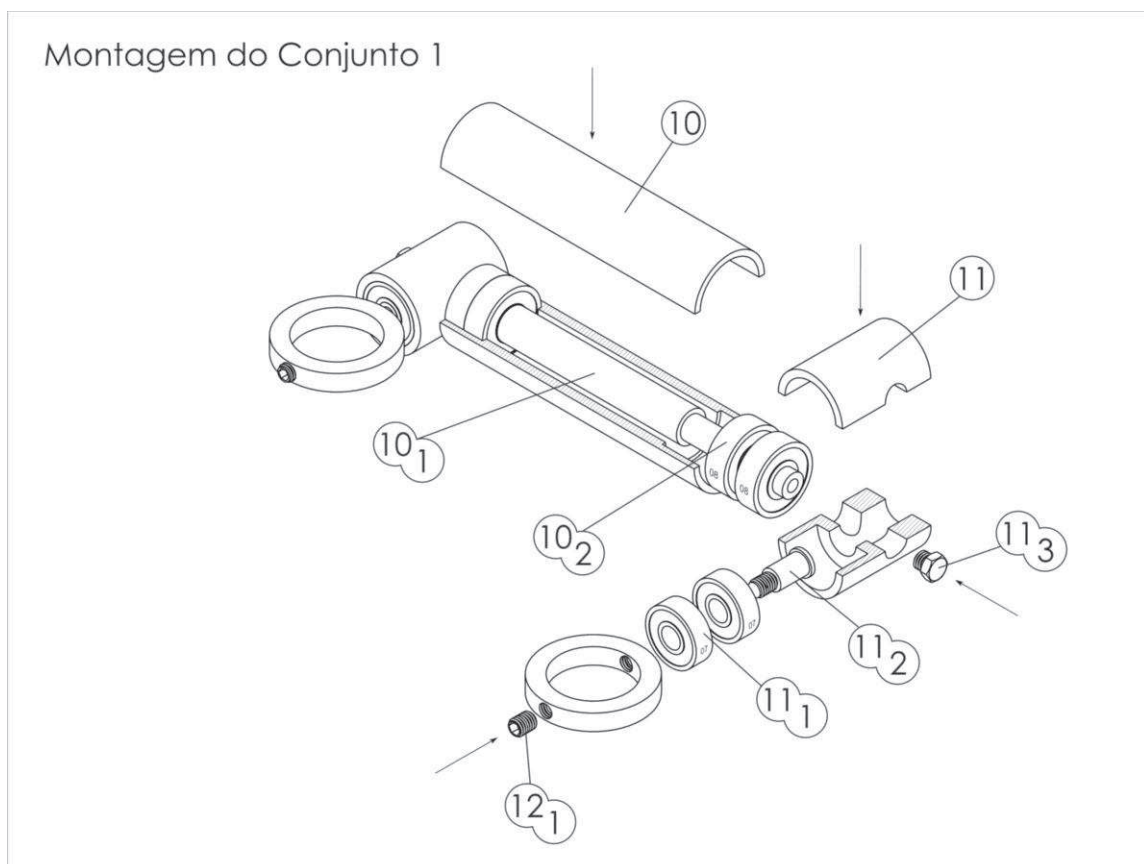
5. Guia Linear de 15mm;
6. Chapa de aço 4 mm cortada em dimensão retangular (39 mm por 340 mm) em jato d'água, utilizou-se furadeira de bancada para os furos onde serão parafusados o trilho guia linear (7) e as guias lineares laterais (5);
7. Trilho para guia linear de 15mm com 300mm de extensão;
8. Dobradiça: Chapa de 4 mm é parafusada na guia linear que corre no trilho central (7), tendo soldado em suas extremidades duas dobradiças macho (8-1). Processos utilizados: corte de chapa por jato d'água, furadeira de bancada e solda;
 - 8-1. Macho: feito em torno mecânico com aço 1020 para encaixe à peça (9-1). É responsável por movimento de rotação em eixo Z.
9. Dobradiça 2: é soldada ao cilindro peça 10 e a Fêmea (9-1), foi feita a partir de uma Chapa de aço 4mm cortada em jato d'água;
 - 9-1. Fêmea: cilindro feito em torno mecânico com aço 1020 (12 mm x 12 mm com furo interno de 6 mm) para encaixe à peça (8-1), nesta mesma peça no topo há um pequeno furo de 2 mm para o vazamento de lubrificante na junta.
10. Cilindro Especial: Tubo feito em torno mecânico, é soldado à peça 9, possui um desbaste interno para encaixe de 4 rolamentos Radiais GBR 608Z e um eixo (peça 10-1) que é encaixado à estes rolamentos (peças estas fixadas com cola trava buchas e rolamentos). Executa através deste conjunto movimentos de rotação no eixo Z. Esta peça está cortada (Figura 35) para a visualização dos seus componentes internos;
11. Cilindro especial 2: Peça confeccionada em torno mecânico em aço 1020, possui uma furação interna em dois sentidos, um para transpasse do eixo (peça 10-1), e outro para encaixe de 2 rolamentos radiais GBR 607Z (peças estas fixadas com cola trava buchas e rolamentos). Responsáveis por movimentos de Giro em eixo X, explorando assim ângulos diagonais;
12. Braçadeira: Peça feita em torno mecânico aço 1020, tem a função de prender as peças de mão (14) na parte superior e inferior dos dois conjuntos totalizando assim 4 braçadeiras, sendo as de baixo parafusadas ao conjunto da peça 11 e na parte superior parafusada ao conjunto da peça 13 (Figuras 36). Seu diâmetro interno é correspondente à espessura da peça de mão (14) de 25mm, sendo levemente maior para que o parafuso allen na parte frontal da peça possa apertar fixando a peça de mão (14) ou afrouxando para retirá-la;
13. Peça de Junção: Esta peça une a parte superior das duas peças de mão, um rolamento é encaixado para possibilitar o giro em eixo X, (ver melhor detalhamento da figura 36) foi confeccionada como dois berços circulares de aço (para os rolamento) em torno

mecânico e soldado a uma chapa de aço para a junção dos conjuntos;

14. Peça de mão que acompanha os motores de suspensão, possui um mandril para prender as brocas na ponta e na parte superior uma conexão para o cabo de aço que transmite as rotações do motor à ferramenta. Tem diâmetro de 25mm e 140 mm de altura;

Para a visualização dos componentes internos dos conjuntos das peças 10 e 11, gerou-se a Figura 35, onde estas duas peças estão cortadas ao meio para a ilustração do sistema interno de rolamentos que é responsável por movimentos de giro em torno dos eixos z e x. Além disso, pode-se observar como é feita a montagem das peças, sendo representado na parte esquerda da figura 35 o conjunto montado e no lado direito o conjunto desmontado com as peças separadas.

Figura 35: apresentação de componentes internos das peças 10 e 11 em vista explodida.



Descrição das peças internas dos conjuntos 10 e 11:

10-1. Eixo em aço 1020 confeccionado em torno mecânico, possui uma redução de espessura no diâmetro que serve de batente para o posicionamento dos rolamentos radiais (10-

2), este eixo ainda transpassa por orifício lateral na peça 11 sendo fixado com cola para buchas e rolamentos, por fim é parafusado em sua extremidade para evitar o escape da peça 11;

10-2. Rolamento Radial GBR 608Z: são fixados em sua parte externa no interior da peça 10 e em sua roda interna ao eixo (10-2) com cola trava buchas e rolamentos;

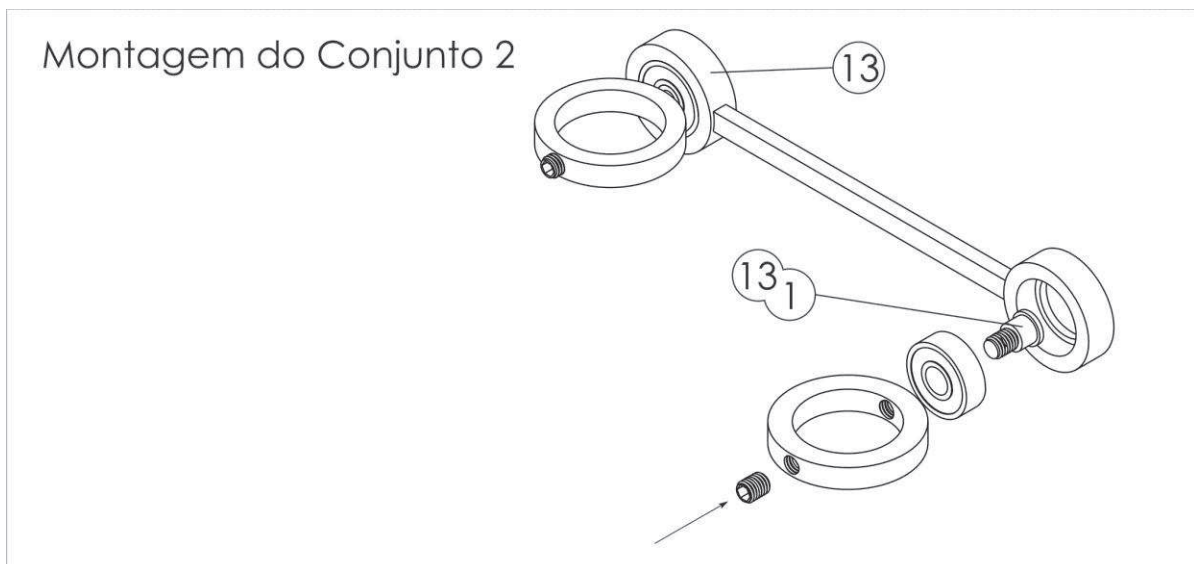
11-1. Rolamento Radial GBR 607Z: sua roda externa é fixada ao interior da peça 11, e sua roda interna fixada com cola ao parafuso especial 11-2;

11-2. Parafuso especial com cabeça externa allen, usinado em torno mecânico, é colado na roda interna dos rolamentos 607Z e parafusado à braçadeira (peça 12);

12-2. Parafuso de cabeça allen interna tamanho $\frac{1}{4}$, tem a função de apertar a braçadeira fixando a peça de mão (14).

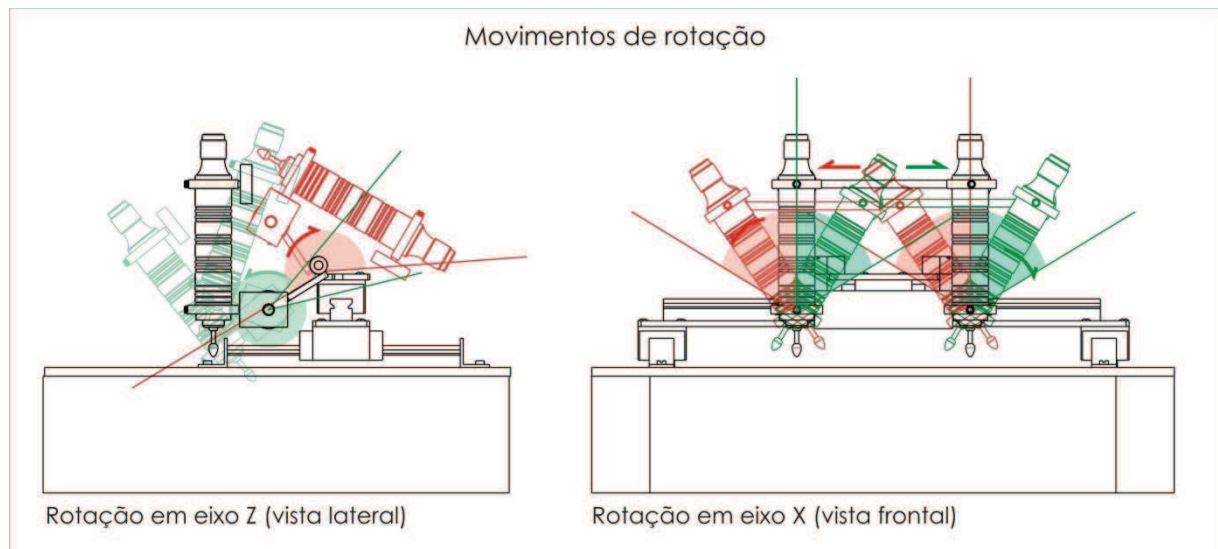
No conjunto superior representado pela peça 13, a montagem é praticamente a mesma, com a diferença deste conjunto ter apenas 1 rolamento 607Z em cada lado, sendo assim o parafuso especial deste conjunto (13-1) possui um comprimento menor que o (11-2), apenas para a fixação deste rolamento único (figura 36).

Figura 36 - Conjunto Superior



Estes dois conjuntos vistos anteriormente possuem rolamentos internos afim de produzir movimentos de rotação nos eixos Z e X para melhor entendimento destes movimentos vê-se na figura 37 a seguir, uma ilustração de como comportam-se estes movimentos:

Figura 37 - Movimentos de Rotação em eixo Z e X



Como se vê na figura 37, os movimentos de altura correspondente ao eixo Z são totalmente dados pela combinação da rotação da dobradiça (8 e 9), representado em vermelho com os movimentos de rotação do eixo (10-1) que liga as peças 10 e 11 representados em verde.

Para o outro esquema de movimentos no lado direito da figura 37 é representado a movimentação de rotação do eixo X que é feita pelos rolamentos radiais 607Z internos das peças 11 e 13, este movimento tem objetivo de explorar movimentos em diagonais do eixo X.

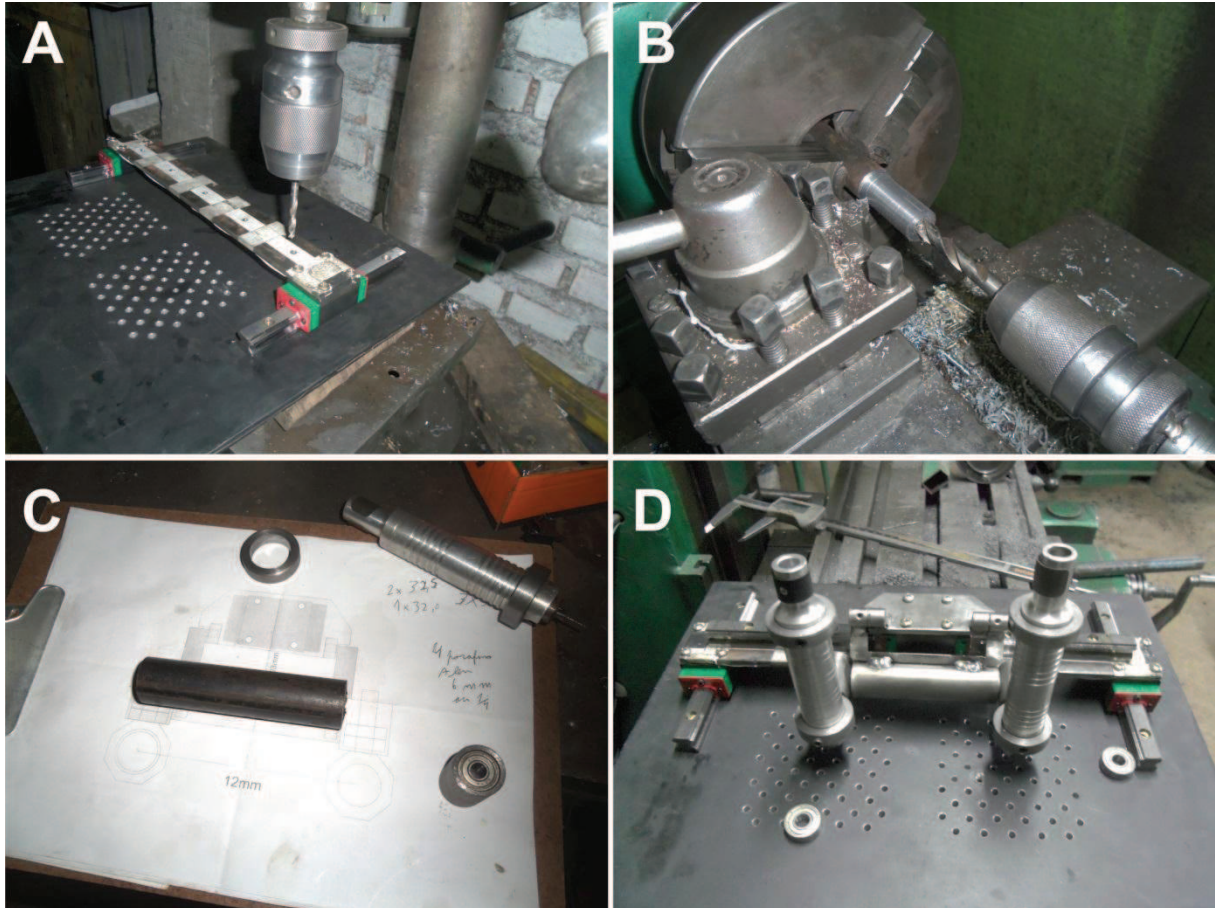
3.4.2 Fabricação e montagem dos componentes

Os componentes foram fabricados conforme descritos anteriormente no detalhamento das peças. Em geral os procedimentos envolvem basicamente serviços de torno mecânico para peças especiais, furos para fixação das peças por meio de parafusos em furadeira de bancada, corte por jato d'água nas peças (6,8 e 9) desenvolvidas a partir de corte em chapa de 4mm de aço e solda nas peças 1, 9 e 10 e peça 13.

O primeiro passo executado foi a furação da chapa de base (peça 2) para serem parafusados os trilhos laterais de 160mm (4), e em seguida foram posicionados os patins (guias lineares) e parafusados à chapa de junção (peça 6). Depois deste procedimento, foram executados os furos nesta peça para a fixação do trilho de 300 mm (peça 7), onde será conectado à guia linear central. Nesta guia é parafusada a peça (8) Dobradiça Macho que é encaixada à dobradiça fêmea (9) e que por sua vez, é soldada ao meio do cilindro correspondente à peça 10. Em seguida, a montagem do resto das peças foi feita de acordo com

a maneira representada nas figuras de montagem dos conjuntos 1 e 2 (35 e 36). A seguir algumas fotos do processo na figura 38:

Figura 38 – etapas de fabricação:



A. Furação em furadeira de bancada; B. Desenvolvimento de peça especial cilíndrica em torno mecânico; C. Verificação com o desenho do projeto; D. Pré-montagem e verificação das dimensões com paquímetro.

Em seguida, a pré-montagem, o equipamento foi desmontado para pintura, que foi feita com tinta *spray* na cor preto fosco, posteriormente o conjunto foi remontado, a figura 39 ilustra o equipamento pronto. Pode-se observar que uma moldura quadrada de acrílico (5 mm de altura), obtida por corte à laser, foi colada a chapa de base (2) com silicone, para limitar a vazão de água na área de corte, fazendo com que a água escorra pelos furos da mesa.

Figura 39 – Equipamento Pronto

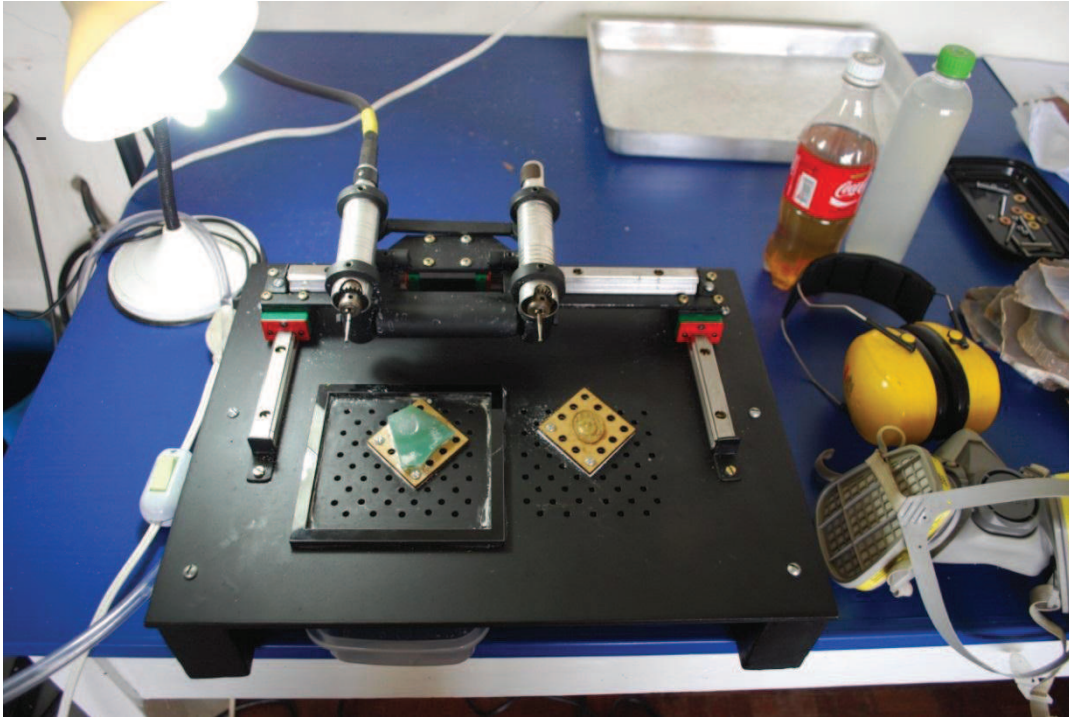
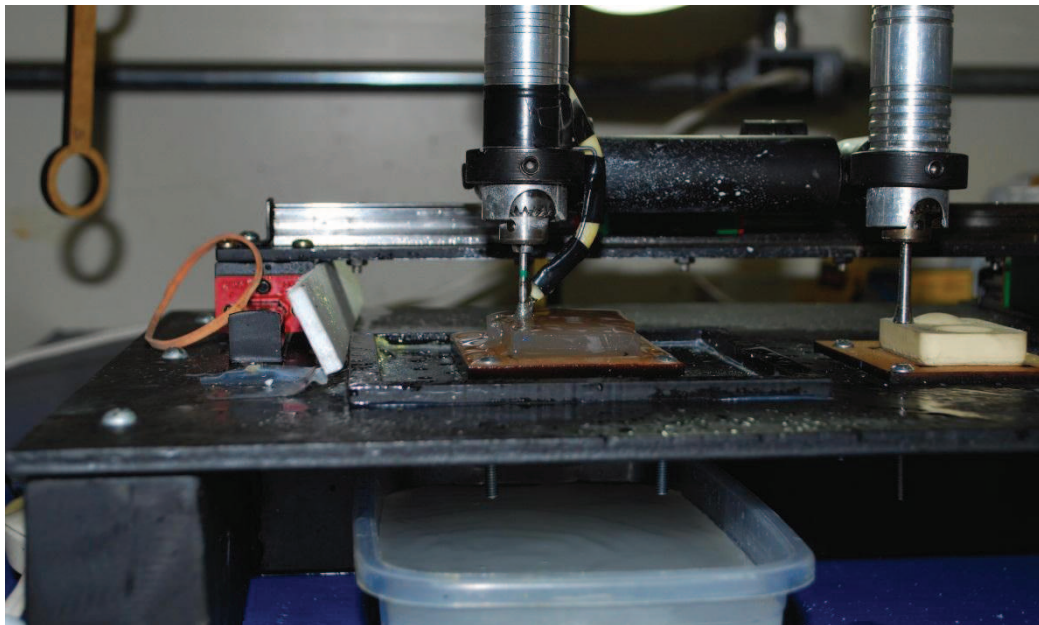


Figura 40 – Sistema de água



Após os primeiros testes foi instalado um sistema hidráulico (fig. 40), que é composto por um recipiente com capacidade de 5 litros. Dentro deste há um motor de aquário que faz com que a água seja enviada através de uma mangueira até a área de trabalho de corte, levando ainda uma regulagem através de uma pequena válvula que controla o fluxo de água desejado. Esta água é capturada por um recipiente de plástico que fica em baixo da mesa de corte, como ilustra a figura 40.

3.4.3 Custo do protótipo

Este trabalho teve como objetivo construir um protótipo de um equipamento de baixo custo, fresadora pantográfica tridimensional, para ser futuramente uma alternativa técnica e acessível aos pequenos produtores e artesãos de gemas e joias. Para isso pode-se analisar os custos do protótipo à seguir:

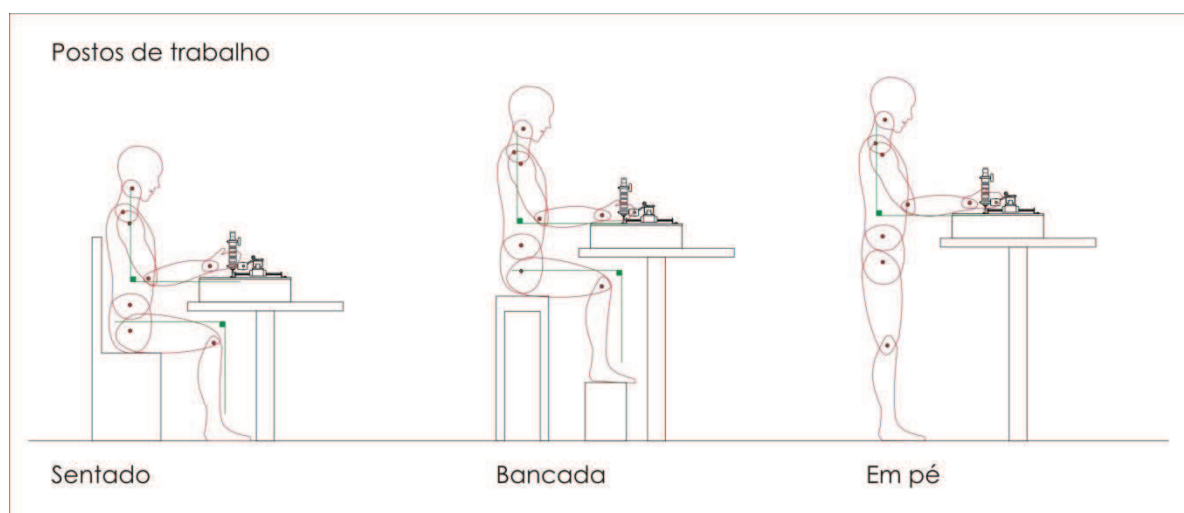
- Guias Lineares mais trilhos: R\$ 520,00
- Serviços de torno mecânico e usinagem: R\$ 200,00
- Motor FOREDOM SR *Series*: R\$: 700,00
- Outras peças e componentes: aprox. R\$ 160,00
- **Total aproximado: R\$ 1580,00**

3.5 Considerações Ergonômicas

Nesta seção serão abordadas algumas considerações ergonômicas sobre a utilização do equipamento, com relação à antropometria no posto de trabalho e à utilização de equipamentos de proteção individual (EPI's).

O protótipo foi projetado e montado em cima de uma base móvel de tubos retangulares, sendo móvel podendo ser adaptado em uma determinada bancada de trabalho de acordo com a preferência do usuário, ou até mesmo podendo ser alternado periodicamente a fim de evitar lesões por esforços ocasionados pela repetição excessiva de movimentos em uma mesma posição. Vemos os três postos de trabalho clássicos sendo contemplados (Fig 41)

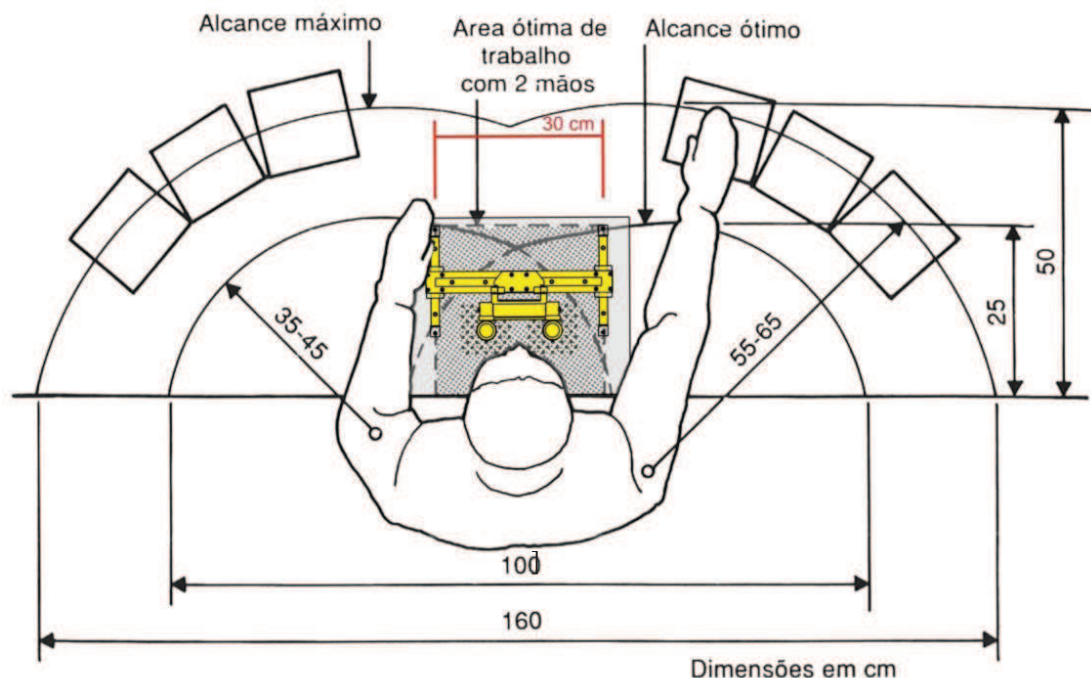
Figura 41 – Postos de trabalho



É importante destacar que nos três postos de trabalho, o operador deve evitar posturas inadequadas, podendo alternar os movimentos periodicamente a fim de aliviar a fadiga. Outro cuidado é de tentar manter a posição dos braços e pernas em um ângulo aproximado de 90° , sendo que os pulsos devem estar apoiados na bancada de trabalho (IIDA, 2005).

Com relação aos alcances sobre a mesa, as tarefas mais importantes devem ser executadas na área correspondente como de ótimo alcance, como é ilustrado na Figura 42, onde a área de 30 cm^2 em frente ao trabalhador é considerada ótima para trabalho com duas mãos como é o caso deste protótipo (IIDA, 2005 Apud GRANDJEAN, 1983).

Figura 42 – Alcances sobre a mesa



Modificado de GRANDJEAN, 1993

Pode-se observar o e equipamento inserido na Figura 42 de Grandjean (1993), ocupando a área definida como de ótimo alcance para o trabalho manual.

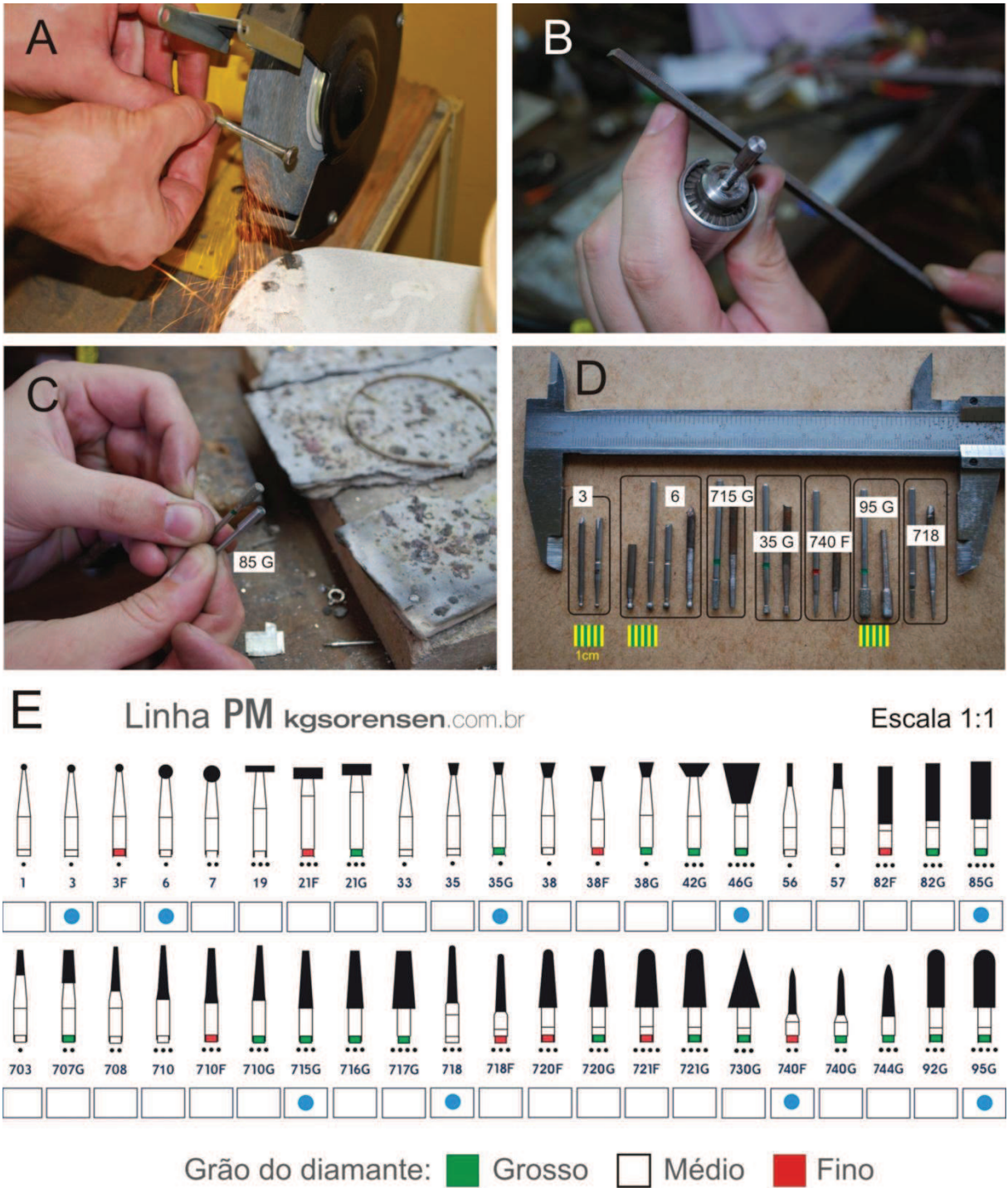
A utilização de equipamentos de proteção individual (EPI's) é fundamental para a saúde do trabalhador, principalmente no que diz respeito à máscara de filtro de ar, que evita a inalação de pó proveniente dos materiais usinados. Também se recomenda a utilização de protetor auricular para a diminuição do ruído do motor, óculos de proteção e jaleco guarda-pó.

3.6 Apalpadores

Para a realização da cópia pantográfica é necessário que a ferramenta que transmite os desenhos do molde, tenha a mesma forma da ferramenta de usinagem onde será replicado o desenho, caso contrário o efeito gerado pode ser desagradável. Dependendo da forma da ferramenta em relação ao apalpador, pode acontecer que a ferramenta usine partes indesejáveis. Os apalpadores para este projeto foram desenvolvidos de forma artesanal. O processo basicamente foi realizado por meio do desbaste de um aço macio conectado ao motor FOREDOM[®] do equipamento, que funcionou como um torno mecânico (Fig. 44). Para conferir a simetria das ferramentas, utilizou-se um paquímetro.

Os apalpadores que foram desenvolvidos correspondem aos marcados na Figura 44 E, com um círculo azul. A legenda de cores representa os tipos de grãos de diamante que a ferramenta possui, sendo verde para grão grosso, branco para médio e vermelho para fino.

Figura 43 - Fabricação de apalpadores



A) Desgaste do aço em esmeril; B) Mandril de peça de mão extensão do motor FOREDOM[®] que racionou o aço contra uma lima conformando a peça de acordo com a broca original; C) Análise da cópia com auxílio de paquímetro; D) Apalpadores desenvolvidos; E) Linha de brocas diamantadas KG Sorensen.

CAPÍTULO 4 - ENSAIOS COM MATERIAIS GEMOLÓGICOS

Foram realizados ensaios preliminares a fim de identificar a viabilidade de copiar volumes na ágata a serem obtidos por usinagem a partir de modelos pré-definidos. Foram selecionadas duas formas simples, uma esfera e um quadrado, com relevos positivo e negativo. Estas formas e volumes contemplam, em parte, os movimentos e operações a que o equipamento será submetido. Os ensaios foram realizados a partir de moldes em latão e em poliuretano de baixa densidade (material utilizado para usinagem CNC de protótipos), e foram usinadas amostras de ágata e duas amostras de mármore constituídas de calcita (preta e amarela). A seguir, serão descritos detalhadamente cada um dos experimentos.

4.1 Ensaio 1: Molde de camafeu em latão e corte em ágata

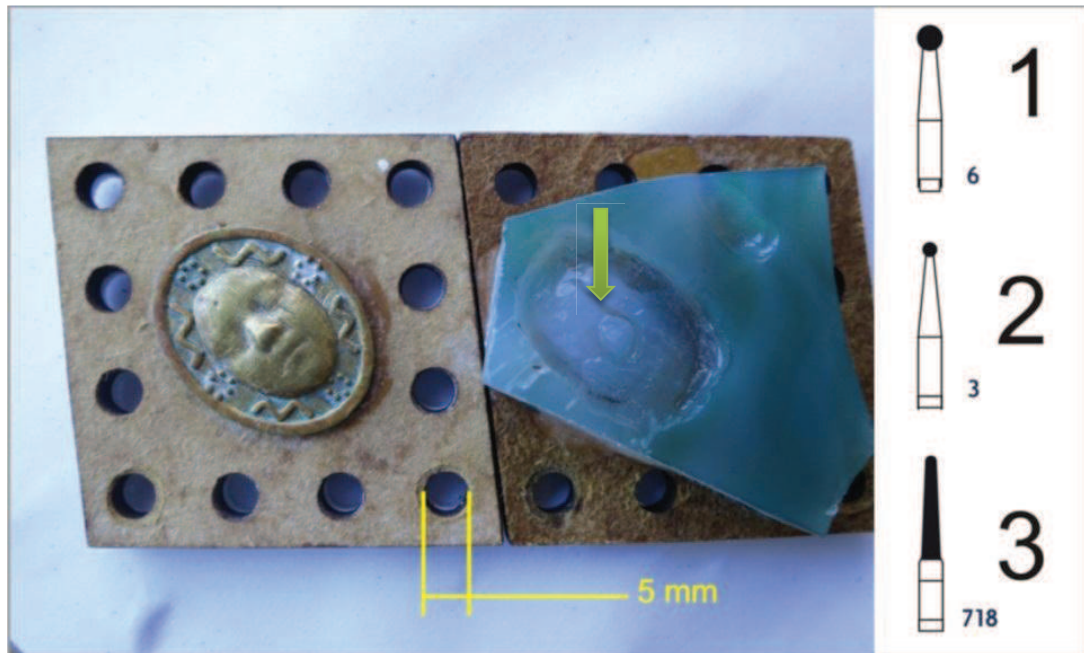
Este primeiro ensaio teve como objetivo testar a mobilidade do protótipo. Para este ensaio foi selecionado por ter semelhança formal com os modelos originais dos camafeus, ou seja, uma face. Este molde foi desenvolvido no CTPGJRS, através do escaneamento do rosto de uma criança. Após, foi elaborado um camafeu em *Software* 3D e posteriormente impressão em 3D por estereolitografia. Este serviu como modelo para a obtenção de molde em latão a partir do processo de fundição por cera perdida (microfusão).

O tempo de execução do relevo desta amostra foi de aproximadamente três horas. A sequência de ferramentas utilizadas foram primeiramente a de número 6, em seguida de número 3 e por fim a 718 (Fig. 45). A lubrificação foi feita com água.

As amostras são fixadas em uma peça de MDF com cola Cianoacrilato (*Super Bonder*) e parafusadas a mesa de trabalho através dos seus orifícios.

Para o ajuste da altura da ferramenta diamantada com o apalpador, foi utilizada como referência a mesa de trabalho. A ferramenta diamantada foi fixada no mandril de corte e em seguida posicionado o apalpador no mandril de cópia, com um leve aperto, permitindo que o apalpador pudesse ser ajustado perfeitamente com as mãos à altura correta referente da ferramenta, em seguida o apalpador é fixado pelo mandril com um aperto final.

Figura 44 - Ensaio 1: Molde de Camafeu em latão e ágata



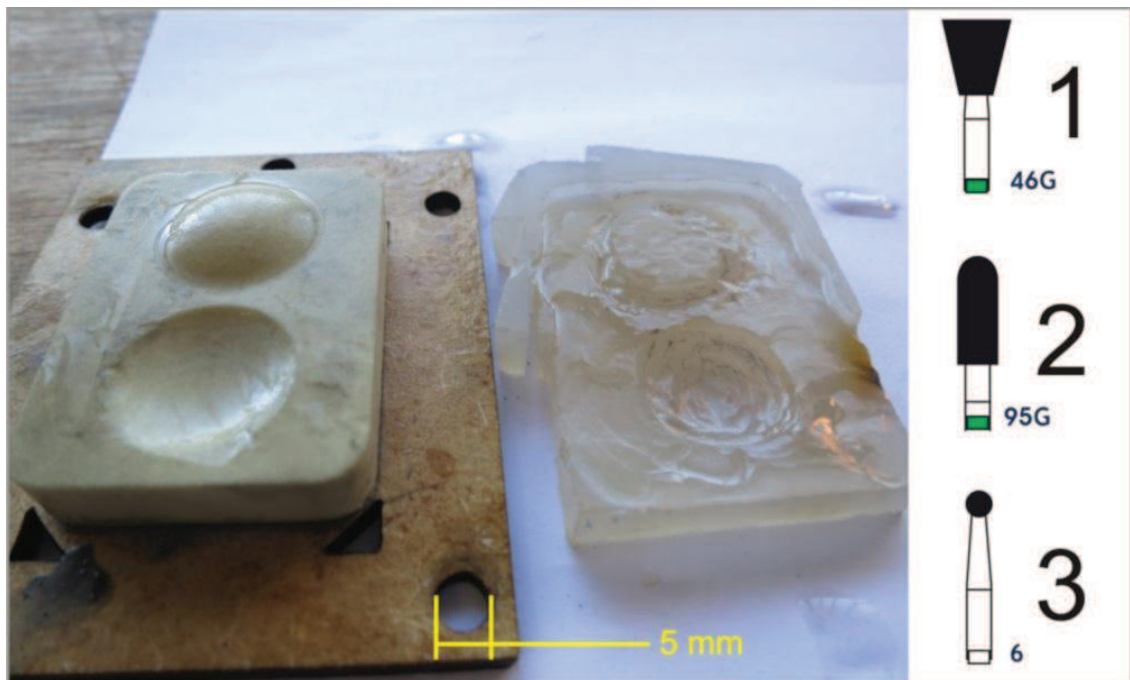
Durante o ensaio observou-se que nas primeiras passagens da broca 6 ocorreu um desgaste semelhante ao da forma original do molde e que a cópia que estava sendo feita estava correta. Já na passagem da ferramenta de número PM3 o material iniciou processo de deformação rúptil, visto que ocorreram trincas, ocasionando fraturas indesejáveis deformando a peça. Na passagem da terceira ferramenta (718) o problema detectado foi de que o apalpador possuía uma simetria pouco mais fina, menor diâmetro que a broca original, o que ocasionou uma fissura não existente no molde original, perto do nariz (marcado na figura com uma seta), o que acabou estragando a amostra final.

4.2 Ensaio 2: Molde circular em poliuretano e corte em ágata

Após o primeiro ensaio, foi verificado que deveriam ser feitas inicialmente amostras de geometria simples, como descrito. Foi elaborado um molde de uma superfície esférica, com relevo positivo e negativo (Fig. 46). Este molde foi confeccionado no Laboratório de Seleção de Materiais (LdSM), em poliuretano, em equipamento de usinagem CNC da marca Tecnodrill Digimil 3D da UFRGS (LdSM).

O tempo de execução da cópia dos relevos foi de aproximadamente 3 horas, começando com a broca 46G, 95G e número 6. A lubrificação feita com água.

Figura 45 - Ensaio 2: Molde circular em poliuretano e ágata

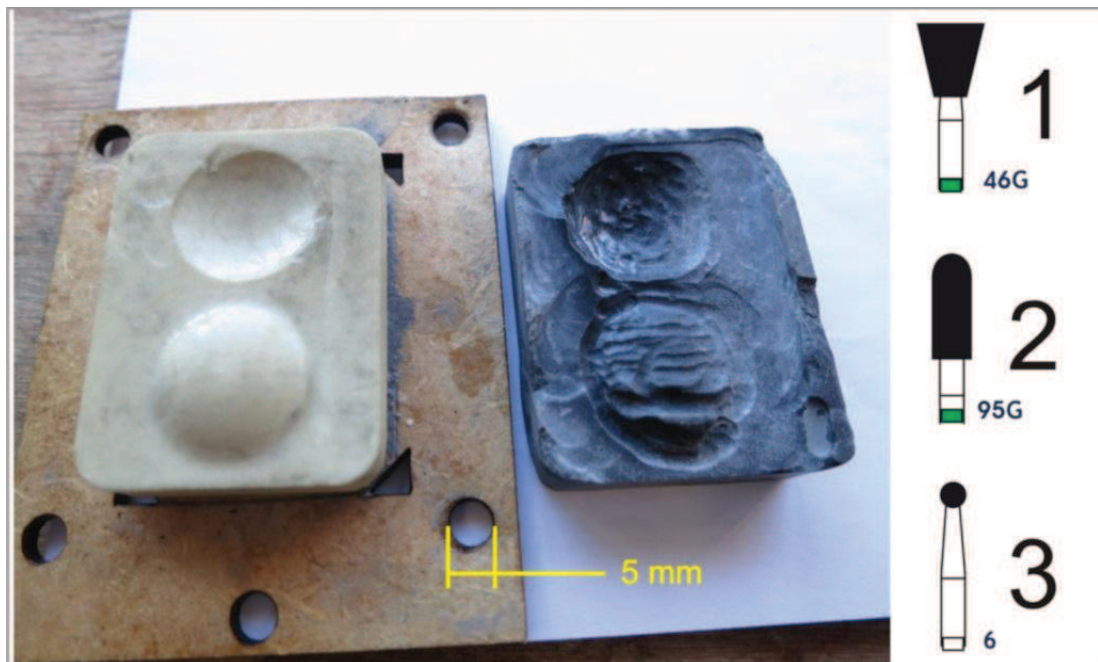


O molde, por possuir uma superfície esférica sobressalente, se fez necessário uma grande remoção de material, o que exigiu muito tempo de trabalho mesmo com uma broca de granulação grossa (46G); observou-se um desgaste do molde gerado pela abrasão do apalpador. Ainda, constatou-se na usinagem dos círculos que o material gemológico possuía áreas com diferentes resistências e que por vezes foi trincado deformando a peça.

4.3 Ensaio 3: Molde circular em poliuretano e corte em calcita preta

Este ensaio teve tempo de execução inferior aos anteriores, pois teve como objetivo verificar a usinagem de outro material, a calcita. Este material diferentemente da ágata, é um carbonato, e possui dureza (3 na Escala Mohs) inferior à da ágata. O tempo de usinagem foi de 30 minutos e foram utilizadas as brocas 1º: 46G, 2º: 95G e 3º: 6, e a lubrificação foi com água.

Figura 46 - Ensaio 3: Molde circular em poliuretano e calcita preta

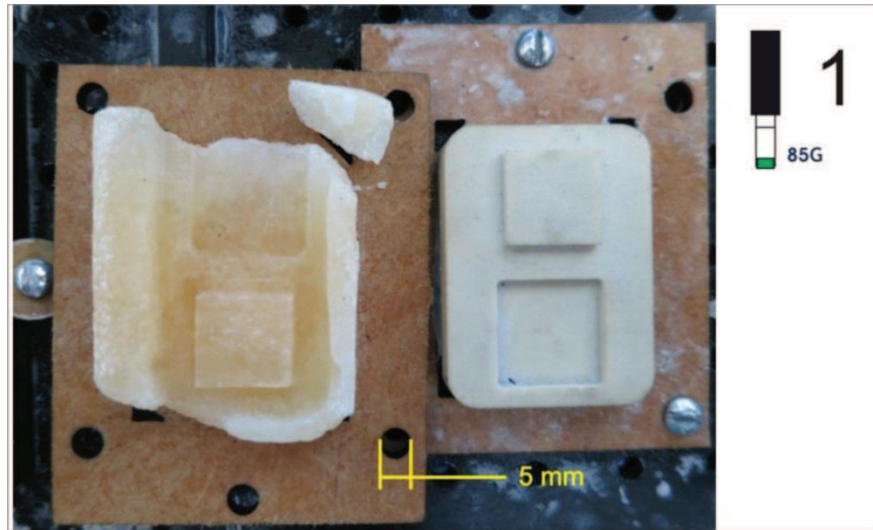


Foi observado durante o ensaio que neste material gemológico ocorreram mais trincas em relação à ágata, além de gerar um tipo de resíduo, formado por material que quando misturado com água forma uma espécie de lama carbonática. Este resíduo, ao entrar em contato com partes do equipamento, como os trilhos das guias lineares, gerou um encravamento na estrutura. Após, se fez necessária uma limpeza e relubrificação dos rolamentos para dar continuidade aos testes.

4.4 Ensaio 4: Molde quadrado em poliuretano e calcita amarela

Neste ensaio a reprodução do relevo foi executada em calcita amarela. O ensaio teve tempo de execução em torno de 15 minutos, foi utilizada broca 85G e lubrificação de água. Apesar de uma fratura ocasionada no material na parte superior direita, apresentou bons resultados. A geração de resíduos não foi tão agressiva como as geradas pela calcita preta.

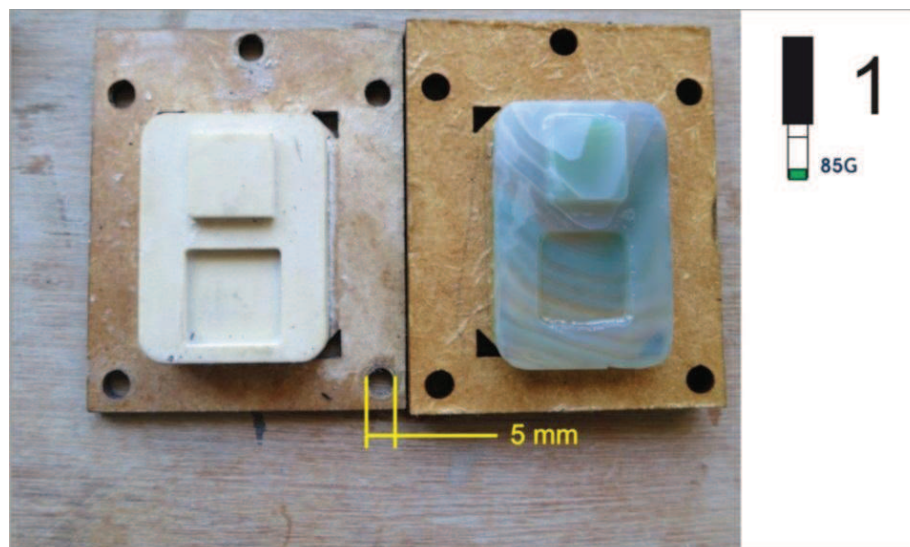
Figura 47 - Ensaio 4: Molde quadrado em poliuretano e calcita amarela



4.5 Ensaio 5: Molde quadrado em poliuretano e ágata

Este ensaio teve como usuário do equipamento um lapidário experiente. O ensaio iniciou com amostra sendo primeiramente desbastada com rebolo de aço diamantado nas laterais, deixando uma forma próxima ao quadrado sobressalente, em equipamento *Lapidart multi-machine* do CTPGJRS. Este procedimento durou cerca de 15 minutos. Posteriormente a amostra foi posicionada no protótipo e foi usinado o quadrado em baixo relevo e também o desgaste das laterais do quadrado em alto relevo, bem como um fresamento de topo com o propósito de nivelar a peça. O tempo desse procedimento durou cerca de 15 minutos, com broca 85G e lubrificação com água.

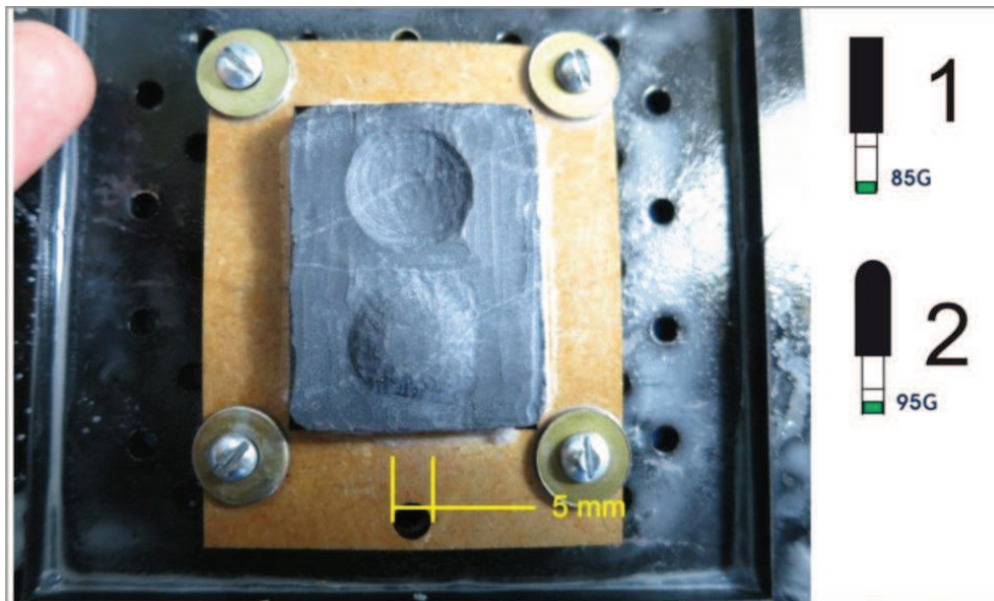
Figura 48 - Ensaio 5: Molde quadrado em poliuretano e ágata



4.6 Ensaio 6: Molde circular em poliuretano e calcita preta

O ensaio 3 foi repetido pelo lapidário experiente. Nesta amostra constatou-se que a experiência do operador fez uma diferença considerável no resultado da usinagem. Foi identificado que é importante o conhecimento de como o material se comporta de acordo com o tipo de intervenção, ou seja, como é feita a entrada da ferramenta no material gemológico. O ângulo de entrada influencia na geometria do corte e também na tensão aplicado ao material. O resultado foi satisfatório visto que a amostra ficou similiar ao molde original em poliuretano (Fig. 50). O tempo de duração deste teste foi de aproximadamente 30 minutos. Para este, foi adaptada uma proteção para evitar que os resíduos de corte se impregnassem nos trilhos das guias lineares. Utilizou-se de água como lubrificante e de duas brocas 85G para o desbaste de topo reto e 95G para as formas arredondadas.

Figura 49 - Ensaio 6: Molde circular em cibatoool e calcita preta



4.7 Análise dos ensaios

Após a realização dos ensaios, foram verificadas as diferenças entre os moldes em poliuretano e as cópias realizadas nos ensaios 5 e 6. Para esta análise se fez uso de tecnologia 3D, sendo as peças escaneadas por equipamento Digimil 3D na marca Tecnodrill do LDSM (PGDesign), em seguida sobrepostas em *software* 3D *Geomagic* e posteriormente comparadas

as diferenças através do *Geomagic Qualify*. Nas Fig. 51 e 52 vemos os resultados obtidos pelo software.

Figura 50. Verificação Geomagic Qualify: Ensaio 5

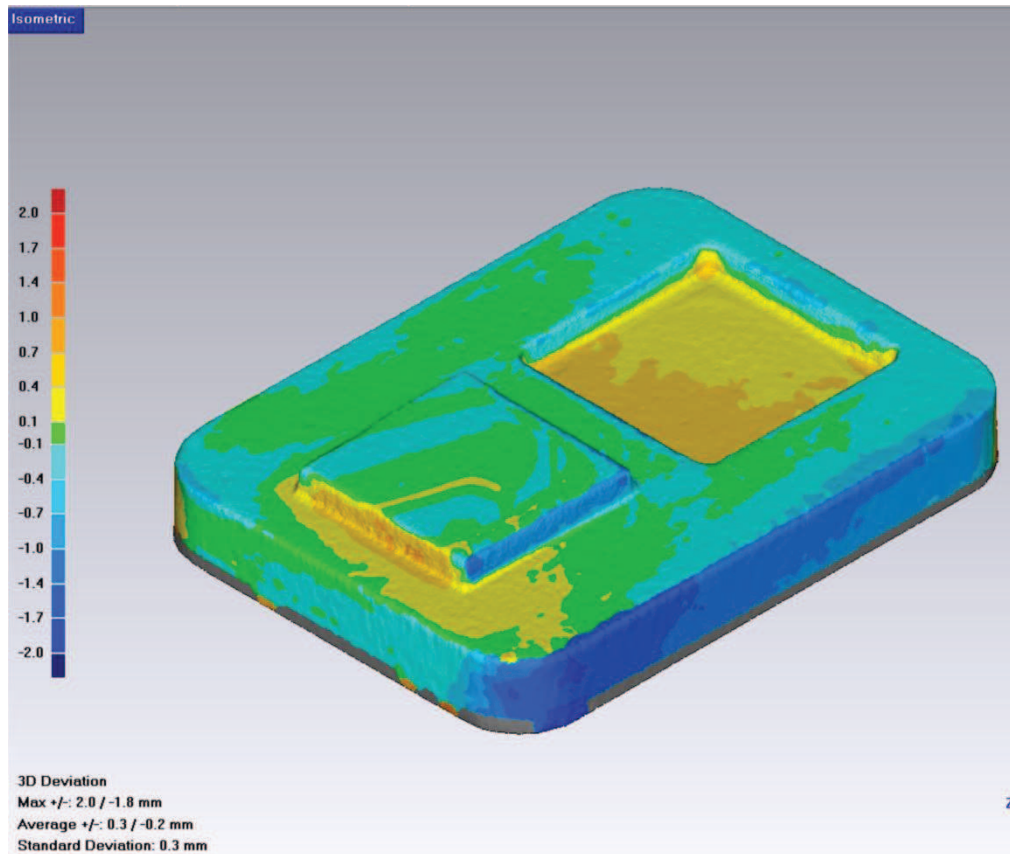
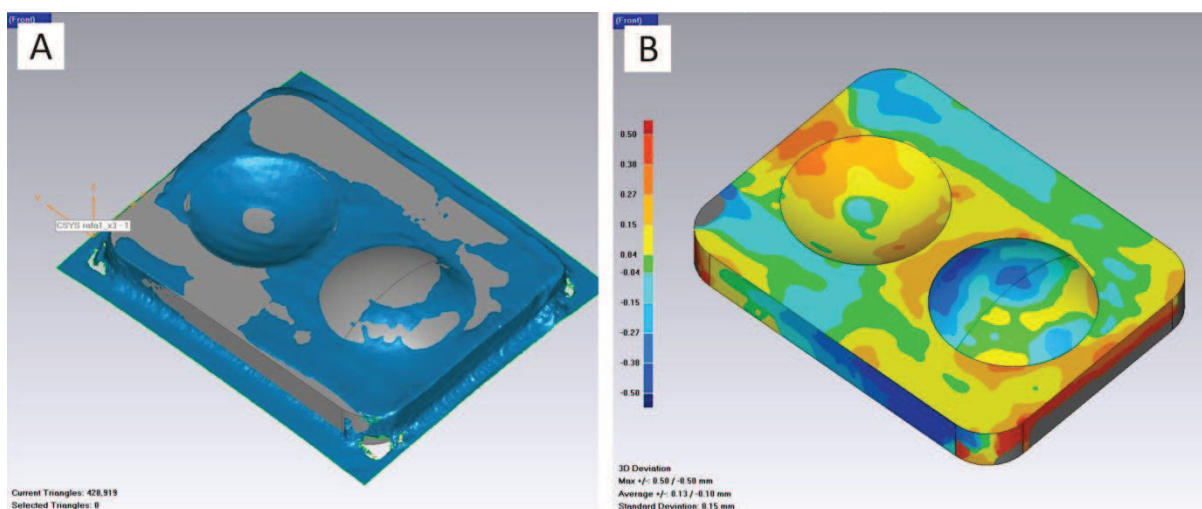


Figura 51. Verificação Geomagic Qualify: Ensaio 6



Na figura 51, está mostrado a comparação entre o molde em poliuretano e ágata do ensaio 5. Pode-se observar a sobreposição dos dois elementos e a escala de cores gerada pelo *Geomagic Qualify*, na qual é quantificada na esquerda da imagem sendo os tons de cores

relacionados com a proximidade das formas em milímetros. Quanto mais perto do número zero, maior a proximidade das formas comparadas, sendo empregadas cores quentes, do amarelo ao vermelho escuro para os números positivos. Significando que quanto mais perto do vermelho maior é a distância onde a peça poderia ter sido mais desbastada para uma maior proximidade do número zero (que indica a perfeição da cópia). Já os números negativos representados pelos tons azulados mostram que a peça foi desgastada além do devido, ultrapassando os limites do molde.

As cores percebidas na análise do ensaio 5, foram o verde, o primeiro tom de azul, primeiro amarelo e o segundo amarelo da escala. Observa-se que para o verde a variável é uma proximidade entre 0,1 mm e -0,1 mm, sendo esta cor uma demonstração das áreas que estão mais próximas ao molde. As outras cores percebidas têm os respectivos valores: Primeiro tom de azul (entre -0,1 mm e -0,4 mm); Primeiro tom amarelo (0,1 mm à 0,4 mm); segundo tom amarelo (0,4 mm e 0,7 mm).

Na comparação do ensaio 6 representada pela figura 52, percebemos a sobreposição das formas na esquerda (A) e o gráfico de relevo colorido na direita (B). As cores em maior destaque respectivamente, são: primeiro amarelo (0,04 mm à 0,15 mm); verde (0,04 mm à -0,04 mm); primeiro azul (-0,04 mm à -0,15 mm). Como pode-se observar a resolução desta comparação é maior que a primeira da fig.51, pois as primeiras cores, como o exemplo do verde, possuem duas casas após a vírgula.

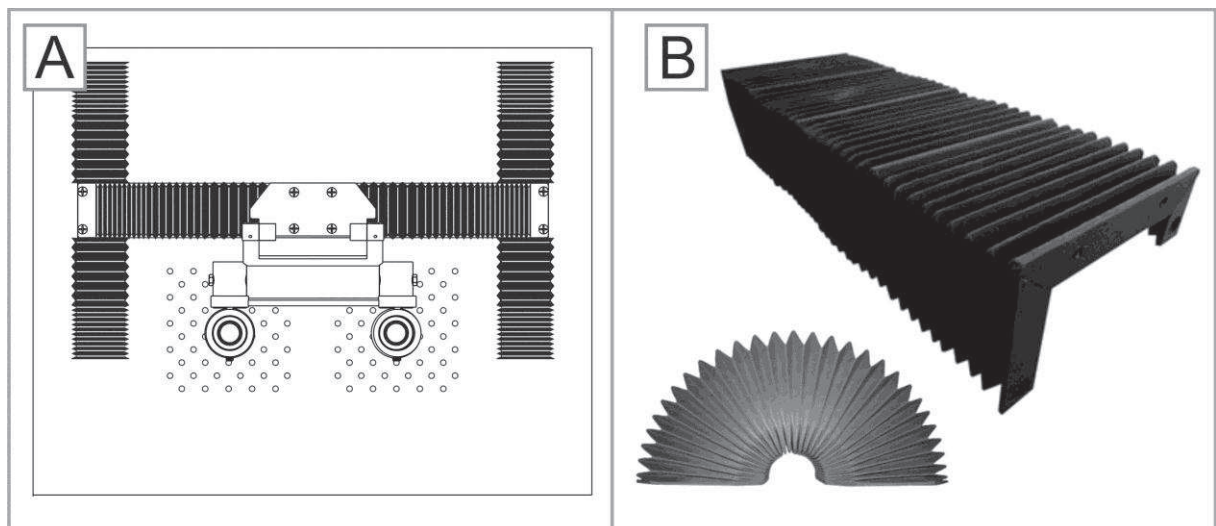
5 MELHORIAS NO PROTÓTIPO

A principal constatação deste capítulo, vem dos resultados obtidos no ensaio 3 envolvendo o material gemológico calcita preta, no qual ao ser cortada gerou-se uma quantidade substancial de pó e fragmentos do material que misturados à água formou-se uma espécie de lama. Esses resíduos foram responsáveis, quando em contato com os trilhos das guias lineares, por um encravamento no sistema de rolamentos do protótipo. Sendo que, mesmo após a limpeza e relubrificação do equipamento foi possível constatar uma diminuição drástica na qualidade da movimentação do sistema.

Nesta situação, identificou-se o problema mais sério no sistema do protótipo, que é a falta de proteção nos trilhos e guias lineares contra os resíduos gerados pela usinagem de materiais gemológicos. Sendo a resolução deste problema, fundamental para o bom funcionamento do protótipo.

Para isso, pesquisaram-se meios de isolamento para este tipo de sistema de rolamentos e uma das soluções encontradas são as proteções sanfonadas, confeccionadas com polímeros e outros materiais como alumínio. Na Fig. 53 (A) mostra-se uma representação da proteção sanfonada instalada no protótipo e na Fig. 53 (B) vê-se uma foto deste tipo de proteção.

Figura 52 – Representação proteção sanfonada instalada no protótipo



6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ainda há muitas questões para serem estudadas sobre a usinagem de materiais gemológicos, assim como o aperfeiçoamento da técnica glíptica e do detalhamento de desenhos tridimensionais na superfície de gemas.

Foi possível constatar uma grande diferença técnica nos testes realizados por usuários com grau de experiência distinto no que concerne à lapidação de gemas. Os ensaios realizados pelo lapidário experiente, com conhecimento empírico do comportamento dos materiais gemológicos, foram melhor executados e tiveram resultados mais satisfatórios. Esta observação indica que a prática na atividade de lapidação auxiliará possíveis usuários para este protótipo. O movimento de entrada de contato entre a ferramenta e a gema é ponto importante a ser observado, visto que a resposta dos materiais gemológicos é dada em função desta, que por sua vez, é atribuição do usuário.

Na opinião do lapidário e joalheiro experiente, que realizou os ensaios, este protótipo pode executar ótimos resultados quando os relevos forem totalmente planos, ou com desníveis em degraus, como no caso da amostra em calcita amarela e da de ágata com alto e baixo relevo no formato de um quadrado. O usuário relatou também que para formas arredondadas e figuras orgânicas, a resolução obtida nos materiais pode variar de acordo com o conhecimento e habilidade do operador, além de também variar com possíveis descontinuidades ou heterogeneidades físicas, intrínsecas aos materiais gemológicos que estão sendo trabalhados. Para isto, a seleção da amostra é ponto importante. Pode-se aventar que usinar uma camada contínua de calcedônia é diferente do que interceptar várias camadas sucessivas deste material.

De acordo com a análise feita no *Software Geomagic Qualify*, pode-se perceber resultados satisfatórios na reprodução das cópias, sendo apresentada nas áreas na cor verde uma grande proximidade ao molde inicial, com uma variável de 0,1 mm à -0,1 mm. Na segunda análise, foram alcançados variáveis de 0,04 mm à 0,15 mm de proximidade na cor amarelo. Além do mais pôde-se observar alguns números negativos onde a peça foi desgastada além do limite do molde, isso pode ter ocorrido por diversos fatores como, uma pequena diferença entre a altura do apalpador em relação à ferramenta (erros de calibração), o apalpador por ser confeccionado artesanalmente pode ter diferenças minúsculas em relação à dimensão da ferramenta e até mesmo a dimensão da ferramenta pode ter sido alterada devido ao desgaste dela ao efetuar o corte, ocasionando uma diferença em relação ao apalpador.

As novas tecnologias em ferramentas diamantadas como a *Tick Film Diamond*, onde um fino filme de diamante sólido reveste as ferramentas, podem trazer melhores resultados em usinagem de materiais gemológicos podendo contribuir também no desempenho deste protótipo. Bem como o desenvolvimento de apalpadores mais precisos, em equipamentos de usinagem controlados por computador, como torno mecânico de precisão.

Pode-se indicar que para desenhos com geometrias de relevos simples e uniformes os resultados são suficientes para a aplicação em peças de joalheria, já para àqueles com relevos complexos, os resultados ainda não apresentaram resultados satisfatórios.

O tipo de material a ser trabalhado também carece de mais estudos, pois os problemas detectados nos ensaios com a calcita preta devem ser minimizados, a fim de que este material possa ser trabalhado também. Neste contexto, foi constatado que em cerca de 8 horas de trabalho contínuo com ágata, o equipamento não apresentou problemas e em cerca de 20 minutos de trabalho com a calcita preta, ocorreram danos aos rolamentos do equipamento. Por isso é fundamental a instalação de proteções sanfonadas, como apresentadas anteriormente, aos trilhos e guias lineares do protótipo, isolando assim os resíduos gerados pelos materiais.

Outros pontos podem ser melhorados, como dispositivos para limite proposital de alguns movimentos, como por exemplo, em uma superfície que deseja-se uma usinagem plana, poderia ser instalado uma trava de certos movimentos afim de facilitar o percurso do operador.

Através da criatividade é possível fazer vários efeitos e combinações com diferentes moldes e ferramentas de corte podendo se alcançar os mais diversos resultados, sendo possível a criação de peças tridimensionais diferenciadas para o mercado de joias e artefatos.

Por fim vê-se neste protótipo uma pequena mesa de usinagem tridimensional que pode ser utilizada para a criação de peças especiais, bem como para a execução de testes de usinagem em diversos materiais não se limitando apenas aos gemológicos. O protótipo pode ainda passar por alterações que melhorem suas características e até mesmo ser inserido no mercado como uma ferramenta diferenciada e com bom custo-benefício.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOSTINI, I.M; **Industrialização da ágata na Alemanha – Nível Internacional.** In: AGOSTINI, I.M *et al.* Ágata do Rio Grande do Sul. Brasília: DNPM, 1998, p.157-191
- AGOSTINI, I.M; FIORENTINI, J.A.(a) **Histórico e Utilização.** In: AGOSTINI, I.M *et al.* Ágata do Rio Grande do Sul. Brasília: DNPM, 1998, p.19-24
- AGOSTINI, I.M; FIORENTINI, J.A.(b) **Industrialização – Nível Nacional.** In: AGOSTINI, I.M *et al.* Ágata do Rio Grande do Sul. Brasília: DNPM, 1998, p.83-102
- BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J.C. da; **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem.** Barueri: Manole, 2008.
- BAXTER, Mike. **Projeto de Produto: guia prático para o projeto de novos produtos.** São Paulo: Edgard Blucher, 2000.
- BARP, Denise; **Design e materiais: Contribuição ao estudo do processo de corte de ágata por jato d'água em formas complexas.** Dissertação programa de Pós-Graduação em Design UFRGS, Porto Alegre 2009.
- BOMFIM, Gustavo Amarante. **Metodologia para desenvolvimento de projetos.** João Pessoa: Universitária, 1995.
- BONSIEPE, Gui. et al. **Metodologia Experimental/Desenho Industrial.** Brasília: CNPq, 1984
- BRANCO, Pércio de Moraes, GIL, Cláudio Antônio. **Mapa Gemológico do Estado do Rio Grande do Sul.** 2ª ed. Ver. Atualiz./ Pércio de Moraes Branco; Cláudio Antônio Gil. – Porto Alegre: CPRM, 2002. 1v. II. Mapa. – (Informe de Recursos Minerais. Série Pedras Preciosas, nº5).
- BRUM, Tania; JUCHEM, Pedro; AGOSTINI, Ivone Maria; FIORENTINI, João Alberto. Classificação ágata. In: AGOSTINI, I.M *et al.* Ágata do Rio Grande do Sul. Brasília: DNPM, 1998, p.37-64
- BÜRDEK, Bernhard E. **Design: História, teoria e prática do design de produtos.** São Paulo: Edgard Blucher, 2006.
- CARMERINI, Rafael; Efeitos do processamento em altas pressões e altas temperaturas na aderência de filmes de diamante CVD depositados sobre metal duro. Dissertação Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM/UFRGS, Porto Alegre 2008.
- COSTENARO, Alessandra. Indústria de pedras preciosas: Um estudo dos fatores competitivos em empresas de Soledade-RS. 2005. 95f. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Administração, Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

DAVIM, J. Paulo; **Machining: Fundamentals and Recent Advances**. Portugal: Springer, 2008.

DUARTE, L.C.; JUCHEM, P.L; PULZ, G.M.; BRUM, T.M.M ; CHODUR,N.L.; LICCARDO, A.; FISCHER, A. C.; ACAUAN, R. B. **Aplicações de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Sistema de Energia Dispersiva (EDS) no estudo de gemas: exemplos brasileiros**. Pesquisa em geociências (UFRGS. impresso). Porto Alegre, v.30, n. 2. p.3-15, 2003.

DUARTE, L. C, HARTMANN, L.A, BERNER, Z., THEYE, T., MASSONE, H.J.; Stable isotope and mineralogical investigation of the genesis of amethyst geodes in the Los Catalanes gemological district, Uruguay, Southernmost Paraná volcanic province. *Mineralium Deposita* 46: 239-255,2011.

FASCÍNIO EGITO, **O Escaravelho Sagrado**. Disponível em <http://www.fascinioegito.sh06.com/escarave.htm> . Acesso em maio 2013.

FOREDOM. **Flex Shaft Motors-Controls**. Disponível em: <http://www.foredom.net/>. Acesso em outubro 2013.

FREITAS, Gustavo; Metodologia e aplicabilidade da digitalização 3D a laser no desenvolvimento de molde para calçados e componentes. Dissertação programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais. PPGEM, Porto Alegre, 2006.

GEMINI. **Gemini Carving Duplicators**. Disponível em: <http://wood-carver.com/>. Acesso em outubro 2013.

GLOBO.TV/Jornal do Almoço. **Exportação de pedra ágata movimentada município de Salto do Jacuí, RS**. Disponível em <http://globo.tv/globo.com/rbs-rs/jornal-do-almoco/v/exploracao-de-pedra-agata-movimentada-municipio-de-salto-do-jacui-rs/2575888/>. Acesso em 26/09/2013.

GRANDJEAN, E; HUNTING, W. e PIDERMAN, M. **VTD workstation design: preferred settings and their effects**. *Human Factors*. n.25, p. 161-175, 1983.

HARTMANN, L.A. **Minerais estratégicos do sul do Brasil: geologia de geodos de ametista e ágata**. In: Léo Afraneo Hartmann; Juliano Toner da Silva (orgs). *Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração*. Porto Alegre: IGEO/UFRGS. 2010. p. 30-39.

HARTMANN, L.A. Geologia da riqueza do Rio Grande do Sul em geodos de ametista e ágata. In: HINRICHS, Ruth. *Técnicas instrumentais não destrutivas aplicadas a gemas do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2014. (P. 15-26)

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEMAS E METAIS PRECIOSOS. **Manual de Lapidação Diferenciada de Gemas**. Brasília: Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos (IBGM). 2009.

_____. **O Setor de Gemas e Joias no Brasil**. Brasília: Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos (IBGM). 2008.

IPAR, Carlos Edmundo A.L. **Desenvolvimento de matéria-prima para impressão tridimensional a partir de rejeitos de ágata**. Dissertação (Mestrado em Design e Tecnologia – PGDesign) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

IIDA, Itiro. **Ergonomia: projeto e produção**. São Paulo: E. Blücher, 2005.

JUCHEM, Pedro. L., BRUM, Tania M. M; **Geologia e Mineralogia**. In: AGOSTINI, I.M *et al*. **Ágata do Rio Grande do Sul**. Brasília: DNPM, 1998, p.25-35

JUCHEM, Pedro. L., BRUM, Tania M. M., FISCHER, Adriane C., LICCARDO, Antonio, CHODUR, Nelson L. **Potencial Gemológico da Região Sul do Brasil**. I Seminário sobre Design Gemologia de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul. Anais. Soledade, 2009.

JUCHEM, Pedro; **Materiais Gemológicos do Rio Grande do Sul**. In: HINRICHS, Ruth. Técnicas instrumentais não destrutivas aplicadas a gemas do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2014 (p. 45-58)

KG SORENSEN. **Novo catálogo**. Disponível em: <http://www.kgsorensen.com.br/> . Acesso em outubro 2013.

KRAUS, Pansy, D. **Introduction to Lapidary (Jewelry Crafts)**. Krause Publications, 1987

MACPHERSON, H. G. **Agates**. London, British Museum, c. 1989. 72p., i.1

MORAIS, Rui. **As gemas e os camafeus: da antiguidade à época moderna** Disponível em http://www.uc.pt/fluc/eclassicos/publicacoes/ficheiros/humanitas63/21_RMorais.pdf . Acesso em junho de 2013.

PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang; FELDHUSEN, Jörg; GROTE, Karl-Heinrich. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2005.

PATRÍCIO V. **Como se faz um camafeu em roma**. Disponível em <http://vanessapatricio.com/blog/como-se-faz-uma-jia-camafeu-fotos-em-roma/>. Acesso em maio 2013.

ROISENBERG, A; VILASBÔAS, F.S. **Impacto ambiental do beneficiamento de ágatas na região de Soledade, RS**. In: Léo Afraneo Hartmann; Juliano Tonezer da Silva (orgs). **Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS. 2010. p. 194-204.

SHUMANN, W. **Gemas do Mundo**. São Paulo: Disal, 2006.

SILVA, J.M; HARTMANN, L.A; HAUSCHILD, C.A. **O Centro Tecnológico de Pedras Gemas e Joias do Rio Grande do Sul no ambiente de um arranjo produtivo local**. In: Léo Afraneo Hartmann; Juliano Tonezer da Silva (orgs). **Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS. 2010. p. 17-29.

SINKANKAS, J. **Gem Cutting: A Lapidary's Manual**. 1962

TELECURSO 2000 PROFISSIONALIZANTE, **Pantógrafo, aula 70**, Fundação Roberto Marinho, Editora Globo, 2000.

TESSMANN, C.S. **Importância do binômio design e engenharia no beneficiamento de rejeito mineral de opala e ágata na produção de camafeus por usinagem CNC**. 2009. Dissertação apresentada ao programa Pós-Graduação em Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

TUBINO, Luiz C.B **Tratamento industrial da ágata em bruto no estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

APÊNDICE A
DESENHOS TÉCNICOS

Protótipo
FRESADORA PANTOGRÁFICA PARA GLÍPTICA EM
ÁGATA

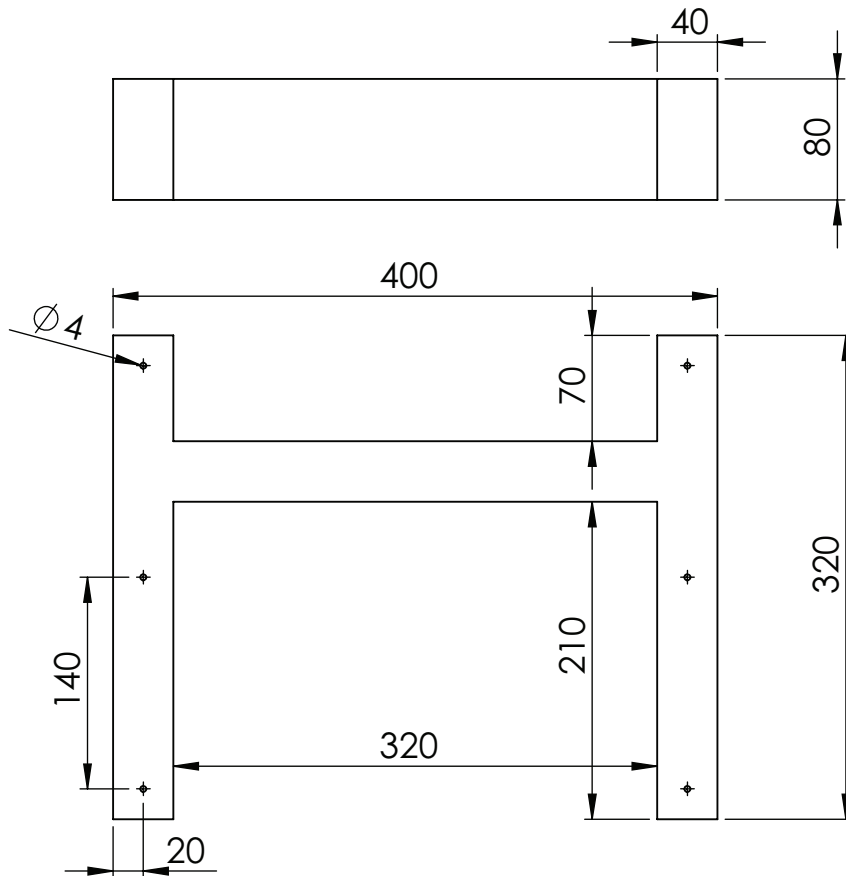
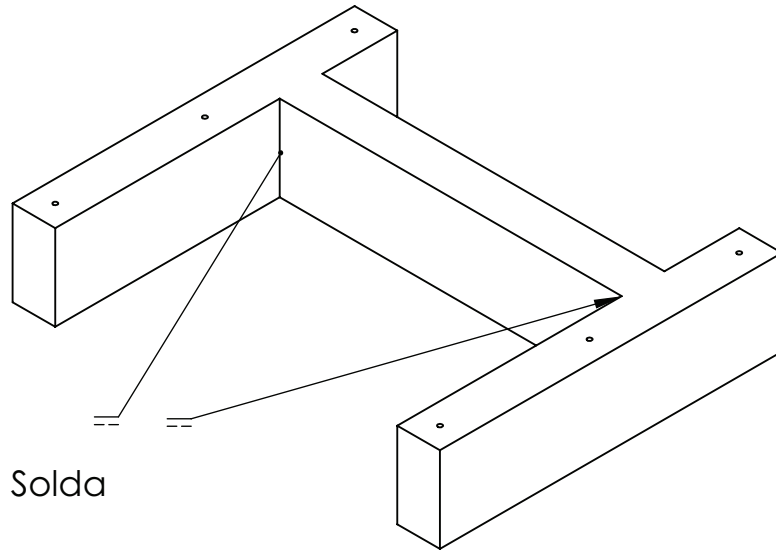
Projetista:

RAFAEL CARDOSO BISINELLA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN E TECNOLOGIA

Porto Alegre 2014

Tolerâncias quando não especificadas São conforme DIN 7168 - Grosseiro				
6 - 30 ± 0,5	30 - 100 ± 0,8	100 - 300 ± 1,2	300 - 1000 ± 2,0	1000 - 3000 ± 2,5



MATERIAL: 3 perfis retangulares de aço (40 mm x 80 mm)

PESO: Kg

PROJETO:
Mesa de base (Montagem)

PROJETISTA:
R. C. Bisinella

ESCALA:
1:1

DATA:

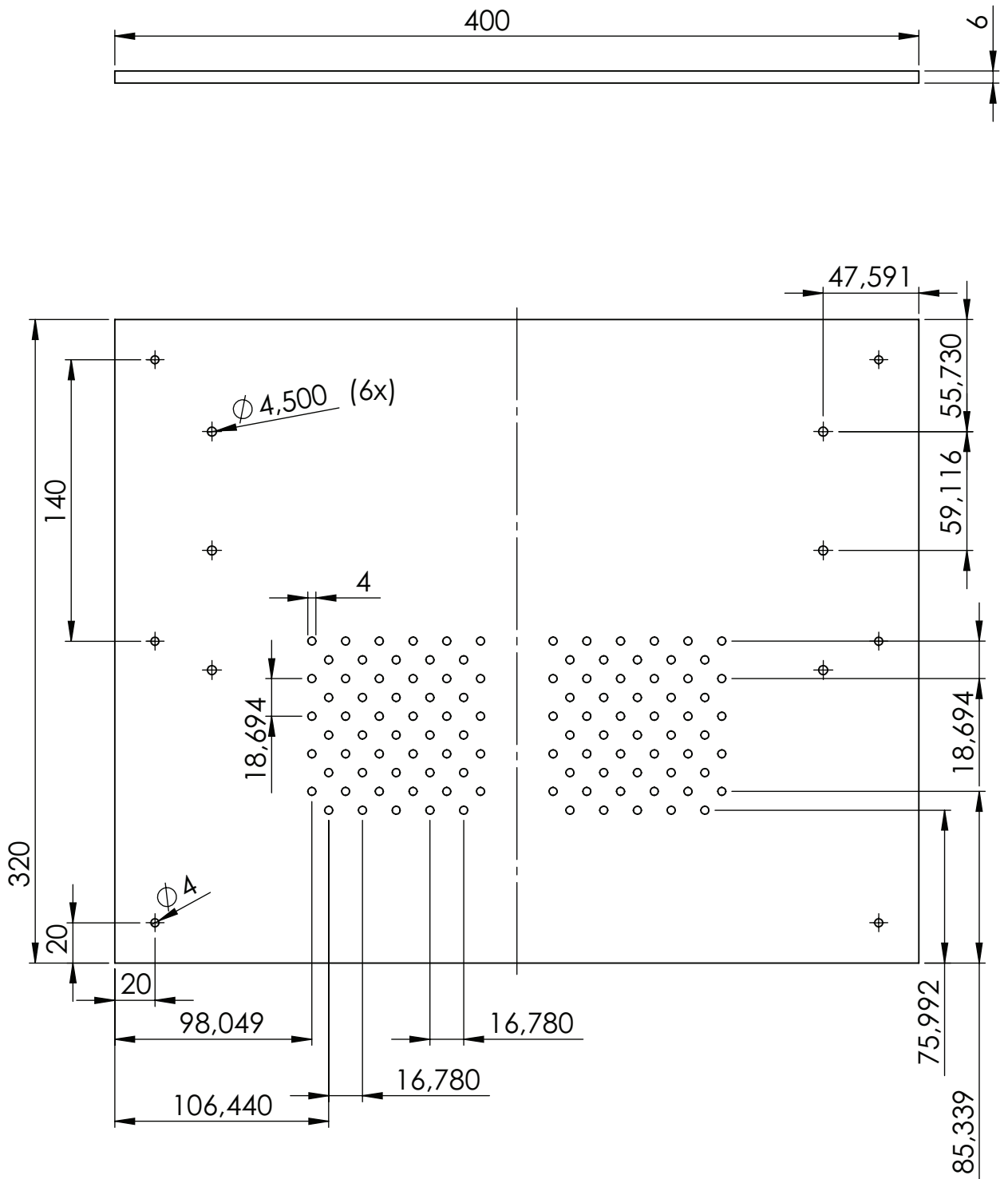
DESENHISTA:

DIEDRO:



CÓDIGO: 1

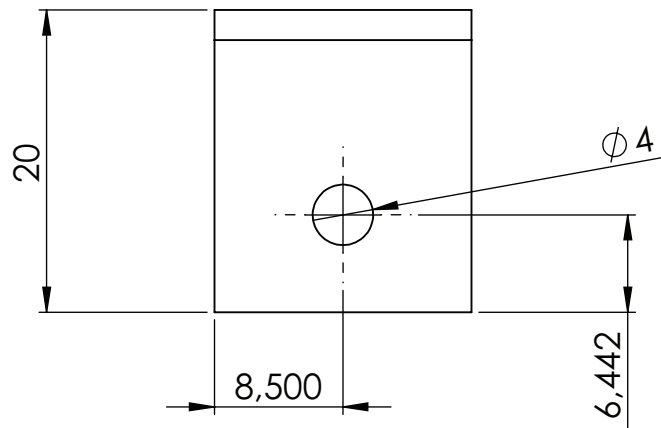
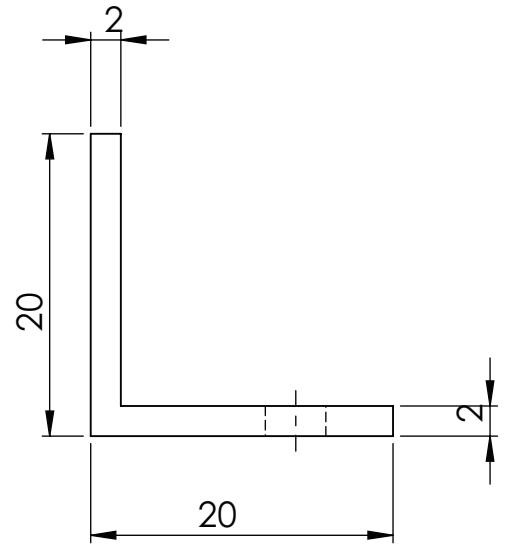
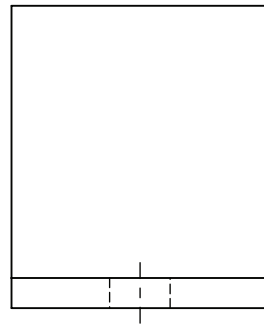
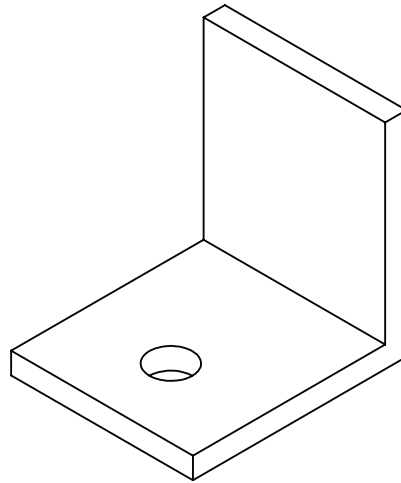
Tolerâncias quando não especificadas São conforme DIN 7168 - Grosseiro				
6 - 30 ± 0,5	30 - 100 ± 0,8	100 - 300 ± 1,2	300 - 1000 ± 2,0	1000 - 3000 ± 2,5



MATERIAL:		PESO: 6 Kg	
PROJETO: Chapa de aço (6 mm) para base (Qt. 1)			
PROJETISTA: R. C. Bisinella		ESCALA: 1:3	DATA:
DESENHISTA:		DIEDRO: 	CÓDIGO: 2

Tolerâncias quando não especificadas
São conforme DIN 7168 - Grosseiro

6 - 30 ± 0,5	30 - 100 ± 0,8	100 - 300 ± 1,2	300 - 1000 ± 2,0	1000 - 3000 ± 2,5
-----------------	-------------------	--------------------	---------------------	----------------------



MATERIAL: Aço SAE 1020

PESO: Kg

PROJETO:
Peça de Limite (Qt. 6)

PROJETISTA:
R. C. Bisinella

ESCALA:
2:1

DATA:

DESENHISTA:

DIEDRO:

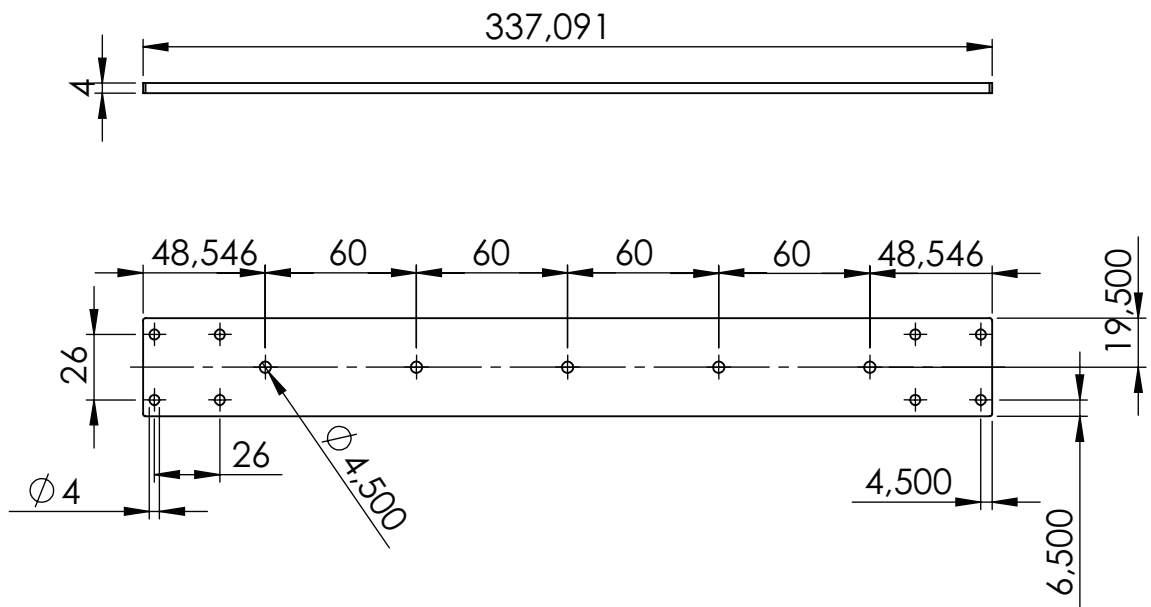
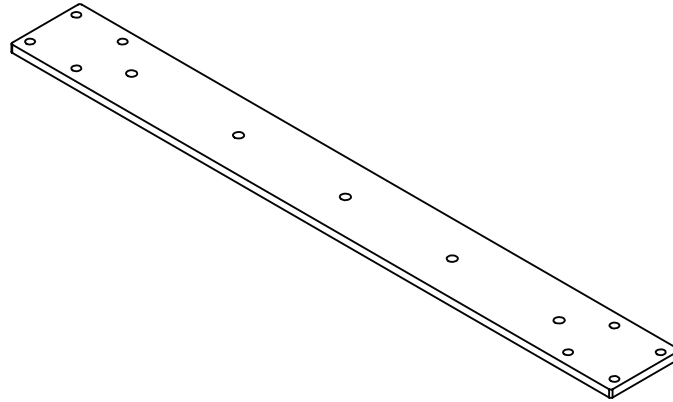


CÓDIGO:

3

Tolerâncias quando não especificadas
São conforme DIN 7168 - Grosseiro

6 - 30 ± 0,5	30 - 100 ± 0,8	100 - 300 ± 1,2	300 - 1000 ± 2,0	1000 - 3000 ± 2,5
-----------------	-------------------	--------------------	---------------------	----------------------



MATERIAL: Aço 1020

PESO: Kg

PROJETO:
Chapa de aço 4mm Usinada (Qt. 1)

PROJETISTA:
R. C. Bisinella

ESCALA:
1:3

DATA:

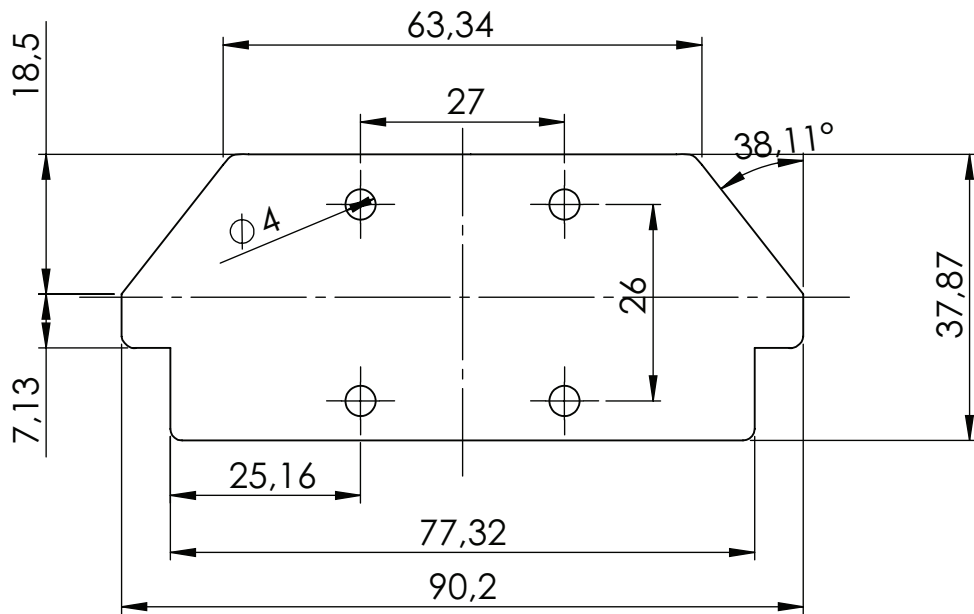
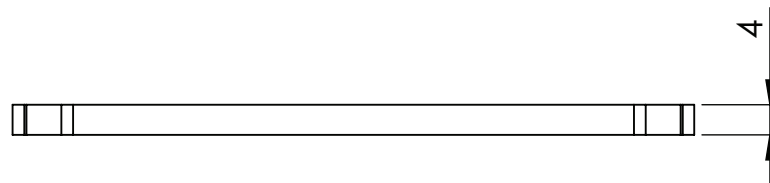
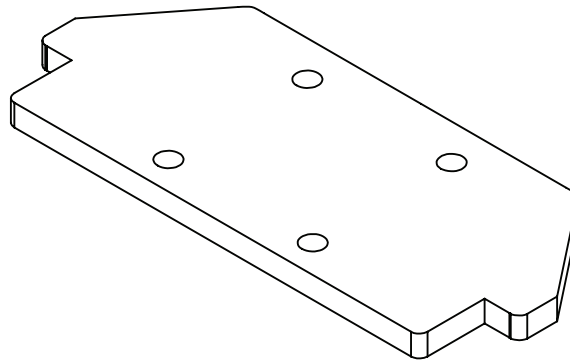
DESENHISTA:

DIEDRO:

CÓDIGO:
6

Tolerâncias quando não especificadas
São conforme DIN 7168 - Grosseiro

6 - 30 ± 0,5	30 - 100 ± 0,8	100 - 300 ± 1,2	300 - 1000 ± 2,0	1000 - 3000 ± 2,5
-----------------	-------------------	--------------------	---------------------	----------------------



MATERIAL: Chapa de aço 4 mm

PESO: Kg

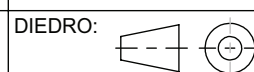
PROJETO:
Dobradiça 1 (Qt.1)

PROJETISTA:
R. C. Bisinella

ESCALA:
1:1

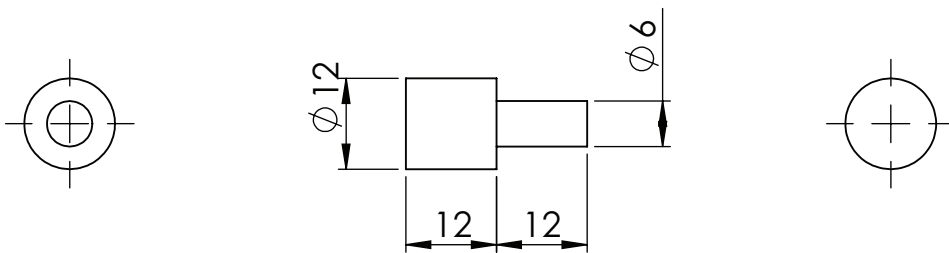
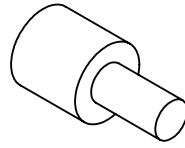
DATA:

DESENHISTA:



CÓDIGO:
8

Tolerâncias quando não especificadas São conforme DIN 7168 - Grosseiro				
6 - 30 ± 0,5	30 - 100 ± 0,8	100 - 300 ± 1,2	300 - 1000 ± 2,0	1000 - 3000 ± 2,5



MATERIAL: AÇO SAE 1020

PESO: Kg

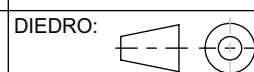
PROJETO: Dobradiça 1 Macho (Qt.2)

PROJETISTA:
R. C. Bisinella

ESCALA:
1:1

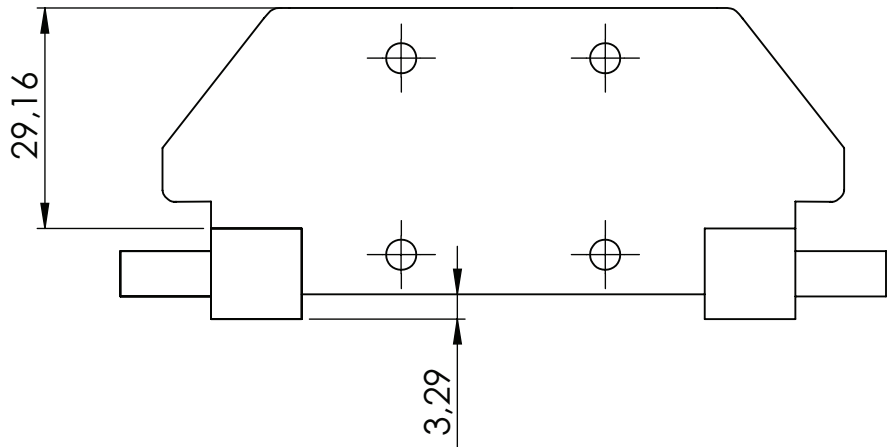
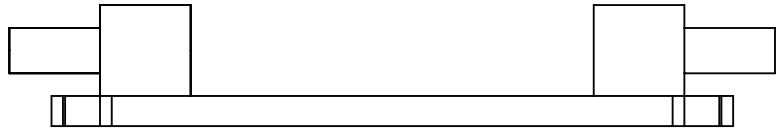
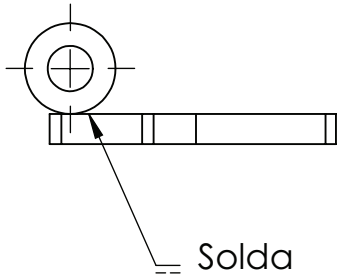
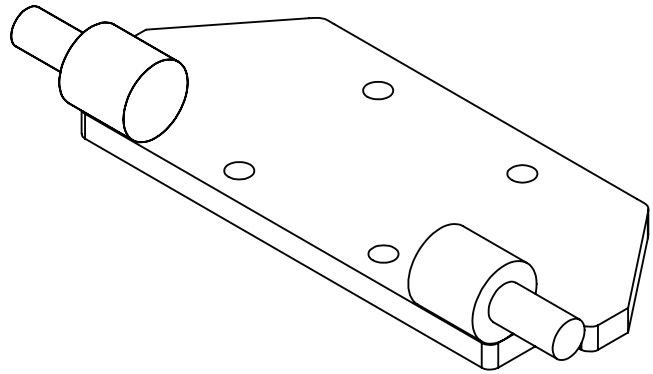
DATA:

DESENHISTA:



CÓDIGO:
8 - 1

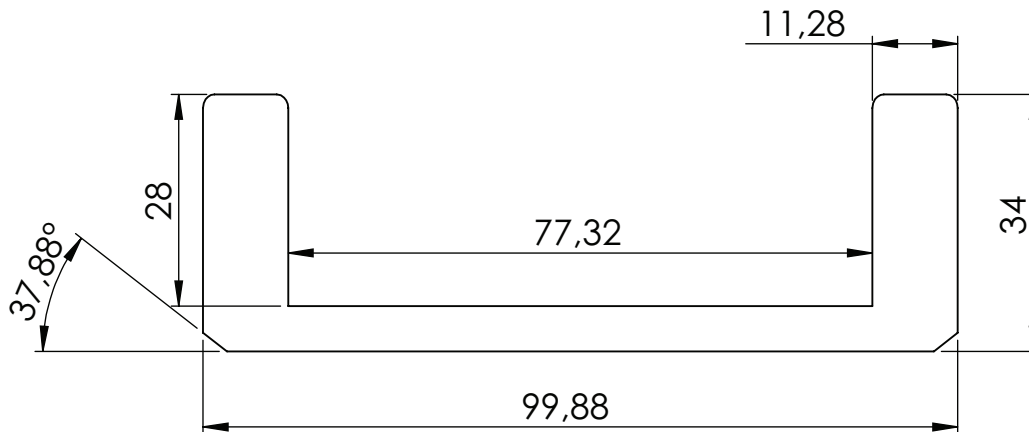
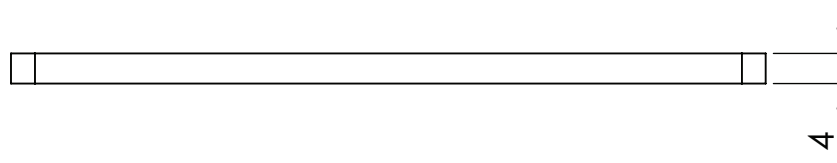
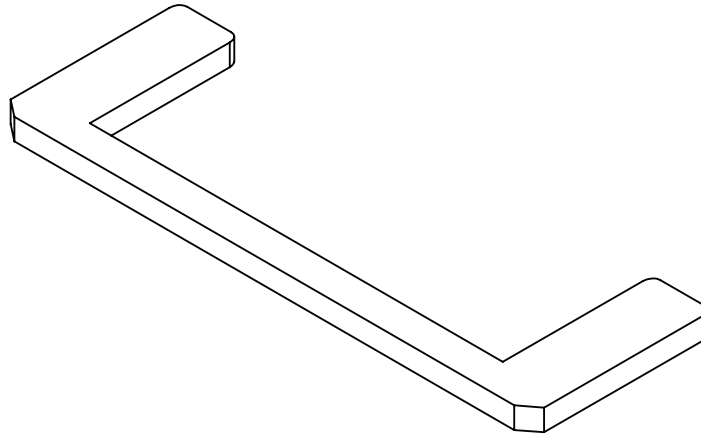
Tolerâncias quando não especificadas São conforme DIN 7168 - Grosseiro				
6 - 30 ± 0,5	30 - 100 ± 0,8	100 - 300 ± 1,2	300 - 1000 ± 2,0	1000 - 3000 ± 2,5



MATERIAL:		PESO: Kg	
PROJETO: Dobradiça 1 + Macho (Montagem)			
PROJETISTA: R. C. Bisinella		ESCALA: 1:1	DATA:
DESENHISTA:		DIEDRO:	CÓDIGO: 8 e 8-1

Tolerâncias quando não especificadas
São conforme DIN 7168 - Grosseiro

6 - 30 ± 0,5	30 - 100 ± 0,8	100 - 300 ± 1,2	300 - 1000 ± 2,0	1000 - 3000 ± 2,5
-----------------	-------------------	--------------------	---------------------	----------------------



MATERIAL: Chapa de Aço 4 mm

PESO: Kg

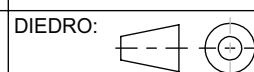
PROJETO:
Dobradiça 2 (Qt.1)

PROJETISTA:
R. C. Bisinella

ESCALA:
1:1

DATA:

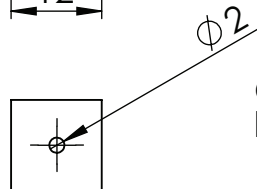
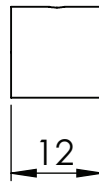
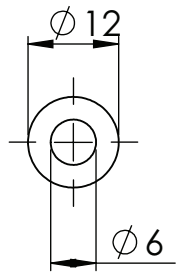
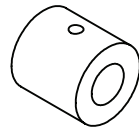
DESENHISTA:



CÓDIGO:
9

Tolerâncias quando não especificadas
São conforme DIN 7168 - Grosseiro

6 - 30 ± 0,5	30 - 100 ± 0,8	100 - 300 ± 1,2	300 - 1000 ± 2,0	1000 - 3000 ± 2,5
-----------------	-------------------	--------------------	---------------------	----------------------



Orifício para
lubrificação

MATERIAL: AÇO SAE 1020

PESO: Kg

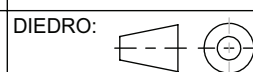
PROJETO:
Dobradiça 2 Fêmea (Qt.2)

PROJETISTA:
R. C. Bisinella

ESCALA:
1:1

DATA:

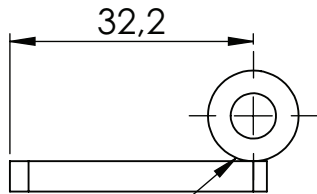
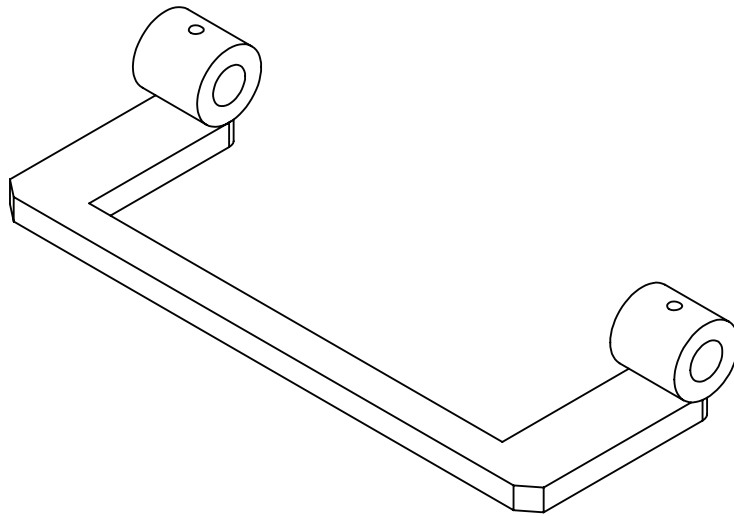
DESENHISTA:



CÓDIGO:
9 - 1

Tolerâncias quando não especificadas
São conforme DIN 7168 - Grosseiro

6 - 30 ± 0,5	30 - 100 ± 0,8	100 - 300 ± 1,2	300 - 1000 ± 2,0	1000 - 3000 ± 2,5
-----------------	-------------------	--------------------	---------------------	----------------------



Solda



MATERIAL:

PESO:

Kg

PROJETO:

Dobradiça 2 (Montagem)

PROJETISTA:

R. C. Bisinella

ESCALA:

1:1

DATA:

DESENHISTA:

DIEDRO:

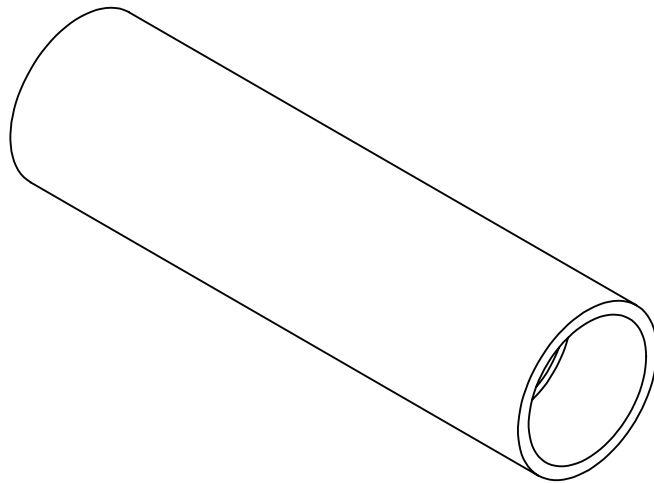


CÓDIGO:

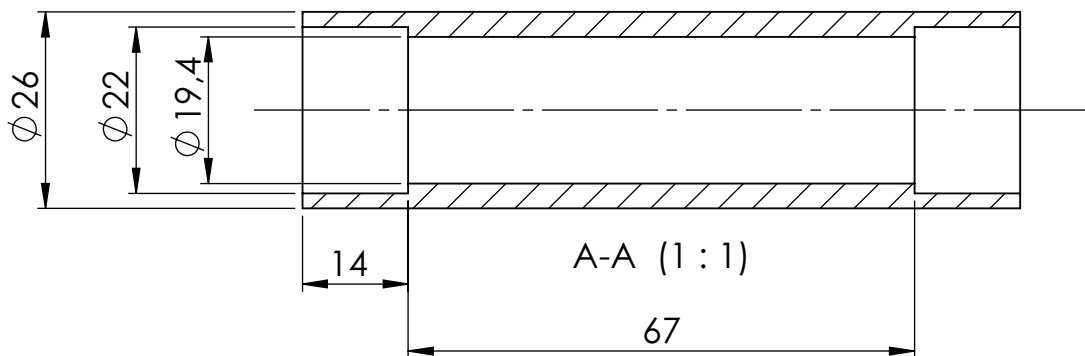
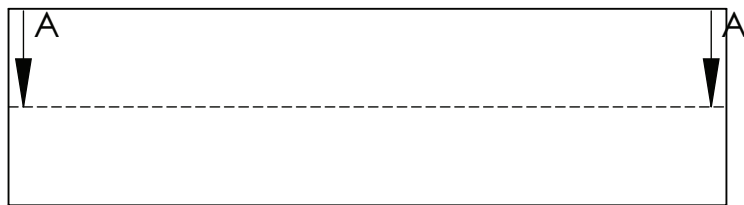
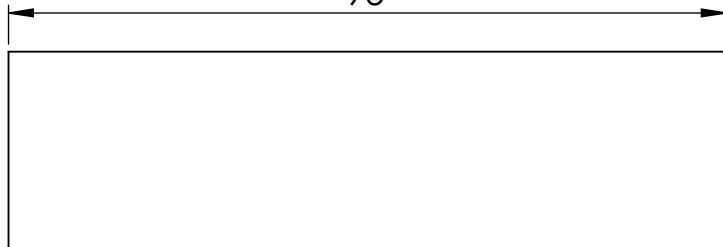
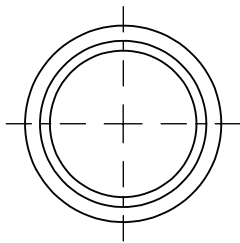
9 e 9 - 1

Tolerâncias quando não especificadas
São conforme DIN 7168 - Grosseiro

6 - 30 ± 0,5	30 - 100 ± 0,8	100 - 300 ± 1,2	300 - 1000 ± 2,0	1000 - 3000 ± 2,5
-----------------	-------------------	--------------------	---------------------	----------------------



95



MATERIAL: AÇO SAE 1020

PESO: Kg

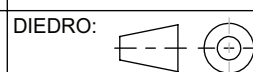
PROJETO:
Cilindro 1

PROJETISTA:
R. C. Bisinella

ESCALA:
1:1

DATA:

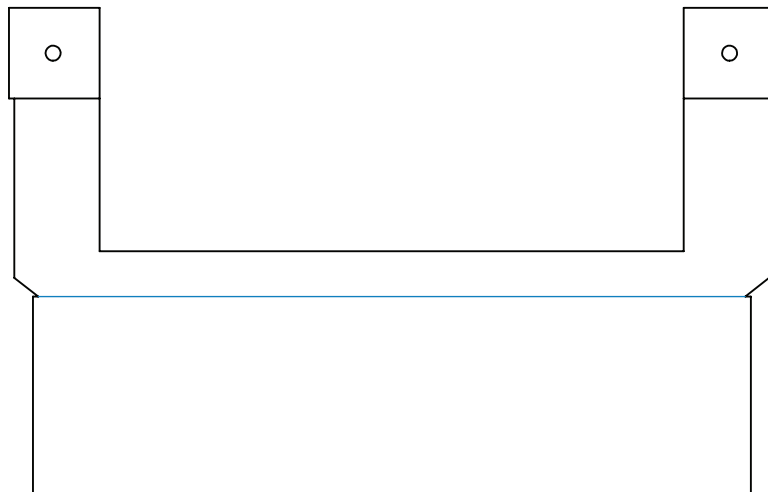
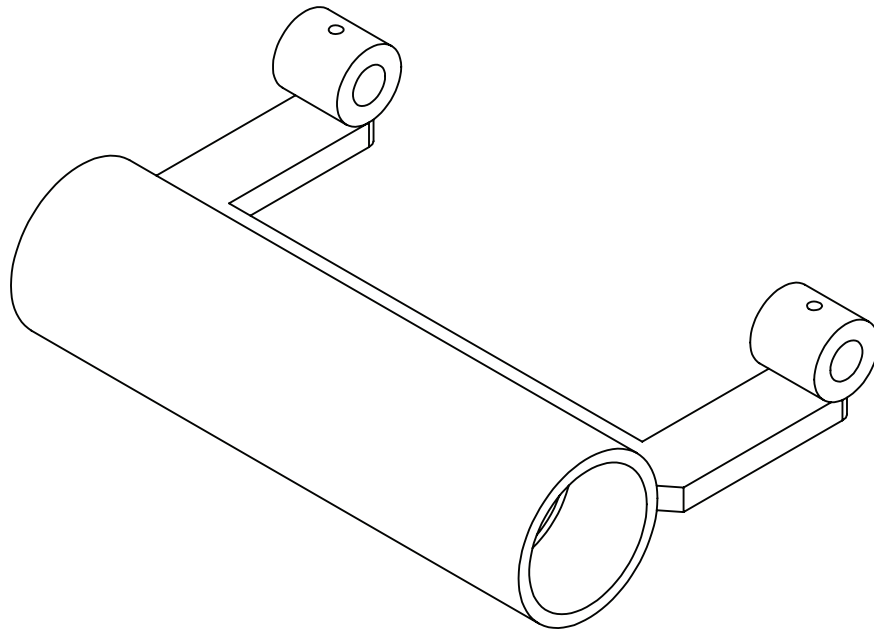
DESENHISTA:



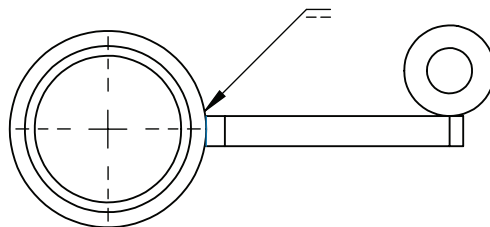
CÓDIGO:
10

Tolerâncias quando não especificadas
São conforme DIN 7168 - Grosseiro

6 - 30 ± 0,5	30 - 100 ± 0,8	100 - 300 ± 1,2	300 - 1000 ± 2,0	1000 - 3000 ± 2,5
-----------------	-------------------	--------------------	---------------------	----------------------



Solda no centro do cilindro 1



MATERIAL:

PESO:

Kg

PROJETO:

Cilindro 1 + Dobradiça 2 (Montagem)

PROJETISTA:

R. C. Bisinella

ESCALA:

1:1

DATA:

DESENHISTA:

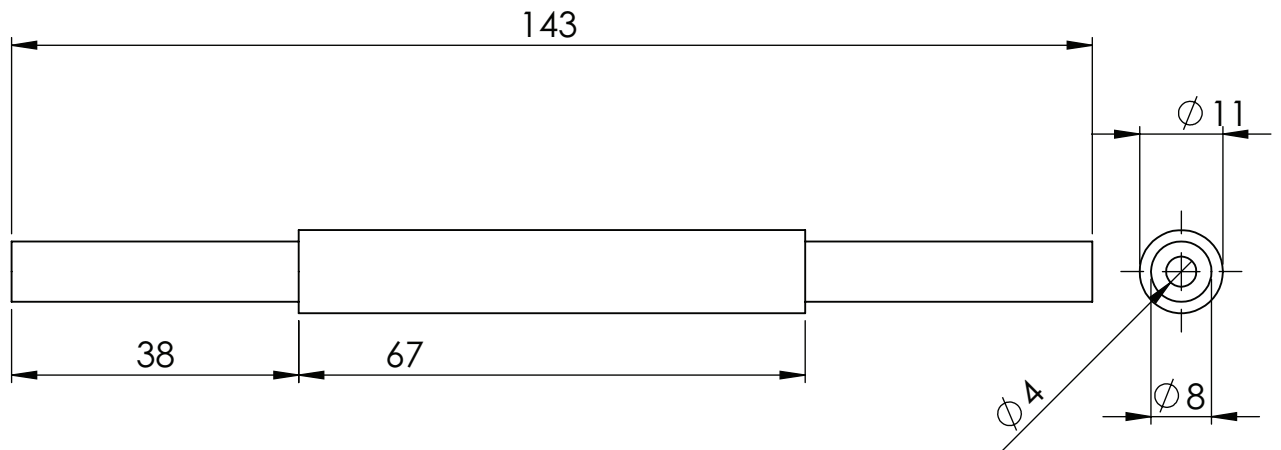
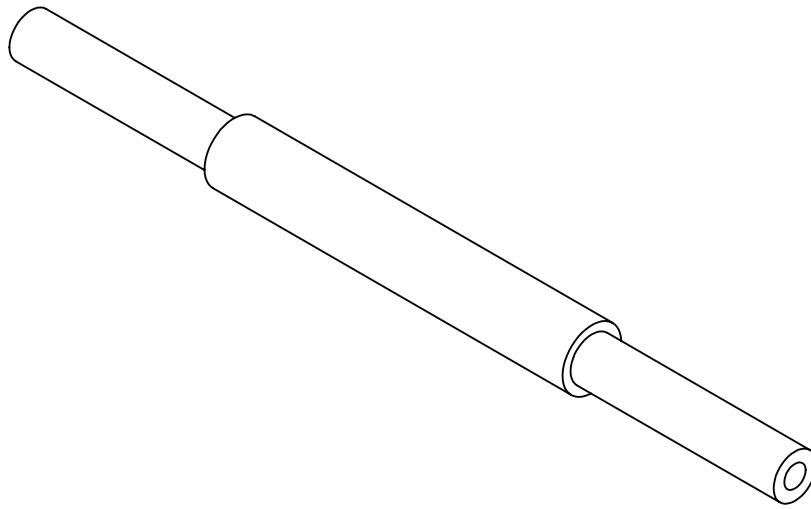
DIEDRO:



CÓDIGO:

9 + 9-1 + 10

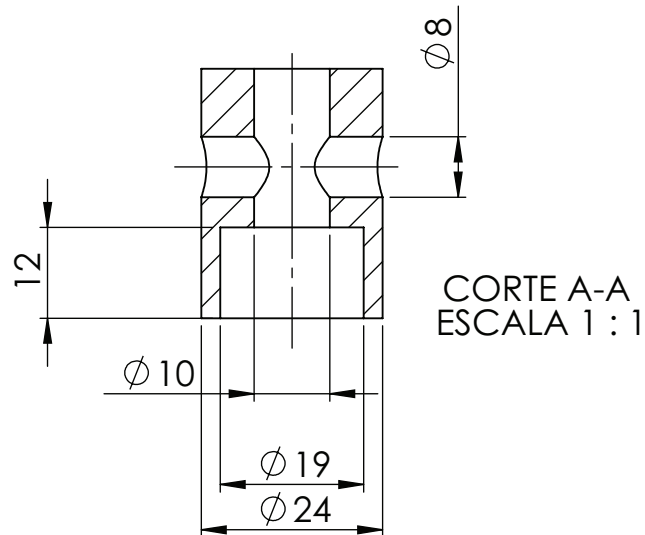
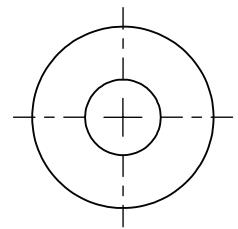
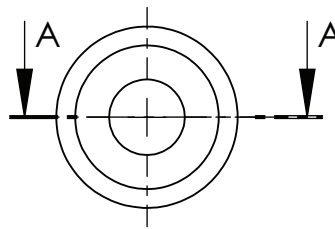
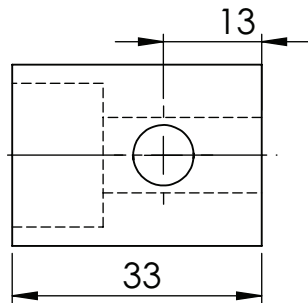
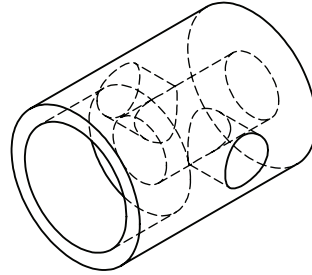
Tolerâncias quando não especificadas São conforme DIN 7168 - Grosseiro				
6 - 30 ± 0,5	30 - 100 ± 0,8	100 - 300 ± 1,2	300 - 1000 ± 2,0	1000 - 3000 ± 2,5



MATERIAL: Aço SAE 1020		PESO:	Kg
PROJETO: Pino Central (dentro do cilindro 1) (Qt. 1)			
PROJETISTA: R. C. Bisinella		ESCALA: 1:1	DATA:
DESENHISTA:		DIEDRO: 	CÓDIGO: 10-1

Tolerâncias quando não especificadas
São conforme DIN 7168 - Grosseiro

6 - 30 ± 0,5	30 - 100 ± 0,8	100 - 300 ± 1,2	300 - 1000 ± 2,0	1000 - 3000 ± 2,5
-----------------	-------------------	--------------------	---------------------	----------------------



MATERIAL: Aço SAE 1020

PESO: Kg

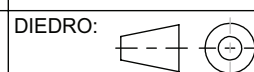
PROJETO: Cilindro especial 2 (Qt. 2)

PROJETISTA: R. C. Bisinella

ESCALA: 1:1

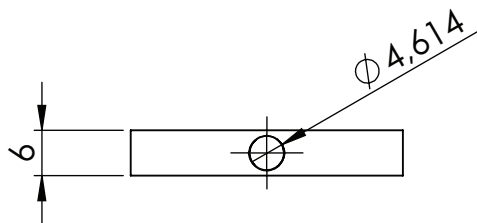
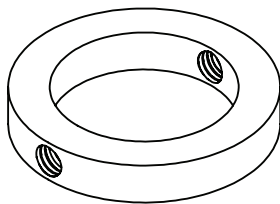
DATA:

DESENHISTA:

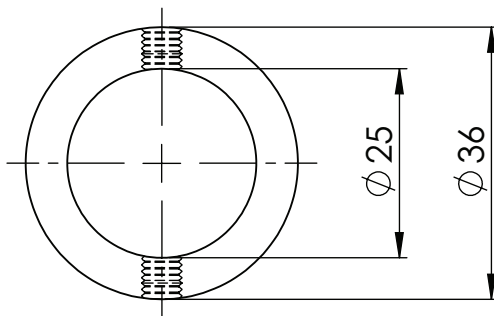


CÓDIGO: 11

Tolerâncias quando não especificadas São conforme DIN 7168 - Grosseiro				
6 - 30 ± 0,5	30 - 100 ± 0,8	100 - 300 ± 1,2	300 - 1000 ± 2,0	1000 - 3000 ± 2,5



Rosca para parafuso
Allen 1/4 cabeça
interna



MATERIAL: Aço SAE 1020

PESO: Kg

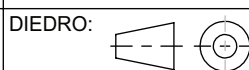
PROJETO:
Braçadeira (QT. 4)

PROJETISTA:
R. C. Bisinella

ESCALA:
1:1

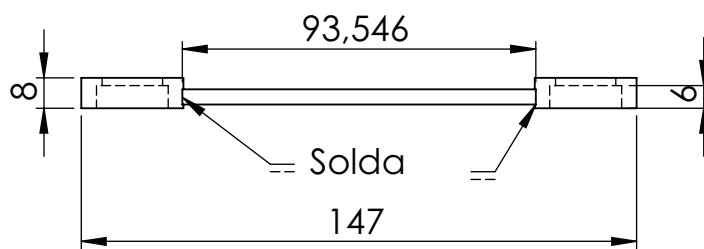
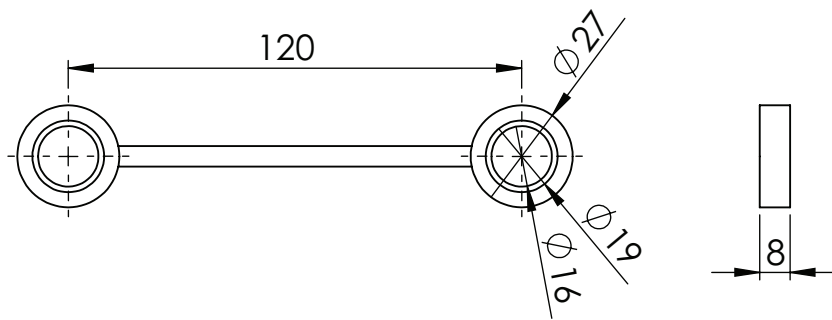
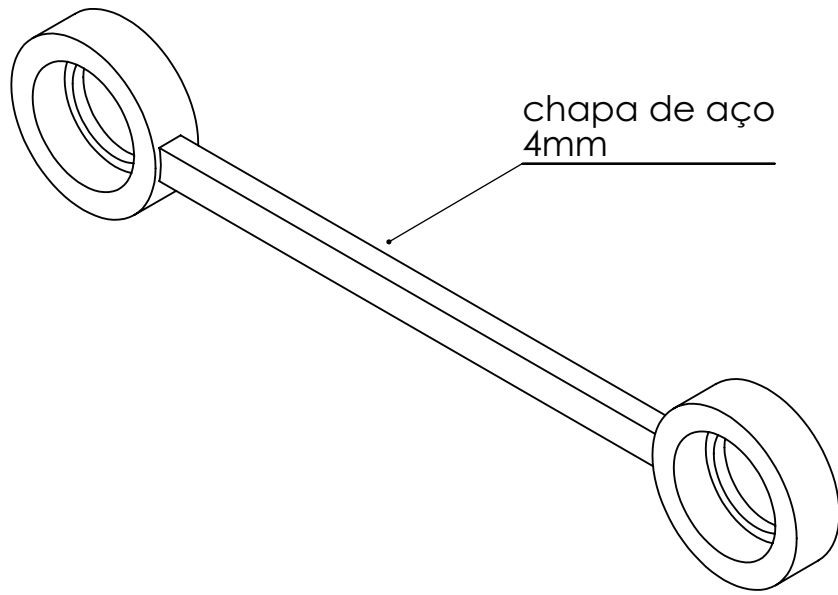
DATA:

DESENHISTA:



CÓDIGO:
12

Tolerâncias quando não especificadas São conforme DIN 7168 - Grosseiro				
6 - 30 ± 0,5	30 - 100 ± 0,8	100 - 300 ± 1,2	300 - 1000 ± 2,0	1000 - 3000 ± 2,5



MATERIAL: Aço SAE 1020

PESO: Kg

PROJETO: Peça Junção superiot (Qt. 1) (Montagem)

PROJETISTA: R. C. Bisinella

ESCALA: 1:2

DATA:

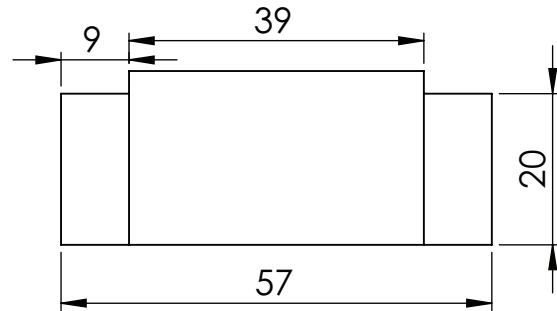
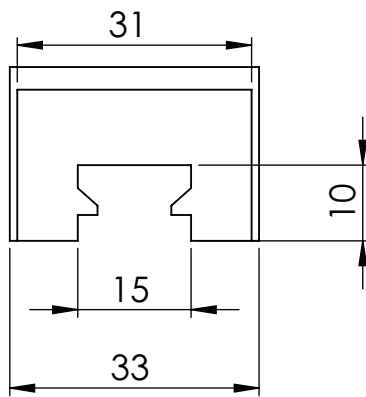
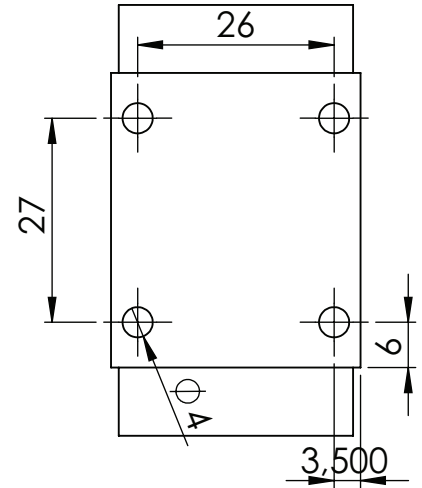
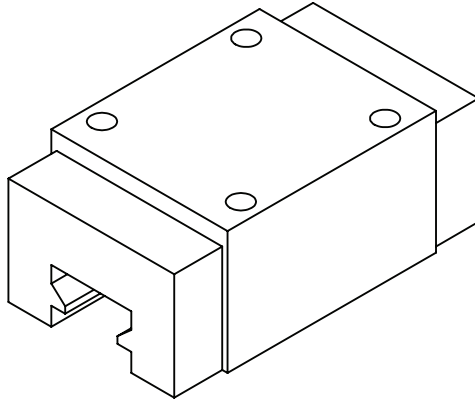
DESENHISTA:

DIEDRO:

CÓDIGO: 13

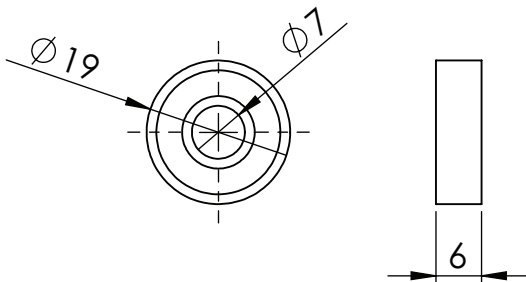
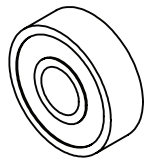
Tolerâncias quando não especificadas São conforme DIN 7168 - Grosseiro				
6 - 30 ± 0,5	30 - 100 ± 0,8	100 - 300 ± 1,2	300 - 1000 ± 2,0	1000 - 3000 ± 2,5

Guia Linear 15 mm



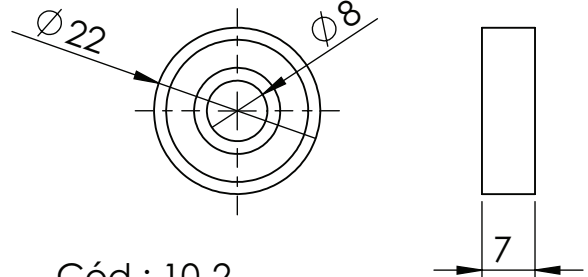
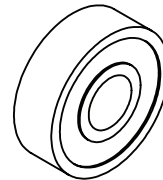
Cód.: 5

Rolamento Radial com esferas
GBR 607Z



Cód.: 11-1

Rolamento Radial com esferas
GBR 608Z



Cód.: 10-2

MATERIAL:

PESO:

Kg

PROJETO:

Medidas rolamentos

PROJETISTA:

R. C. Bisinella

ESCALA:

1:1

DATA:

DESENHISTA:

DIEDRO:

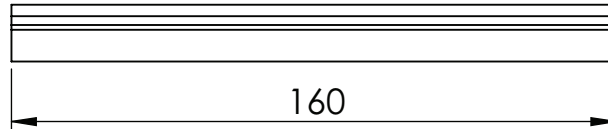
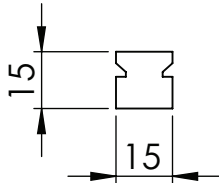
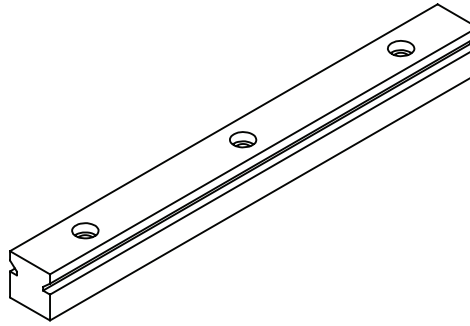


CÓDIGO:

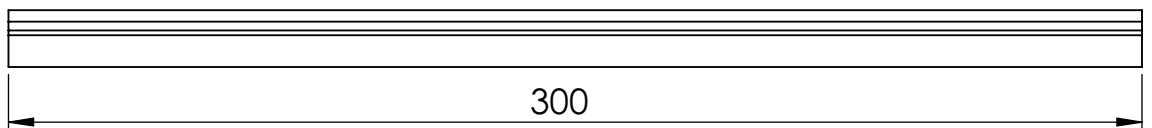
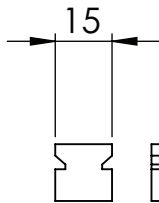
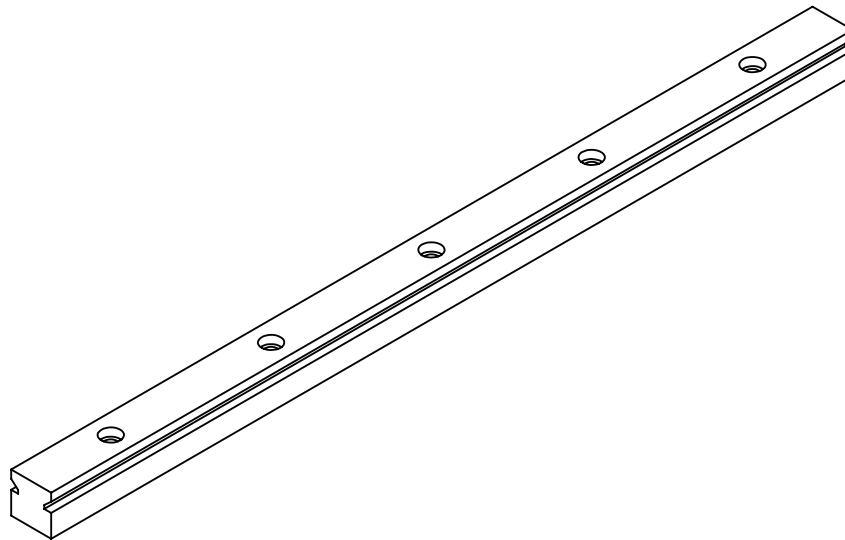
Tolerâncias quando não especificadas
São conforme DIN 7168 - Grosseiro

6 - 30 ± 0,5	30 - 100 ± 0,8	100 - 300 ± 1,2	300 - 1000 ± 2,0	1000 - 3000 ± 2,5
-----------------	-------------------	--------------------	---------------------	----------------------

1



2



1	2	Trilho guia Linear 15mm x 160mm		4
2	1	Trilho Guia Linear 15mm x 300mm		7

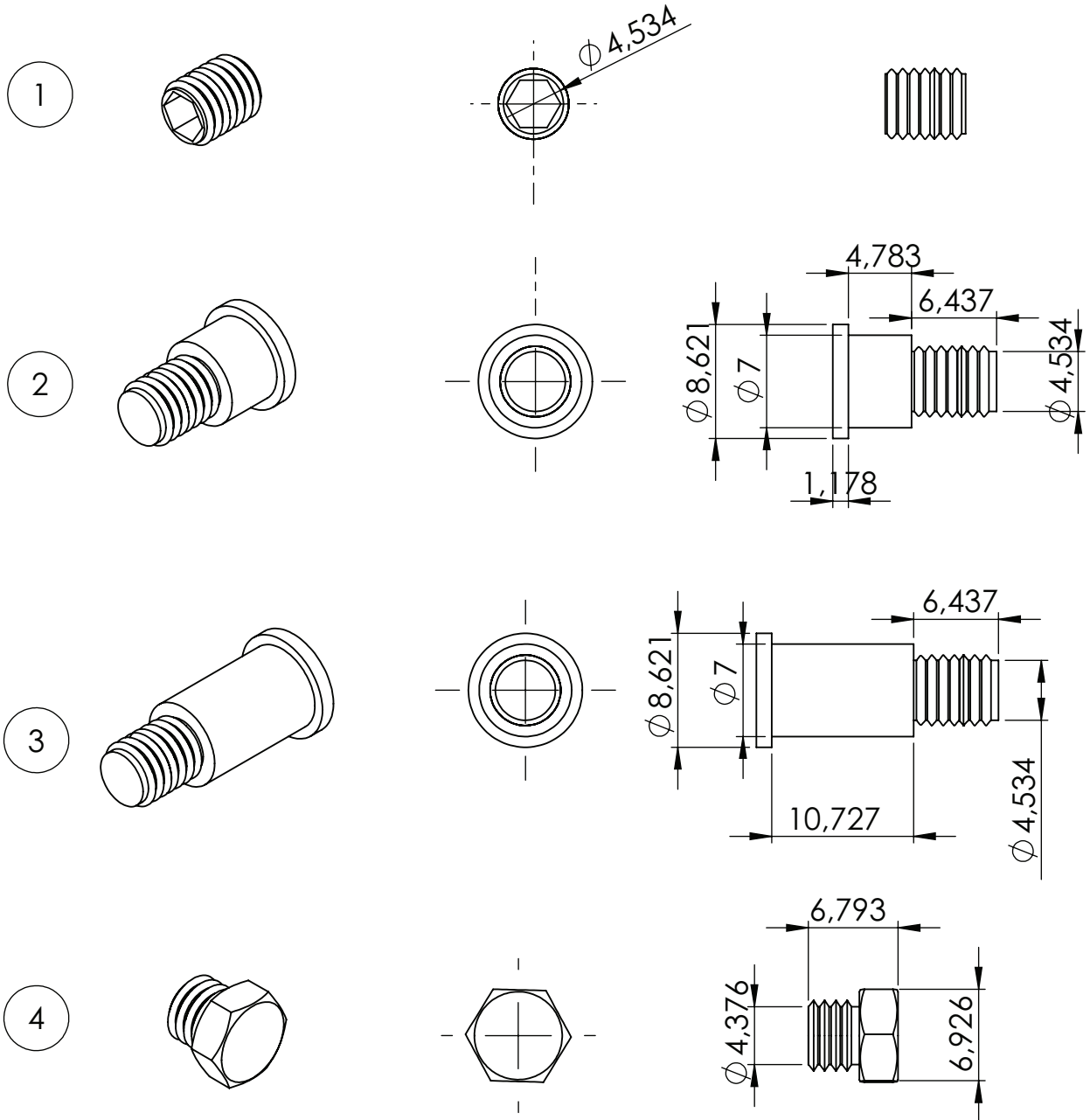
POS.	QT.	DENOMINAÇÃO	MATERIAL	CÓDIGO
MATERIAL:			PESO:	Kg

PROJETO: Tamanho dos trilhos		
PROJETISTA: R. C. Bisinella	ESCALA: 1:2	DATA:
DESENHISTA:	DIEDRO:	CÓDIGO:



Tolerâncias quando não especificadas
São conforme DIN 7168 - Grosseiro

6 - 30 ± 0,5	30 - 100 ± 0,8	100 - 300 ± 1,2	300 - 1000 ± 2,0	1000 - 3000 ± 2,5
-----------------	-------------------	--------------------	---------------------	----------------------



1	4	Parafuso Allen 1/4 cabeça interna		12-1
2	2	Parafuso especial cabeça Allen externa 1/4		13-1
3	2	Parafuso especial cabeça Allen externa 1/4		11-2
4	2	Parafuso comum		11-3

POS.	QT.	DENOMINAÇÃO	MATERIAL	CÓDIGO
------	-----	-------------	----------	--------

MATERIAL: _____ PESO: _____ Kg

	PROJETO: Parafusos		
	PROJETISTA: R. C. Bisinella	ESCALA: 2:1	DATA:
	DESENHISTA:	DIEDRO:	CÓDIGO: