

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

VINÍCIUS LUIS MATHEUS MARCOS LUCAS LOPES

**APLICAÇÃO DE ENGENHARIA REVERSA PARA O
DESENVOLVIMENTO DE CÂMARAS DE DIFUSÃO DOS TIPOS
KfK e NRPB/SSI**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2014

VINÍCIUS LUIS MATHEUS MARCOS LUCAS LOPES

**APLICAÇÃO DE ENGENHARIA REVERSA PARA O DESENVOLVIMENTO
DE CÂMARAS DE DIFUSÃO DOS TIPOS KfK e NRPB/SSI**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Me. Mauricio Iwama Takano

Co-orientadora: Profa. Dra. Kelly Cristina Cezaretto Pires

CORNÉLIO PROCÓPIO

2014

FOLHA DE APROVAÇÃO

(modelo da Coordenação da Engenharia Mecânica)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de enaltecer minha querida mãe. Regina Lopes, eu a resumiria como a fonte de inspiração, e principalmente, fortaleza, para superação de todos os problemas que já tive em toda minha vida e carreira como estudante. No sentido de fazer uso de sua própria razão conquistando exatamente àquilo que se deseja a considero a mulher mais forte que já conheci. Sou extremamente grato ao apoio em todos os momentos, psicológica e financeiramente, mesmo em momentos de grandes dificuldades.

A minha futura esposa, Ana Claudia. Uma pessoa maravilhosa, dona de toda minha pretensão em passar a vida ao seu lado. Com breves palavras, dedico o fato de ter a conhecido como a maior vitória que me ocorreu durante todo o período de graduação.

A minha avó, Odette. Uma fonte de carinho e amor que me acompanhou desde o nascimento perdurando aos dias de hoje.

Ao meu pai, Antonio Lopes. Um grande exemplo de sabedoria e busca de novos conhecimentos. Um homem inteligente que me passou exemplos de vida.

Ao meu professor, orientador e amigo, Maurício Takano. Dedico minhas honras a todo auxílio e ensinamento que me passou. Desde que cursei sua matéria, processos de fabricação IV, que a propósito serviu como base para a realização deste trabalho, até o momento em que me aceitou como seu orientando, foram momentos essenciais para a realização deste trabalho. Reconheço todo seu esforço sendo meu orientador como o principal motivo por eu ter conseguido finalizar com êxito minha conclusão de curso.

Aos amigos, a UTFPR e toda rede de ensino pública que estiveram presentes em todos os anos de meus estudos até a realização deste trabalho.

“Toda formação exige deformações”
(LOPES, V.L.M.M.L.)

RESUMO

Lopes, Vinícius Luis Matheus Marcos Lucas. **APLICAÇÃO DE ENGENHARIA REVERSA PARA O DESENVOLVIMENTO DE CÂMARAS DE DIFUSÃO DOS TIPOS KfK e NRPB/SSI**. 57f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2014.

Neste trabalho é proposto o desenvolvimento de câmaras de difusão dos tipos KfK e NRPB/SSI. Tal desenvolvimento engloba a aplicação de conceitos de engenharia reversa, adaptando algumas características geométricas e dimensionais dos componentes para a fabricação por processo de usinagem desses dois tipos de câmaras. O trabalho está baseado no projeto de iniciação científica (IC), intitulado “estudo da concentração de radônio em residências de Cornélio Procópio, PR, Brasil”, orientado pela professora doutora Kelly Cristina Cezaretto Pires. A pesquisa de IC fez uso desses dois tipos de câmaras como ferramentas de trabalho para determinar o nível de concentração do gás radônio em residências na região de Cornélio Procópio. Este trabalho de conclusão de curso se resume em aplicar conceitos de engenharia reversa para fabricar essas câmaras, com o objetivo de criar uma opção de construção diferente da original para essas ferramentas, uma vez que os modelos originais foram fabricados por processo de injeção plástica. As câmaras foram fabricadas no centro de usinagem com comando numérico computadorizado Romi D600, o qual se encontra no laboratório de CNC da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Cornélio Procópio. Correspondendo a ideologia deste trabalho, apresenta-se a fabricação das câmaras concluída, em resposta a toda dedicação e esforço empregados a favor da engenharia.

Palavras-chave: Câmaras de Difusão. Usinagem. Injeção Plástica. Radônio.

ABSTRACT

Lopes, Vinícius Luis Matheus Marcos Lucas. **APPLICATION OF REVERSE ENGINEERING FOR THE DEVELOPMENT OF DIFFUSION CHAMBERS OF TYPES KfK and NRPB / SSI.** 57f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2014.

In this work, it is proposed the development of nuclear diffusion chambers of types KfK and NRPB / SSI. This development involves the application of reverse engineering concepts, adapting some geometric and dimensional characteristics of the components to manufacture a machining process these two types of chambers. The work is based on the undergraduate research (studying of the concentration of radon in houses in Cornélio Procópio, PR, Brazil), directed by Professor Dr. Kelly Cristina Pires Cezaretto. The research makes use of both types of chambers as working tools to determine the level of concentration of radon gas in the region of residence in Cornélio Procópio. This final course work boils down to apply concepts of reverse engineering and manufacture the chambers, the goal is to create a different option for the original construction of these tools, since the original models were manufactured by plastic injection process. The chambers were manufactured in the machining center with computerized numerical control Romi D600, which is in the laboratory of CNC Federal Technological University of Paraná, campus Cornélio Procópio. Corresponding to the ideologies of this work, it is presented the manufactured chambers in response to all dedication and effort for the benefit of engineering.

Keywords: Diffusion Chambers. Machining. Plastic Injection. Radon.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de um detector do tipo CR-39	15
Figura 2 - Câmaras de difusão (a) tipo KfK e (b) tipo NRPB/SSI	16
Figura 3 - Superfície de fixação dos detectores: (A) Tampa da câmara do tipo KfK; (B) Base da câmara do tipo NRPB/SSI	16
Figura 4 – Demonstração dos pontos de referência.....	20
Figura 5 – Regra da mão direita	21
Figura 6 – Sistema de coordenadas para fresadora.....	22
Figura 7 – Linguagem de programação expressa no <i>software</i> DFM.....	23
Figura 8 – Câmara do tipo KfK: (A) Base; (B) Revestimento interno; (C) Tampa	26
Figura 9 – Câmara do tipo NRPB/SSI: (A) Tampa; (B) Base.....	27
Figura 10 – Imagem do centro de usinagem com CNC	28
Figura 11 – Câmara do tipo KfK. O retângulo amarelo demonstra a localização de uma das alças de fixação	29
Figura 12 – Vista em corte da câmara tipo KfK. O círculo vermelho demonstra o local da linha sobressalente	29
Figura 13 – Furos de fixação encontrados na câmara do tipo KfK	30
Figura 14 – Câmara do tipo NRPB/SSI. O retângulo em amarelo demonstra a alça	30
Figura 15 – Vista em corte da tampa da câmara do tipo NRPB/SSI.....	31
Figura 16 – Serra fita FRANHO FM-335	32
Figura 17 – Torno mecânico NARDINI MS205	33
Figura 18 – Sistemas de comando do CNC: (A) <i>Remote panel</i> ; (B) Painel de controle	33
Figura 19 – Sistema de fixação por morsa: (A) Interior do CNC; (B) Sentido do deslocamento da peça durante o processo de usinagem da tampa da câmara do tipo NRPB/SSI.....	37
Figura 20 – Sistema de fixação controlado por guias: (A) Interior do CNC; (B) Detalhe do sistema de fixação.....	38
Figura 21 – Componente tampa contendo rebarbas	40
Figura 22 – Exemplos de rebarbas e sobras de material.....	41
Figura 23 – Morsa fixa a mesa usada como suporte para a serra	41
Figura 24 – Matéria prima fixa ao torno mecânico	42
Figura 25 – Diferença visual entre o componente antes e depois das finalizações: (A) Ao deixar o centro de usinagem com CNC; (B) Após as finalizações.....	43
Figura 26 – Poliacetal sendo cortado com bedame	44
Figura 27 – Revestimento interno preparado a ser cortado com o uso de bedame	45

LISTA DE SIGLAS

IC	Iniciação Científica
SSNTD	<i>Solid State Nuclear Track Detector</i>
CR-39	<i>Columbia Resin 1939</i>
CNC	Comando Numérico Computadorizado
EOB	<i>End of Block</i>
DFM	<i>Denford Fanuc Milling</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CLP	Comando Lógico Programável
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
UTFPR-CP	Universidade Tecnológica Federal do Paraná – câmpus Cornélio Procópio
PCMCIA	<i>Personal Computer Memory Card International Association</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

^{222}Rn	Radônio
^{226}Ra	Rádio
$\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{O}_7$	Carbonato Diglicol Alílico
C_{Rn}	Concentração de ^{222}Rn [Bq/m^3]
ρ	Densidade de traços [$\text{traços}/\text{cm}^2$]
K	Constante de calibração [$\text{d}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{traços} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{m}^3$]
T	Período de exposição [horas]
N	Número de linha (bloco)
G	Função preparatória
X	Movimento no eixo X
Y	Movimento no eixo Y
M	Função miscelânea
3D	Tridimensional
2D	Bidimensional

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVA.....	11
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 Objetivo Geral	12
1.2.2 Objetivos Específicos.....	12
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	12
2. RADIOATIVIDADE NATURAL E O GÁS RADÔNIO	14
2.1 DETECTORES DE TRAÇOS NUCLEARES	14
2.2 CÂMARAS DE DIFUSÃO	15
2.3 TRATAMENTO QUÍMICO E LEITURA DOS TRAÇOS	17
2.4 CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DE ²²² Rn	17
3. ENGENHARIA REVERSA	19
4. COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO	20
4.1 SISTEMA DE COORDENADAS	21
4.2 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO	22
4.3 <i>COMPUTER AIDED DESIGN</i>	24
4.4 <i>COMPUTER AIDED MANUFACTURING</i>	24
5. DESENVOLVIMENTO DAS CÂMARAS	26
5.1 ADAPTAÇÕES	27
5.1.1 Câmara tipo KfK	28
5.1.2 Câmara tipo NRPB/SSI.....	30
5.2 PREPARAÇÕES PARA A FABRICAÇÃO	31
5.3 FABRICAÇÃO	34
5.3.1 Usinagem: Câmaras tipo NRPB/SSI.....	36
5.3.2 Usinagem: Câmaras tipo KfK	39
5.4 FINALIZAÇÕES	40
5.4.1 Finalização do componente revestimento interno	43
6. CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS	47
APÊNDICE A – Desenhos técnicos dos produtos	48
APÊNDICE B – Fotos dos produtos finais	54

1. INTRODUÇÃO

O radônio (^{222}Rn) é um gás proveniente do decaimento do urânio, que por sua vez, provém do decaimento do rádio (^{226}Ra). Não estabelece ligações, motivo pelo qual é considerado um gás nobre. Por ser um gás, se difunde por materiais de construção, solo, água, entre outros. É incolor, inodoro e insípido, sendo assim praticamente imperceptível aos seres humanos. Ao ser inalado existe a possibilidade de se tornar um causador potencial do câncer de pulmão (CORRÊA, 2011). A inalação da fumaça proveniente de tabaco, a longo prazo, é uma das causas mais comuns deste tipo de câncer. Não fumantes correspondem a 15% dos casos de câncer de pulmão; esses casos são atribuídos a fatores que incluem a alta taxa de inalação do gás radônio (CORRÊA, 2011). Em construções situadas em locais com alta taxa de exalação deste gás do solo, pode apresentar sérios riscos à saúde dos frequentadores do local.

Baseado em estudos realizados por pesquisadores com a mesma linha de estudo indireta deste trabalho, física nuclear, o projeto de iniciação científica (IC) de Lopes et al. (2014) teve como objetivo investigar os níveis de concentração de ^{222}Rn em ambientes fechados, utilizando câmaras de difusão e detectores de traços nucleares.

1.1 JUSTIFICATIVA

Em ambientes fechados e pouco ventilados, assim como em residências, a concentração de ^{222}Rn chega a ser até vinte vezes maior quando comparada a concentração desse gás em ambientes abertos à atmosfera (CORRÊA, 2011), desta forma, ambientes fechados e com pouca ventilação são dignos de atenção especial. Levando em consideração o bem estar e a saúde dos seres humanos, que pode ser afetada pela inalação a longo prazo de pequenas quantidades de ^{222}Rn , torna-se importante um estudo aplicado ao assunto.

Os moldes utilizados no processo de injeção plástica para a fabricação das câmaras de difusão utilizadas no projeto de IC de Lopes et al. (2014) não se encontram mais disponíveis no mercado. Desta forma torna-se interessante o desenvolvimento da

construção de uma segunda opção, possível de ser realizada, no caso, a usinagem. O custo de novos moldes para injeção plástica é muito alto, sendo apenas viável, em caso de um grande lote de produção de novas câmaras.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Aplicar engenharia reversa para o desenvolvimento de câmaras de difusão dos tipos KfK e NRPB/SSI.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Detalhar o que é uma câmara de difusão;
- Apresentar a utilidade das câmaras utilizadas por Lopes et al. (2014);
- Aplicar conceitos de engenharia reversa nas câmaras de difusão;
- Realizar a fabricação das câmaras por processo de usinagem;
- Apresentar os resultados obtidos com o desenvolvimento do projeto das câmaras.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo dois as câmaras de difusão, que foram o foco principal desta conclusão de curso, serão detalhadas. No capítulo três serão apresentadas as

características e aplicações da engenharia reversa. No quarto capítulo é apresentado o comando numérico computadorizado. O quinto capítulo todo o projeto de fabricação das câmaras, partindo dos levantamentos de dados, aplicação da engenharia reversa, aplicação de possíveis mudanças entre as câmaras originais e a construção realizada com a fabricação por processo de usinagem, será apresentado. Finalizando no capítulo seis as conclusões e considerações finais do trabalho.

2. RADIOATIVIDADE NATURAL E O GÁS RADÔNIO

Elementos naturalmente radioativos compõem a crosta terrestre, sendo assim, os seres vivos estão constantemente expostos à radiações naturais. Na estrutura da Terra existem elementos como urânio, tório, entre outros, que são encontrados no solo, na água e nas rochas. O ^{222}Rn , por ser um gás e por ter meia-vida de 3,8 dias, se difunde da crosta por entre fissuras e trincas até alcançar a superfície terrestre (FIOR, 2008).

A exposição humana à radiações naturais pode causar mutações no organismo que, algumas vezes, podem se tornar cancerosas. Estes materiais geralmente contêm elementos radioativos que, assim como o ^{222}Rn , difundem-se à atmosfera. A partir dessas informações conclui-se que ambientes fechados e com pouca ventilação tendem a se tornar fonte de convergência estacionária do referido gás (CORRÊA, 2011).

O material genético é ionizado por produtos radioativos do decaimento, causando mutações que, algumas vezes, podem se tornar cancerosas. A exposição ao radônio, depois do tabagismo, é a segunda maior causa de câncer de pulmão na população, com uma elevação de 8-16% no risco para cada aumento de 100 [Bq/m³] na concentração de radônio. Os níveis de gás radônio variam de acordo com a localidade e com a composição do solo e das rochas (CÂNCER DE PULMÃO - REDE SAÚDE, 2014).

2.1 DETECTORES DE TRAÇOS NUCLEARES

O detector de traços nucleares de estado sólido (SSNTD¹) do tipo CR-39 (*Columbia Resin 1939*) é um dos equipamentos utilizados para quantificar a concentração de ^{222}Rn . Corresponde a um polímero plástico com estrutura química $\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{O}_7$ (*Carbonato Diglicol Alílico*). É amorfo e por isso, torna-se possível a visualização de traços regulares em sua superfície.

¹ *Solid State Nuclear Track Detector*

Devido ao fato de possuir baixo custo comercial e também pela sua eficiência em relação a outros detectores disponíveis no mercado, o CR-39 é bastante utilizado. A Figura 1 apresenta uma fotografia desse tipo de detector.

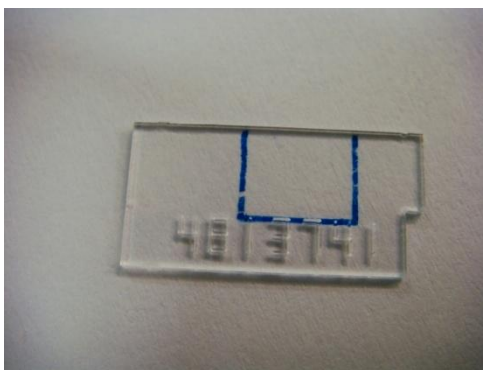


Figura 1 - Exemplo de um detector do tipo CR-39
Fonte: Lopes et al. (2014).

Geralmente detectores desta espécie são fixados no interior de câmaras de difusão nuclear, que são expostas em locais pré-determinados. A câmara tem dois principais objetivos: a proteção do detector, bloqueando radiações indesejadas, e a homogeneização dos traços².

2.2 CÂMARAS DE DIFUSÃO

Existem vários tipos de câmaras de difusão na literatura. Duas extensivamente utilizadas são as do tipo KfK e NRPB/SSI (figura 2). Como exemplo de trabalho que fez uso desses dois modelos de câmaras em questão apresenta-se a tese de doutorado em ciências (Avaliação dos níveis de concentração de radônio em ambientes e águas de poços no estado do Paraná), de Janine Nicolosi. Outro exemplo é a própria IC de Lopes et al (2014).

Em conjunto com as diferenças a respeito entre comparações dos dois modelos de câmaras, é válido ressaltar que o objetivo final dos modelos é o mesmo. A função de

² Define-se como “traço”, círculos possíveis de serem vistos a partir do uso de microscópio óptico. Os traços têm coloração escura que se destaca no detector quando visualizado.

se utilizar dois modelos distintos baseia-se em comparar resultados finais avaliando assim a eficiência dos modelos.

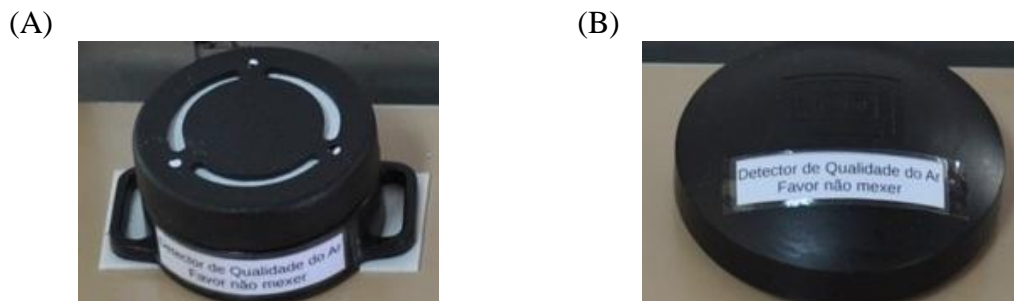


Figura 2 - Câmaras de difusão (a) tipo KfK e (b) tipo NRPB/SSI
Fonte: Lopes et al. (2014).

Os dois modelos de câmaras possuem características próprias apesar de seguirem basicamente os mesmos princípios. A principal diferença entre esses dois tipos de câmaras é o fato de que a câmara do tipo KfK possui aberturas e é utilizada juntamente com um filtro³ que limita a entrada de aerossóis e protege o detector em seu interior. A câmara do tipo NRPB/SSI não possui abertura, como consequência dispensa o uso de filtros (figura 2B). Apesar de não possuir abertura, o ^{222}Rn penetra no interior da NRPB/SSI difundindo-se através de frestas, que correspondem a vedação não perfeita de encaixe entre base/tampa. Outra característica que difere os dois tipos de câmaras é a superfície onde se fixa o detector: no caso da câmara do tipo KfK o detector é fixo na parte superior junto ao filtro e a tampa, já na câmara do tipo NRPB/SSI é fixo na parte inferior junto a base (figura 3).

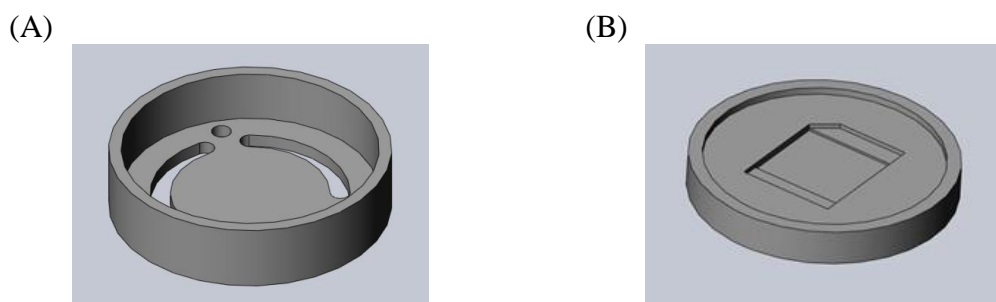


Figura 3 - Superfície de fixação dos detectores: (A) Tampa da câmara do tipo KfK; (B) Base da câmara do tipo NRPB/SSI
Fonte: Autoria própria.

³ O filtro geralmente utilizado é de fibra de vidro, material que se apresenta resistente a variações de condições ambientais sem impossibilitar a passagem do ^{222}Rn .

2.3 TRATAMENTO QUÍMICO E LEITURA DOS TRAÇOS

O ^{222}Rn tem a capacidade de se desintegrar gerando outros isótopos e liberando partículas alfa. Estas partículas tem a capacidade de penetrar a superfície dos detectores nucleares causando modificações na estrutura do material. As modificações, denominadas cientificamente de traços, podem se tornar visíveis, depois de ser realizado um tratamento químico de corrosão nos detectores. A visualização dos traços pode ser feita, utilizando um microscópio óptico.

O tempo de duração do tratamento químico deve ser compatível à concentração da solução química utilizada. No caso do tempo de duração superior ao necessário, o tratamento pode danificar a superfície do detector.

2.4 CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DE ^{222}Rn

Para calcular o nível da concentração de ^{222}Rn utiliza-se a equação (1):

$$C_{Rn} = \frac{\rho}{KT} \quad (1)$$

Sendo:

C_{Rn} é a concentração de ^{222}Rn [Bq/m^3];

ρ é a densidade de traços [traços/ cm^2];

K equivale a constante de calibração [$\text{d}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{traços} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{m}^3$];

T é o período de exposição [horas].

Todo o cálculo da concentração, incluindo a equação e seus componentes, assim como, os parâmetros do tratamento químico, os tipos de câmaras utilizadas e tipo

do detector nuclear são conhecidos tendo sido extensivamente utilizados em pesquisas na literatura (PAULO, 1991).

3. ENGENHARIA REVERSA

A aplicação da engenharia reversa pode ser resumida como o aprimoramento de conceitos estratégicos novos a partir da desconstrução de modelos ou soluções prontas. Esta prática implica em considerar como processo a análise de um produto, compreendendo os detalhes de seu funcionamento com o objetivo de reconstrução (BRAGA, 1998). Cabe a todo processo obedecer às funções originais do produto, de maneira que a reconstrução não seja uma cópia fiel ao modelo original.

Esta introdução resume exatamente o objetivo geral apresentado neste trabalho. A partir de modelos prontos, um novo projeto foi desenvolvido com o uso da desmontagem e compreensão detalhada a respeito das funções originais das câmaras de difusão. O projeto de reconstrução correspondeu às limitações decorrentes do processo de fabricação e das ferramentas disponíveis.

4. COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO

O comando numérico computadorizado (CNC) é um sistema de controle capaz de garantir que uma sequência de operações seja realizada como planejada. O CNC é o resultado da automação aplicado à produção realizada a partir de um sistema de controle capaz de repetir comandos bem definidos, com alta precisão e um tempo reduzido, permitindo assim a produção em massa de produtos com qualidade uniforme. Algumas importantes características do CNC são (MACHADO, 1978):

- Grandes velocidades de deslocamento;
- Redução de atrito;
- Rigidez estática e dinâmica;
- Posicionamento e forma adequada de barramento;
- Local para colocação de esteira de cavacos;
- Troca automática de ferramentas;
- Sistema de medição de ferramentas;
- Sistemas de referência;
- Motores de acionamento.

Para a movimentação e posicionamento das ferramentas, o CNC necessita de alguns pontos de referências. São três os pontos principais utilizados pelo CNC: Zero máquina; Zero peça; e Zero ferramenta (figura 4).

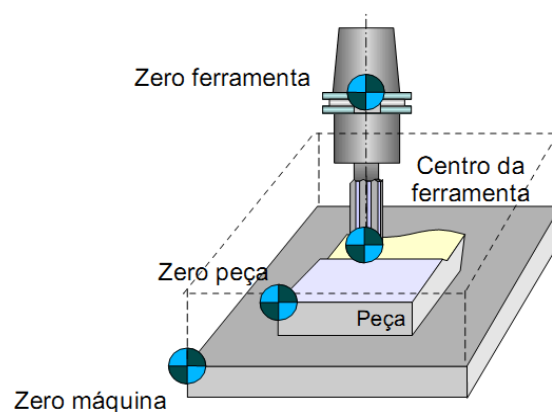


Figura 4 – Demonstração dos pontos de referência
Fonte: Takano (2012).

O zero máquina é a origem da máquina, determinada pelo fabricante do equipamento. É uma referência de extrema importância, pois é a partir dela que o controlador identifica a posição do zero peça. O zero peça é a origem determinada pelo programador, e serve de referência para a movimentação do centro da ferramenta. Por fim, o zero ferramenta é a origem da ferramenta definida pelo fabricante da máquina. Com ela o controlador é capaz de identificar a posição do centro da ferramenta.

O CNC pode ser aplicado a vários tipos de processos de fabricação: Mandriladora; Injetora plástica; Corte laser; Corte plasma; Soldagem; entre outros. No caso da fabricação das câmaras de difusão é utilizado o CNC aplicado a um centro de usinagem, que é uma fresadora com troca de ferramenta automática.

4.1 SISTEMA DE COORDENADAS

O centro de usinagem com CNC trabalha a partir do uso de um sistema de coordenadas de eixos que funciona como sistema de referência da máquina. O objetivo do sistema de coordenadas é fazer com que a máquina possa trabalhar com as posições especificadas. Tais posições utilizam os sentidos de movimentos dos carros (eixos X, Y e Z). As direções positivas dos eixos correspondem à chamada regra da mão direita (figura 5).

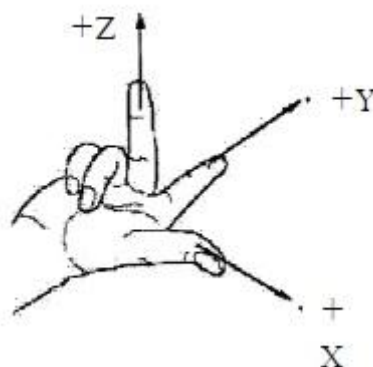


Figura 5 – Regra da mão direita
Fonte: Takano (2012).

Na regra da mão direita os dedos apontam para os sentidos positivos dos eixos imaginários, com o eixo Z paralelo ao eixo árvore. No caso de fresadoras, em comparação com o centro de usinagem com CNC, os movimentos, avanços e penetrações são utilizados nos mesmos sentidos à regra da mão direita (figura 6).

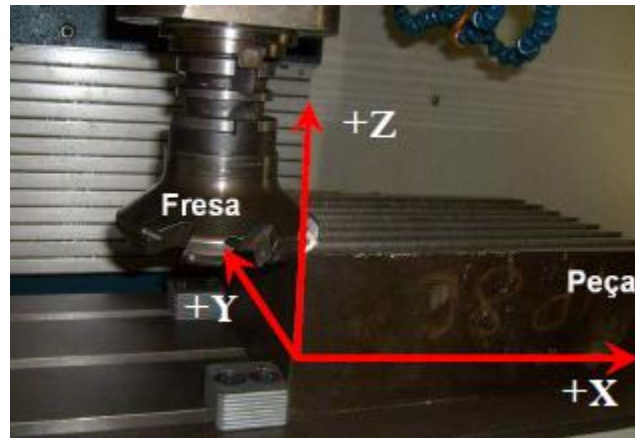


Figura 6 – Sistema de coordenadas para fresadora
Fonte: Takano (2012).

4.2 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO

Conhecido como código G ou linguagem G, oferece a possibilidade dos programas de cada fabricante serem diferentes entre si, mas dentro de um mesmo sistema usados por todos os fabricantes. Dentre as funções básicas e universais incluídas no código G existe a possibilidade dos fabricantes criarem recursos próprios oferecendo assim mais recursos que os demais.

O código G é composto por blocos de dados que consistem em um número sequencial (opcional), funções de comando e código de fim de bloco (EOB⁴) no final.

O bloco de dados tem a seguinte configuração:

N__G__X__Y__;

N__T__;

N__M__;

⁴ End Of Block

Onde:

- N – Número de linha (bloco);
- G – Função preparatória;
- X – Movimento no eixo X;
- Y – Movimento no eixo Y;
- T – Código da ferramenta;
- M – Função miscelânea.

Existem outros caracteres (como os demonstrados acima) que contêm significados para a linguagem de programação, porém, apenas estes foram demonstrados em favor do exemplo de configuração.

O programa CNC é caracterizado por uma sequência de sentenças (bloco de dados) que são memorizadas pelo comando e executadas na usinagem uma após a outra. A figura 7 apresenta um exemplo de uma sequência de comando listadas no *software Denford Fanuc Milling (DFM)*, capaz de simular a usinagem através da linguagem de programação.

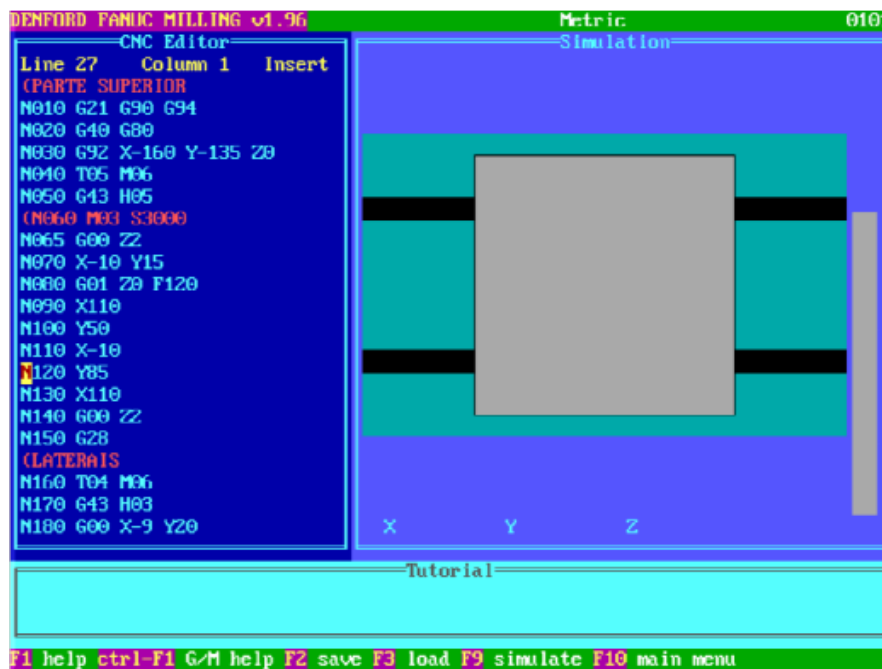


Figura 7 – Linguagem de programação expressa no *software DFM*
 Fonte: Takano (2012).

4.3 *COMPUTER AIDED DESIGN*

O sistema de projeto auxiliado por computador (CAD⁵) é um sistema aplicado na fase de concepção e detalhamento do produto. Este sistema tem a capacidade de gerar arquivos tridimensionais (3D) e bidimensionais (2D). As vantagens da utilização do CAD são:

- Maior agilidade no desenvolvimento e no desenho de fabricação de produtos;
- Diminuição de erros de projeto;
- Maior clareza nos desenhos de fabricação;
- Maior facilidade para alterações nos projetos e seus desenhos.

Alguns exemplos de *softwares* CAD são: *SolidWorks*; *Autocad*; *Solid Edge*; entre outros.

4.4 *COMPUTER AIDED MANUFACTURING*

Pode-se definir o sistema de manufatura auxiliada por computador (CAM⁶) como auxílio via computador da preparação da manufatura. É um sistema capaz de gerar o caminho das ferramentas para a usinagem a partir de modelos tridimensionais ou bidimensionais importados dos sistemas CAD. O sistema CAM uma vez aplicado na fase de manufatura engloba muitas vantagens, como por exemplo:

- Redução de erros de programação;
- Maior produtividade;

⁵ *Computer Aided Design*

⁶ *Computer Aided Manufacturing*

- Recursos gráficos para simulação da usinagem;
- Recursos de estratégias de usinagem;
- Geram a linguagem de programação para a fabricação das peças.

Alguns exemplos de *softwares* CAM são: *EdgeCAM*; *SolidCAM*; *PowerMill*; entre outros.

5. DESENVOLVIMENTO DAS CÂMARAS

Parte da revisão bibliográfica em conjunto com a metodologia descrita até então, têm como objetivo, esclarecer ao leitor o universo de abrangência de uma câmara de difusão, assim como a utilidade da mesma.

Tratando-se de um projeto, com o intuito de reproduzir um produto pronto (as câmaras de difusão já apresentadas), existem pontos a serem seguidos e um conjunto de planejamentos que podem auxiliar o processo.

O projeto teve início com o planejamento de se reproduzir os dois modelos de câmaras (KfK e NRPB/SSI) como peças distintas, em função das diferenças geométricas entre ambas. Uma vez feita tal separação, cada tipo de câmara foi dividida conforme suas próprias características com o intuito de se ramificar o trabalho a seguir. Essa divisão de componentes foi executada da seguinte forma: A câmara do tipo KfK foi dividida em três partes: base; revestimento interno; e tampa (figura 8).

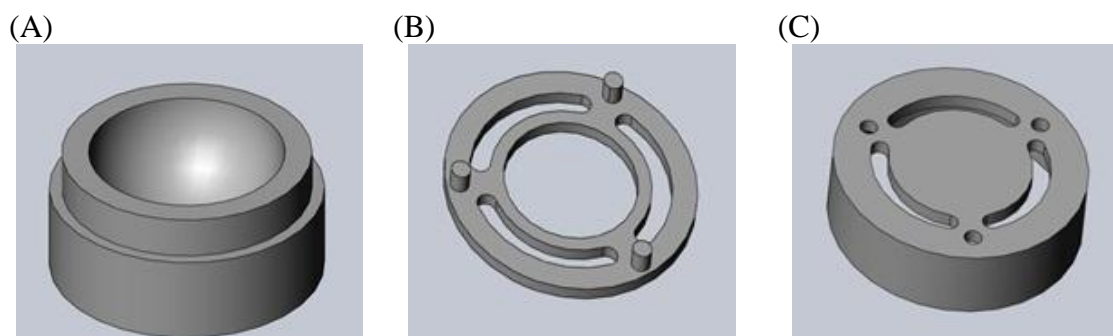


Figura 8 – Câmara do tipo KfK: (A) base; (B) revestimento interno e (C) tampa
Fonte: Autoria própria.

Já o modelo NRPB/SSI foi dividido em apenas duas partes: base; e tampa (figura 9). O número de divisões é correspondente ao número de componentes de encaixe das câmaras.

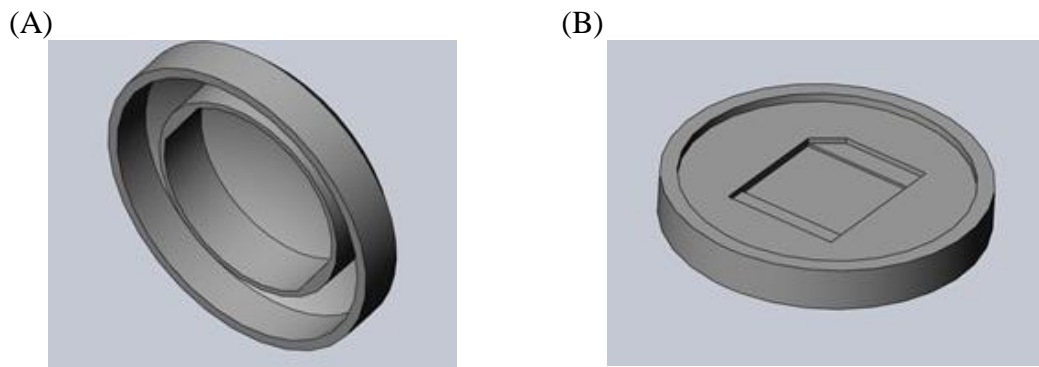


Figura 9 – Câmara do tipo NRPB/SSI: (A) tampa e (B) base

Fonte: Autoria própria.

Analisando então os componentes individuais de cada tipo de câmara, estes foram minuciosamente medidos com o uso de paquímetro da marca *Starrett*, modelo 125 B. Todas as dimensões e geometrias foram registradas inicialmente em rascunhos com o objetivo de se criar desenhos técnicos. Para a realização dos desenhos foi utilizado o *software SolidWorks*, que possibilita a construção individual dos componentes das câmaras, assim como a montagem e simulação de encaixe para cada câmara. Os desenhos técnicos dos componentes das câmaras dos tipos KfK e NRPB/SSI podem ser vistos no apêndice A.

5.1 ADAPTAÇÕES

Todo o projeto de reprodução das câmaras teve início baseado no fato de que estas poderiam ser fabricadas no centro de usinagem com CNC da marca Romi, modelo D600 (figura 10), instalado no Bloco da Mecânica, no laboratório de CNC (H-007) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Cornélio Procópio (UTFPR-CP).



Figura 10 – Imagem do centro de usinagem com CNC
Fonte: Autoria própria.

Porém, após análise criteriosa a respeito da fabricação, chegou-se à conclusão que algumas características geométricas das câmaras não seriam possíveis de ser realizadas no centro de usinagem com CNC, devido às limitações de trabalho da máquina, que são decorrentes das ferramentas disponíveis. Com isso, passou-se a fazer um levantamento geral a respeito de todas essas peculiaridades encontradas em cada componente das câmaras, com o intuito de se distinguir o que era possível ou não de ser alterado.

A possibilidade de mudança foi baseada diretamente no cumprimento do objetivo final de cada câmara, que é armazenar o detector nuclear possibilitando que as partículas alfa provenientes do decaimento do ^{222}Rn cheguem até o detector. A partir dessa análise chegou-se à conclusão que nem todas as dimensões e geometrias de cada componente estavam realmente direcionadas especificamente para a passagem das partículas alfa, sendo que, uma vez alteradas não influenciariam nos resultados finais.

A seguir são apresentadas as dimensões e geometrias que podem ser alteradas em cada componente.

5.1.1 Câmara tipo KfK

- I. **Alças de auxílio de fixação externa** (figura 11): Como a própria denominação induz, o objetivo dessas alças limita-se à instalação da câmara de forma

suspensa, ou seja, sem que a câmara toque qualquer superfície. Desta forma foi concluído que a subtração dessas alças interfere apenas na forma de exposição da câmara, não interferindo na coleta de níveis de radiação;



Figura 11 – Câmera do tipo KfK. O retângulo amarelo demonstra a localização de uma das alças de fixação
Fonte: Lopes et al. (2014).

- II. **Superfície inferior da câmara:** A superfície exterior do componente base da câmara tipo KfK acompanha a geometria interior da peça (figura 12). Como a superfície externa da base não tem como finalidade permitir a entrada do ^{222}Rn , conclui-se que tal geometria se deve apenas ao fato de ela proporcionar uma economia de material. Portanto uma modificação nessa geometria não afetaria o funcionamento do equipamento;
- III. **Encaixe entre base e tampa:** No projeto original da câmara, o encaixe é feito por pressão por meio do uso de uma linha sobressalente encontrada na base (figura 12) que, quando a tampa é forçada sobre a base, se encaixa em um abaulamento encontrado na tampa. O sobressalto é utilizado apenas para fins de fixação da tampa, portanto conclui-se que a alteração do sistema de fixação do conjunto tampa/base não alteraria os princípios físicos da câmara;

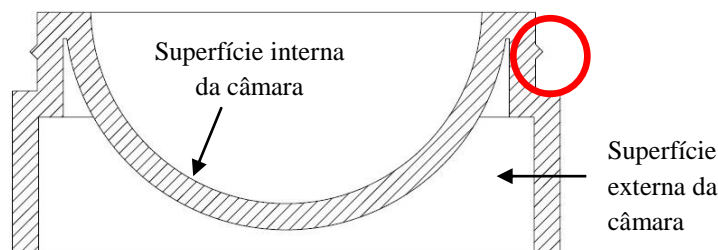


Figura 12 – Vista em corte da câmara tipo KfK. O círculo vermelho demonstra o local da linha sobressalente
Fonte: Autoria própria.

- IV. **Diâmetro dos furos de fixação:** Na câmara original o diâmetro dos furos de fixação encontrados na tampa e revestimento interno é de aproximadamente 1mm (figura 13). Levando em consideração as limitações das ferramentas encontradas no centro de usinagem com CNC, cujo menor diâmetro é de 3mm, para a fabricação da câmara esse diâmetro passou a ter os respectivos 3mm da menor ferramenta disponível.



Figura 13 – Furos de fixação encontrados na câmara do tipo KfK
Fonte: Autoria própria.

5.1.2 Câmara tipo NRPB/SSI

- I. **Alças de auxílio de fixação externa:** De maneira análoga à base do modelo anterior, a base do tipo NRPB/SSI também é composta por alça de encaixe. A principal diferença se resume no fato de que ela contém apenas uma alça (figura 14). Como o componente é utilizado para a fixação da câmara, conclui-se que a sua remoção não afetaria no processo de coleta dos níveis de radônio.



Figura 14 – Câmara do tipo NRPB/SSI. O retângulo em amarelo indica a alça
Fonte: Autoria própria.

- II. **Parte externa da tampa da câmara:** A tampa desta câmara tem o formato curvado tanto na parte interna como na parte externa (figura 15). Como a tampa é completamente fechada na parte externa, acredita-se que a entrada do ^{222}Rn ocorre abundantemente pela folga existente no encaixe tampa/base do conjunto. Por este motivo a alteração na geometria externa da tampa pode não afetar o funcionamento do equipamento.

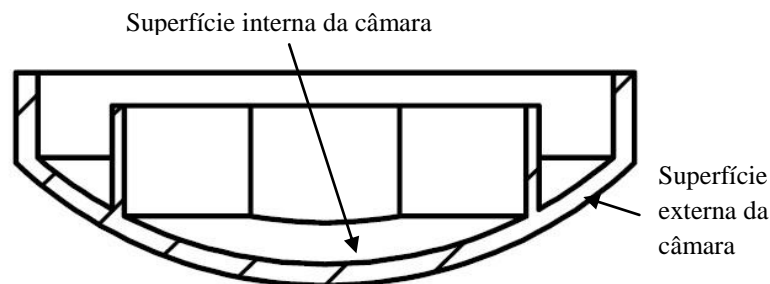


Figura 15 – Vista em corte da tampa da câmara do tipo NRPB/SSI
Fonte: A autoria própria.

Uma vez identificadas todas essas possíveis modificações, elas deram origem a novos desenhos técnicos mais uma vez construídos com o uso do *software SolidWorks* incorporando todos esses detalhes que estão disponíveis no apêndice B.

5.2 PREPARAÇÕES PARA A FABRICAÇÃO

Uma vez projetadas no *SolidWorks*, os modelos são transferidos para um segundo programa, o *Edgecam*. Este último é utilizado para o desenvolvimento da rotina de fabricação dos componentes. O programa possibilita realizar a simulação da usinagem, o que reduz a chance de problemas durante a fabricação. O *Edgecam* realiza ainda a escrita do programa em código G (ou linguagem G) que deve ser inserido no CNC do centro de usinagem.

No *Edgecam* é necessário informar os parâmetros de corte, as dimensões e geometria da matéria prima, as ferramentas que serão utilizadas e toda a rotina de fabricação. Com base nos dados fornecidos pelo operador o *software* calcula toda a trajetória das ferramentas para a fabricação dos componentes. Com todos os dados

fornecidos e a trajetória calculada e devidamente simulada, o programa em código G é gerado pelo *software*. O programa em código G contendo todos esses dados é transferido, por meio de um cartão de memória *Personal Computer Memory Card International Association (PCMCIA)*, direto para o CNC do centro de usinagem.

Com a geometria e as dimensões da matéria prima definidas, pode-se iniciar a fabricação da peça. Por se tratarem de peças de geometria circular, foi utilizado uma barra cilíndrica como matéria prima. O comprimento da barra foi ajustado utilizando uma serra fita da marca FRANHO, modelo FM-335 (figura 16).



Figura 16 – Serra fita FRANHO FM-335
Fonte: Autoria própria.

Para garantir a precisão da usinagem no centro de usinagem com CNC, antes de ser posicionado na máquina, o tarugo foi faceado em um torno mecânico da marca NARDINI, modelo MS205 (figura 17). Com isso garante-se a perpendicularidade entre a face da peça e o seu eixo.



Figura 17 – Torno mecânico NARDINI MS205
Fonte: Autoria própria.

A peça foi posicionada no centro de usinagem com CNC com o auxílio de uma morsa. Após isso foi necessário definir a posição do zero peça, para que o equipamento “saiba” a posição da peça na mesa de trabalho. Esse processo se inicia pelo eixo Z, utilizando, para o procedimento, o sistema de controle manual de distâncias (*Remote Panel*) (figura 18A). Inicialmente foi posicionada uma folha de papel sobre a matéria prima presa à morsa. Com o uso do controle manual, a ferramenta de corte foi aproximada do tarugo até levemente encostar-se à folha de papel. Feito isso, a posição atual da ponta da ferramenta foi configurada como sendo a posição do eixo Z do zero peça no painel de controle da máquina (figura 18B).

(A)



(B)



Figura 18 – Sistemas de comando do CNC: (A) *Remote panel*; (B) Painel de controle
Fonte: Autoria própria.

Em peças cilíndricas é recomendado utilizar a posição do zero peça no centro da sua circunferência. Como a identificação da posição exata do centro da circunferência da matéria prima é muito difícil de ser realizada, a definição da posição do zero peça para os eixos X e Y é realizado fazendo a média entre as distâncias laterais. De maneira análoga à calibração da posição do eixo Z do zero peça, utiliza-se o controle manual para aproximar a ferramenta de corte da matéria prima, porém na parte lateral. Iniciando pelo eixo X, a ferramenta foi aproximada ao tarugo por uma das laterais aproximadamente no meio da peça. Assim que a ferramenta tocou a folha de papel que se encontrava sobre ela, o valor referente à coordenada X apresentado no painel foi registrado. Sem variar a posição da ferramenta no eixo Y, a ferramenta foi direcionada ao lado oposto da peça. Novamente a ferramenta foi levada a tocar a folha de papel e esta nova coordenada também foi registrada. Foi feita então a média entre esses dois registros. O valor da primeira coordenada foi somado ao segundo valor e divide-se o resultado por dois, o valor encontrado foi o zero peça para o eixo X. Com o eixo Y o processo foi bastante parecido, porém a aproximação da ferramenta foi realizada na parte de trás e na parte da frente da matéria prima.

5.3 FABRICAÇÃO

Baseado no estudo de trabalho de outros pesquisadores somado às pesquisas realizadas é sabido que o plástico utilizado para a fabricação das câmaras originais é uma espécie de plástico condutor. Não sabendo exatamente o que essa propriedade de conduzir eletricidade pode influenciar na passagem de partículas alfa proveniente do decaimento do ^{222}Rn , optou-se por testar outros polímeros como material para a construção das câmaras.

A primeira tentativa de se usinar um dos componentes de câmaras foi testada com a base da câmara do tipo NRPB/SSI. O material escolhido para a fabricação foi o *Technyl PSA*. O CNC foi preparado, assim como toda a linguagem G contendo a calibração de dimensão do tarugo e os parâmetros de corte. Os parâmetros de corte utilizados foram:

- Rotação para o desbaste: 1500 [RPM];
- Velocidade de avanço para o desbaste: 500 [mm/min];
- Profundidade de corte: 1 [mm];
- Sobre metal para acabamento: 0,1 [mm];
- Rotação para o acabamento: 2000 [RPM];
- Velocidade de avanço para o acabamento: 100 [mm/min].
- Rotação sentido horário.

A usinagem foi feita conforme as especificações, porém o *Technyl PSA* não resistiu à temperatura de trabalho a que foi submetido, sendo assim, o acabamento não ficou bom, sendo concluído que não é possível trabalhar com esse material.

Considerando o fato de que o *Technyl PSA* correspondeu de maneira negativa, optou-se por outro polímero, um material menos dúctil, capaz de resistir melhor aos esforços submetidos pelas ferramentas de corte, além de resistir a temperaturas elevadas (temperatura de trabalho do CNC) sem deformar-se. Desta maneira foi selecionado o poliacetal como material para ser usinado.

A segunda tentativa de se usinar uma componente de câmara utilizou então este material. Assim como na primeira tentativa, todos os pré-requisitos para o início da usinagem foram seguidos, diferenciando-se apenas em alguns pontos: tampa da câmara do tipo NRPB/SSI (componente de câmara selecionada); linguagem G (que varia entre todos os diferentes componentes); tamanho da matéria prima e parâmetros de corte. (esses mesmos parâmetros foram utilizados para as próximas fabricações descritas a seguir).

- Rotação para o desbaste: 1000 [RPM];
- Velocidade de avanço para o desbaste: 150 [mm/min];
- Profundidade de corte: 1[mm];
- Sobre metal para acabamento: 0,2 [mm];
- Rotação para o acabamento: 1500 [RPM];
- Velocidade de avanço para o acabamento: 50 [mm/min];
- Rotação sentido anti-horário.

Pode-se observar que foi selecionada rotação sentido anti-horário. Infelizmente, esse foi um erro cometido no momento de se definir os parâmetros no *software Edgecam*. A rotação no sentido anti-horário implica em girar a ferramenta de corte no sentido contrário a que deveria girar. Por sorte nenhuma ferramenta quebrou. Esse erro resultou em um péssimo acabamento superficial da peça, contudo, foi possível observar a diferença na melhoria do poliacetal comparado ao *Technyl PSA*, com relação à resistência à temperatura de trabalho. Apesar do erro ocorrido com a rotação da máquina, foi concluído com esse teste que o poliacetal é um material possível de ser utilizado para este trabalho.

Esses dois testes realizados serviram de maneira indireta para que se pudesse adquirir experiência. Tanto na parte do uso do CNC quanto a respeito das geometrias dos componentes de peças e também do desenvolvimento da linguagem G no programa *Edgecam*.

A fixação entre os componentes requer bastante atenção. Um método utilizado para garantir os encaixes, principalmente entre base/tampa, é determinar a sequência de usinagem dos componentes. Considerando que a superfície externa da base deve ser encaixada na superfície interna da tampa, foi adotado o critério de se usinar primeiramente tais superfícies de encaixe, ou seja, no caso da base a primeira superfície a ser usinada foi a superfície externa e na tampa foi iniciada na superfície interna.

O motivo por se dar prioridade de sequência a uma determinada superfície é pelo fato que a dimensão da espessura da parede dos componentes é diretamente proporcional à garantia de trabalho. Ou seja, quanto menor a espessura da parede a probabilidade da matéria prima se deformar durante a usinagem é maior. Com isso, as prioridades de desgaste eram sequenciadas.

5.3.1 Usinagem: Câmaras tipo NRPB/SSI

Tampa

Utilizando a experiência adquirida com a realização dos testes e seguindo criteriosamente as etapas até então citadas para o início de usinagem, passou-se às fabricações. A primeira peça a ser fabricada foi a tampa da câmara do tipo NRPB/SSI.

Apesar desta construção não ser mais considerada um teste, as melhorias tendem a aparecer conforme adquire-se experiência. Algo muito importante que acarretou valor como experiência, neste caso, foi o meio de fixação do tarugo no CNC. Para tanto, conforme foi explicado na etapa de testes, usava-se uma morsa para a fixação do tarugo no interior do CNC (figura 19). Porém, especificamente nesta usinagem, que teve uma duração total de 06h33min, a matéria prima teve um pequeno movimento por entre a morsa (figura 19B). Isto ocasionou erros geométricos e dimensionais da peça final e também resultou em um acabamento superficial de baixa qualidade. Com isso concluiu-se que o uso da morsa como sistema de fixação deveria ser substituído.

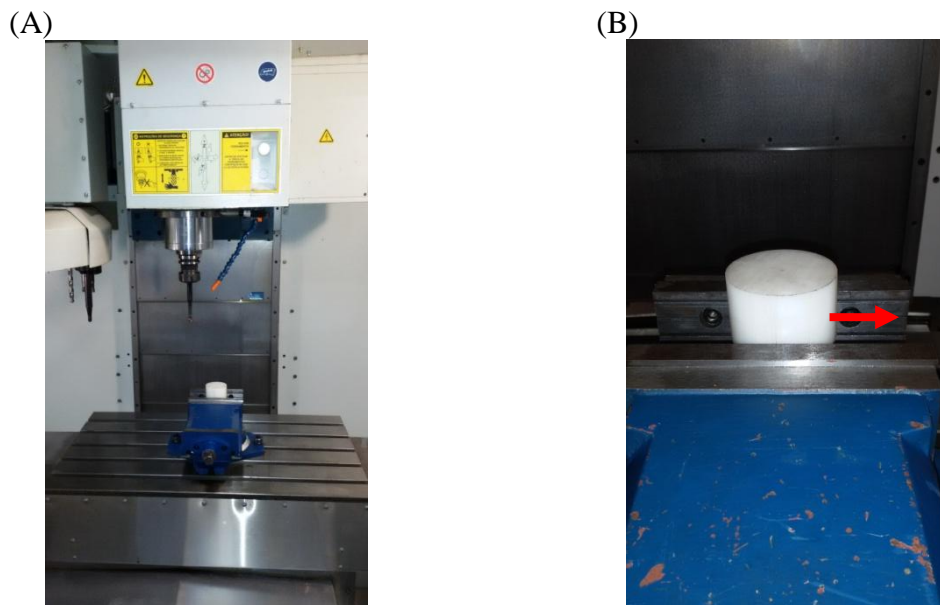


Figura 19 – Sistema de fixação por morsa: (A) Interior do CNC; (B) Sentido do deslocamento da peça durante o processo de usinagem da tampa da câmara do tipo NRPB/SSI

Fonte: Autoria própria.

Como se pode observar pelas imagens da figura 19, o sistema de fixação por morsa possibilita prender o tarugo por entre superfícies paralelas, tocando apenas dois pontos da peça. Desta forma, existe a possibilidade de que a peça se mova paralelamente às superfícies (paralelo ao eixo X). Essa possibilidade de movimento é devido ao fato de que, no caso do poliacetal, a morsa não pode ser apertada da mesma maneira que seria com o uso de uma peça de aço, por exemplo. Pela característica de ductilidade do poliacetal, a força empregada na morsa tende a deformá-lo.

Base

Uma vez usinada a tampa da câmara do tipo NRPB/SSI, o próximo passo foi usinar a base para este componente. Novamente todos os procedimentos de preparação foram realizados, assim como também foram realizados em todos os seguintes componentes.

A principal diferença na usinagem da base da câmara do tipo NRPB/SSI foi o sistema de fixação utilizado. Devido às falhas ocorridas com o uso da morsa, passou-se a utilizar um sistema que tem a capacidade de tocar e prender a matéria prima não mais em dois pontos distintos, mais sim, em três (figura 20).

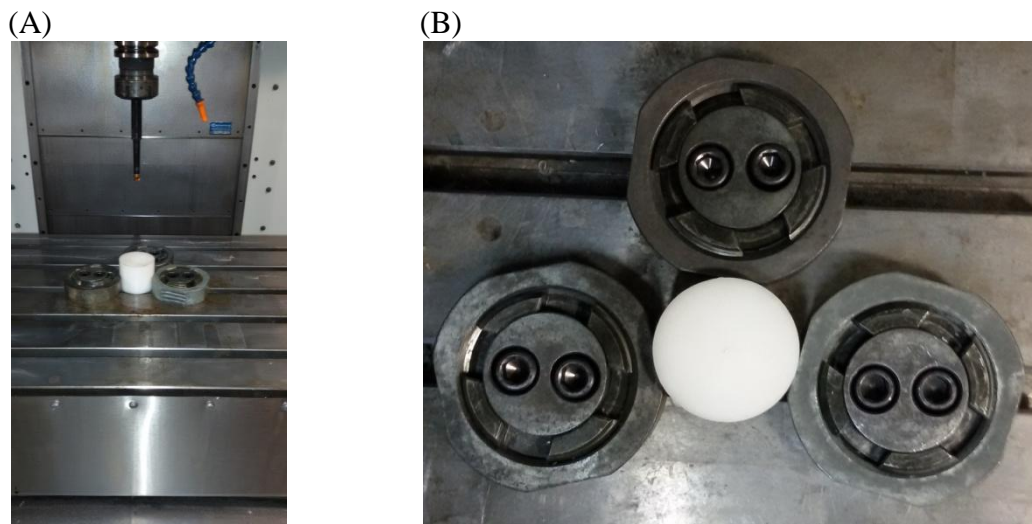


Figura 20 – Sistema de fixação controlado por guias: (A) Interior do CNC; (B) Detalhe do sistema de fixação
Fonte: Autoria própria.

Como é possível verificar na figura 20, a base interna do CNC é composta por guias que servem de apoio para o sistema de fixação. Conforme a figura mostra a configuração utilizada é composta de três guias posicionadas formando um ângulo de 120° entre elas. A usinagem deste componente teve duração de 01h40min e apresentou um pequeno detalhe devido a uma falha de calibração do comprimento da ferramenta. A última ferramenta a ser utilizada para realizar o processo de acabamento na peça estava com um erro de aproximadamente 0,2 [mm] na calibração do seu comprimento. Isso resultou na formação de um pequeno “degrau” na superfície da peça.

5.3.2 Usinagem: Câmaras tipo KfK

Tampa

Adotando o mesmo sistema de fixação do componente anterior a matéria prima foi fixada na mesa do centro de usinagem com CNC. A ferramenta que apresentava um erro de calibração foi recalibrada antes da usinagem. O trabalho de usinagem durou aproximadamente 01h30min e a usinagem não apresentou erros. A recalibração se mostrou positiva com a conclusão deste componente.

Base

A maior preocupação com esta base, assim como com a base do outro modelo, é a questão do encaixe. Para que a base se encaixe perfeitamente na tampa faz-se necessário que a usinagem corresponda perfeitamente a todos os parâmetros previamente determinados. O trabalho de usinagem teve duração aproximadamente de 01h40min.

Revestimento interno

As dimensões desse componente (diâmetro: 37 [mm], espessura: 4 [mm]), implicam em uma usinagem um pouco mais delicada. Além das proporções geométricas serem menores em comparação aos outros componentes, o revestimento interno é composto por três pinos de fixação que devem ser encaixados nos furos da tampa. Esses pinos tem 3 [mm] de diâmetro e 2 [mm] de altura e para conseguir usinar essas medidas é necessário muita precisão uma vez que qualquer erro resultaria em problemas na montagem do componente.

Durante a usinagem, após aproximadamente 40 minutos do início, o CNC selecionou uma ferramenta não existente no conjunto e passou a usinar sem ferramenta. Com isso, o programa foi parado. A falha ocorreu pelo fato que a ferramenta estava identificada na posição errada do *magazine*, assim, ajustou-se tal identificação, apagou-se a parte que já havia sido usinada do código e o trabalho prosseguiu.

Apesar do imprevisto ocorrido durante a usinagem, este não influenciou no trabalho final. A partir de análise visual e testes de montagem foi possível concluir que a usinagem correspondeu exatamente aos parâmetros pré-estabelecidos. O tempo total de usinagem, incluindo o percalço da ferramenta ocorreu em aproximadamente 02h20min.

5.4 FINALIZAÇÕES

Ao término do processo dos componentes das câmaras no centro de usinagem com CNC (NRPB/SSI: base; tampa. KfK: base, tampa e revestimento interno), estes foram submetidos a uma criteriosa avaliação visual. Tal avaliação serviu como referência para as melhorias no processo descritas na seção 4.3.

Uma vez aprovado, o componente de câmara é direcionado à continuação de sua fabricação, ou seja, ao término do processo de usinagem no centro de usinagem com CNC as peças apresentam uma grande quantidade de rebarbas (figura 21) e principalmente sobra de material.



Figura 21 – Componente tampa contendo rebarbas
Fonte: Autoria própria.

A sobra de material se deve principalmente ao fato do tamanho da matéria prima ser sempre maior que a peça final, uma vez que parte da matéria prima é usada para a fixação na mesa do centro de usinagem com CNC. A superfície abaixo da linha amarela (figura 22) é utilizada exclusivamente para a fixação da matéria prima na mesa

do centro de usinagem, não sendo possível realizar qualquer processo de usinagem na região.

Outro fator que influencia na sobra de material é a imprecisão do processo de separação da região utilizada para fixação da peça da matéria prima. Cada componente foi usinado 5 [mm] maior no sentido do seu eixo para que houvesse uma tolerância maior no processo de separação da peça (entre as linhas vermelha e amarela).

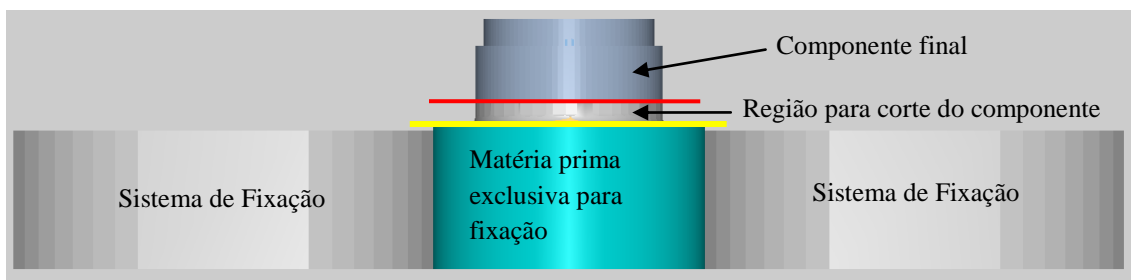


Figura 22 – Exemplos de rebarbas e sobras de material
Fonte: Autoria própria.

Toda a retirada de sobra de material é feita em etapas distintas. Inicialmente o componente de câmara é preso a uma morsa fixa a uma mesa para que toda a parte de matéria prima utilizada para a fixação na mesa do centro de usinagem com CNC seja removida (ver figura 23).

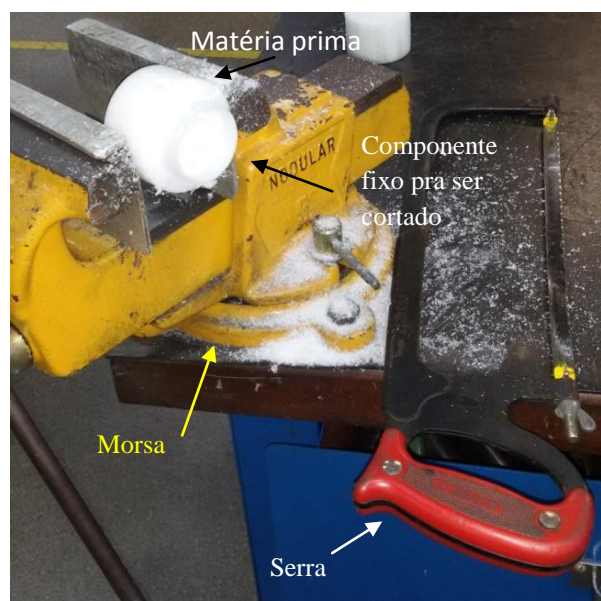


Figura 23 – Morsa fixa a mesa usada como suporte para a serra
Fonte: Autoria própria.

A face da matéria prima a qual é serrada apresenta várias imperfeições devido às diferenças de angulações empregadas na serra. Para corrigir tais imperfeições é necessário que se faça o faceamento do material com o uso do torno mecânico. No faceamento a matéria prima é presa à castanha do torno com o lado a ser faceado direcionado à ferramenta de corte (figura 24). A ferramenta é presa ao torno e aferida utilizando o componente guia do mecanismo. A princípio faz-se um breve desbaste para uma maior retirada de material reduzindo rapidamente as imperfeições. Logo na sequência, a velocidade de rotação do torno é aumentada para que seja feito o acabamento da superfície. As rotações utilizadas para desbaste e faceamento foram 1250 e 2500 [RPM], respectivamente.

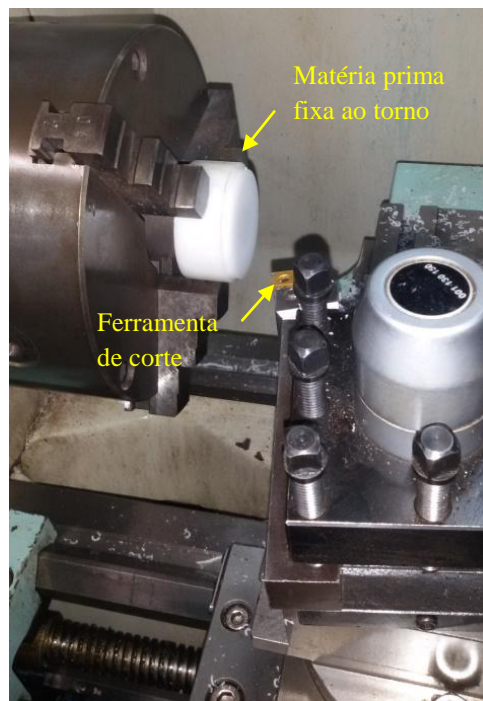


Figura 24 – Matéria prima fixa ao torno mecânico
Fonte: Autoria própria.

Feito o desbaste e o faceamento, chega-se no último estágio da finalização. Este estágio corresponde à retirada de rebarbas. Foram utilizadas três ferramentas distintas para tanto: lixas manuais, lima e uma ferramenta voltada especificamente para esta função, conhecida como rebarbador. Realizados todos os estágios de finalizações, em cada um dos cinco componentes, estes se encontram finalizados e prontos para serem apresentados.

A figura 25 apresenta a diferença visual de um componente antes e depois das finalizações, ou seja, ao deixar o centro de usinagem com CNC e ao término da finalização.

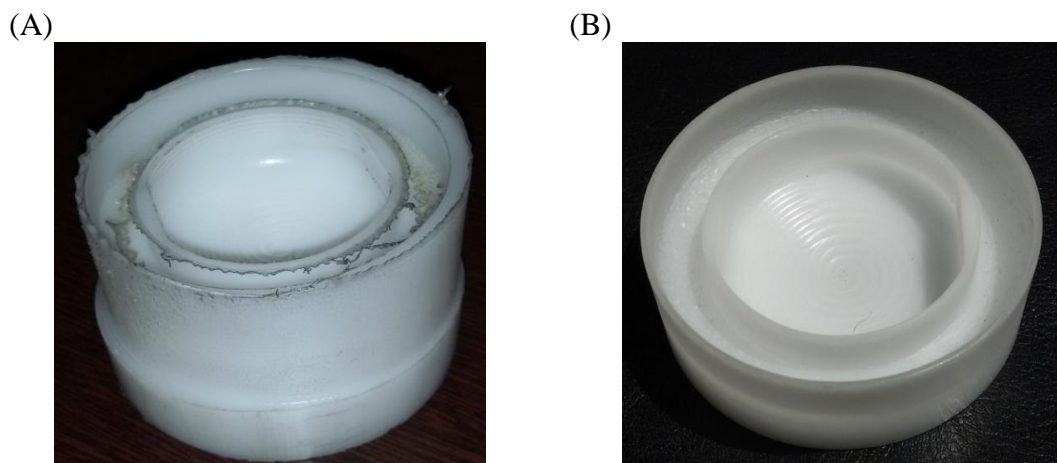


Figura 25 – Diferença visual entre o componente antes e depois das finalizações: (A) Ao deixar o centro de usinagem com CNC; (B) Após as finalizações
Fonte: Autoria própria.

5.4.1 Finalização do componente revestimento interno

Devido ao fato de que as dimensões do componente denominado como revestimento interno (espessura: 4 [mm]; diâmetro: 37 [mm]) da câmara do tipo KfK, são bem menores em relação aos outros quatro, este passou por algumas etapas diferentes de finalizações. Enquanto os outros componentes foram serrados à mão, desbastados e faceados no torno mecânico, este componente em questão, não dispõe das mesmas possibilidades. Caso o componente fosse serrado à mão, não seria possível prendê-lo à castanha do torno devido à sua espessura e fragilidade. A decisão de início para as finalizações tomou então o rumo de se usar o bedame⁷ com o objetivo de cortar o componente com seus 4 [mm] de espessura (2 [mm] de base e 2 [mm] de comprimento dos pinos fixadores).

Sendo a primeira vez que o trabalho faria o uso do bedame, seu resultado era até então desconhecido. Para tanto, antes da utilização dessa ferramenta de corte no

⁷ Ferramenta de corte fabricada em aço rápido ou, aço rápido com cobalto temperada, que permite afiação para as mais variadas aplicações.

revestimento interno, foi realizado um teste para conhecer como a ferramenta se comportaria ao cortar a matéria prima de construção, o poliacetal. Neste teste, a matéria prima foi presa à castanha do torno e, com o uso do bedame, foi cortado exatos 2 [mm] de material (medida a ser cortada no revestimento interno descontando os pinos de fixação). O corte foi realizado com sucesso (figura 26).

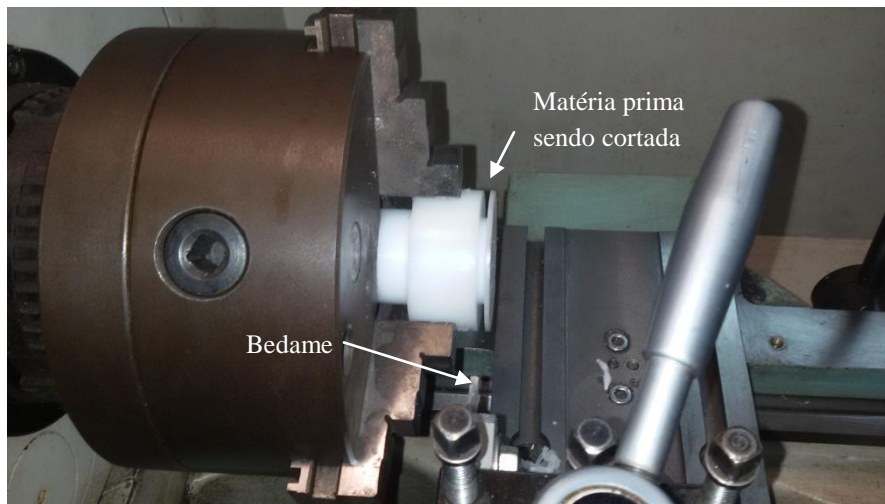


Figura 26 – Poliacetal sendo cortado com bedame
Fonte: Autoria própria.

Uma vez obtido êxito com o teste, o mesmo procedimento foi realizado com o revestimento. De maneira análoga o conjunto de poliacetal contendo o pequeno revestimento usinado em sua extremidade foi preso à castanha do torno (figura 27). O bedame utilizado foi de 3,2 [mm] de espessura, sendo assim, no momento de se aferir a profundidade do corte desejado, é necessário descontar o valor da espessura da ferramenta bedame para a medição dos 2 [mm] desejados para o corte do revestimento interno. Após a realização do corte, o revestimento interno ficou parcialmente envolto por rebarbas, porém, apesar de conter uma grande diferença em dimensões comparadas aos outros componentes das câmaras, o processo de remoção de rebarbas pôde acompanhar o mesmo processo.

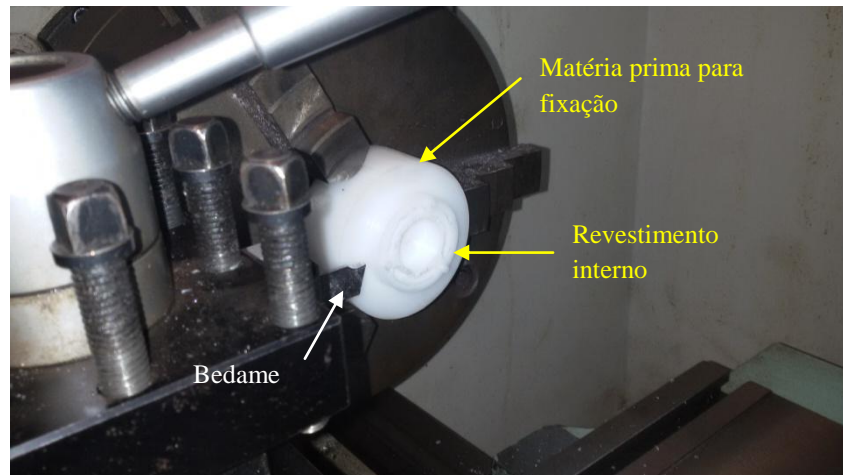


Figura 27 – Revestimento interno preparado para ser cortado com o uso de bedame
Fonte: Autoria própria.

Os cinco componentes das câmaras desenvolvidos a partir de engenharia reversa, e fabricados pelo processo de usinagem, depois de finalizados, são apresentados nas figuras no apêndice B.

6. CONCLUSÃO

Os estudos necessários para a realização deste trabalho foram muito satisfatórios, pois proporcionaram ganho de conhecimento e prática sobre os assuntos abordados.

Toda a pesquisa que se fez necessária a respeito do gás ^{222}Rn em conjunto a seu universo de abrangência, acarretou um conhecimento valioso na área de física nuclear. Durante o decorrer deste trabalho, tal conhecimento fez-se indispensável para que se pudessem alcançar todos os objetivos conquistados até a conclusão aqui descrita.

Uma perspectiva de grande valia assume o resultado do conjunto física/engenharia aqui ocorrida. Estas duas vertentes foram trabalhadas no sentido de se unir as necessidades e capacidades de cada uma, para assim então desenvolver a aplicação da engenharia reversa em favor da fabricação das câmaras de difusão. A aplicação da engenharia reversa disponibilizou a oportunidade de utilizar equipamento mecânicos e, com isso, aprofundar o conhecimento a respeito do processo de fabricação por usinagem.

Em resposta aos objetivos específicos a serem seguidos para a formação de uma ideologia, que diz respeito, a soma destes objetivos e a convergência de todo esse conjunto de ideias para o desenvolvimento das câmaras de difusão nuclear, inicia-se então, a conclusão deste trabalho. Toda a sequência proposta como objetivo específico foi desenvolvida e demonstrada no decorrer dos capítulos. As demonstrações exemplificam acertos, todavia, erros que também ocorreram, porém não divergindo do desenvolvimento das câmaras de difusão nuclear.

Levando em consideração o objetivo geral desta conclusão de curso, pode-se confirmar o fato que este logrou êxito em seu cumprimento. A aplicação da engenharia reversa para o desenvolvimento das câmaras de difusão dos tipos KfK e NRPB/SSI foi materializada. Correspondendo aos alicerces da soma de conceitos aplicada a este trabalho, apresenta-se a fabricação das câmaras concluída, em resposta a toda dedicação e esforço empregados a favor da engenharia.

Como trabalho futuro pode-se citar a realização dos testes nas câmaras fabricadas, realizando a instalação das mesmas em ambientes com alta concentração de ^{222}Rn e comparar os resultados obtidos com os resultados das câmaras originais.

REFERÊNCIAS

BRAGA, T. V. Engenharia Reversa e Reengenharia. Notas de aula da disciplina de engenharia de software. Disponível em: <<http://www.inf.ufpr.br/silvia/ES/reengenharia/reengenharia.pdf>>. Acesso em: 12 de dez. 2014.

CÂNCER DE PULMÃO - REDE SAÚDE. **Câncer de pulmão**: Causas. Disponível em: <<http://www.cancer-de-pulmao.ardois.com.br/pg/14311/cancer-de-pulmao-causas/>>. Acesso em: 30 de ago. 2014.

CORRÊA, Janine Nicolosi. **Avaliação dos níveis de concentração de Radônio em ambientes e águas de poços no estado do Paraná**. 2011. 111 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

FIOR, Loriane. **Análise da Concentração De Radônio Proveniente Dos Materiais De Construção**. 2008. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

LOPES, V. L. M. M. L.; PIRES, K. C. C.; SOARES, V. C.; MANZINI, J. B.; BIDIN, L. M. M.; MARRICHI, U. I. R. S. S.; SILVA, L.; NOBETANI, E.; ASSUNÇÃO, M.; PASCHUK, S. A.; CORRÊA, J. N.; GUEDES, S.; PEREIRA, L. A. Estudo da concentração de radônio em residências de Cornélio Procópio, PR, Brasil. In: Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, 19, 2014, Medianeira. **Anais eletrônicos...** No prelo.

MACHADO, A. **Comando numérico aplicado a máquinas ferramentas**. 2.ed. São Paulo: Ícone, 1978.

PAULO, Sérgio Roberto de. Dosimetria Ambiental de Rn-222 e filhos: **Medida da eficiência absoluta do CR-39 levando-se em conta o plate-out e fatores ambientais**. 1991. 332 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Física Gleb Wataghin, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1991.

TAKANO, M. I. Notas de aula da disciplina de Processos de Fabricação IV do curso de engenharia mecânica na UTFPR-CP. Cornélio Procópio, 2012.

APÊNDICE A – Desenhos técnicos dos produtos

Neste apêndice são apresentados os desenhos técnicos referentes aos componentes de câmaras dos tipos KfK e NRPB/SSI, feitos com uso do *software SolidWorks*. Os desenhos correspondem às adaptações descritas na seção 4.1.

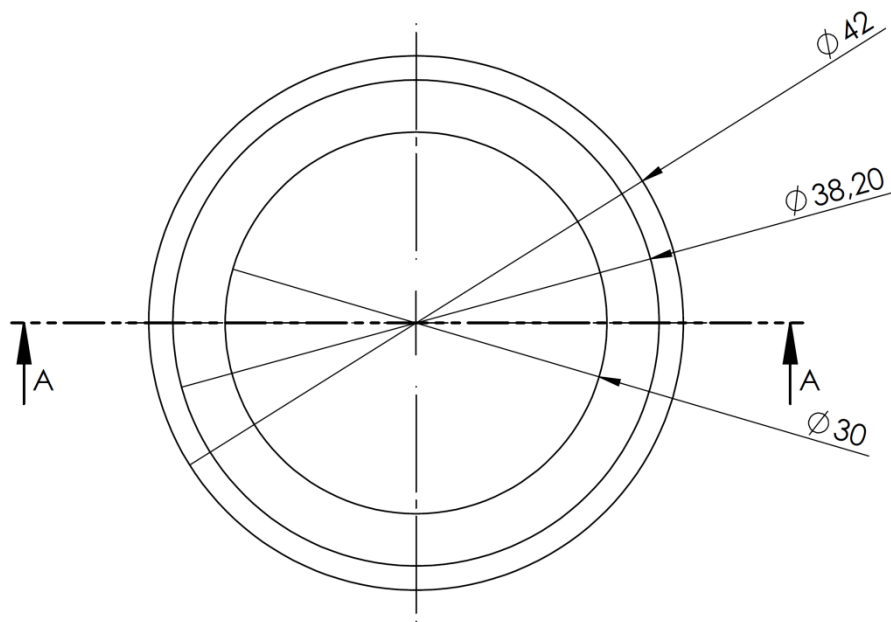
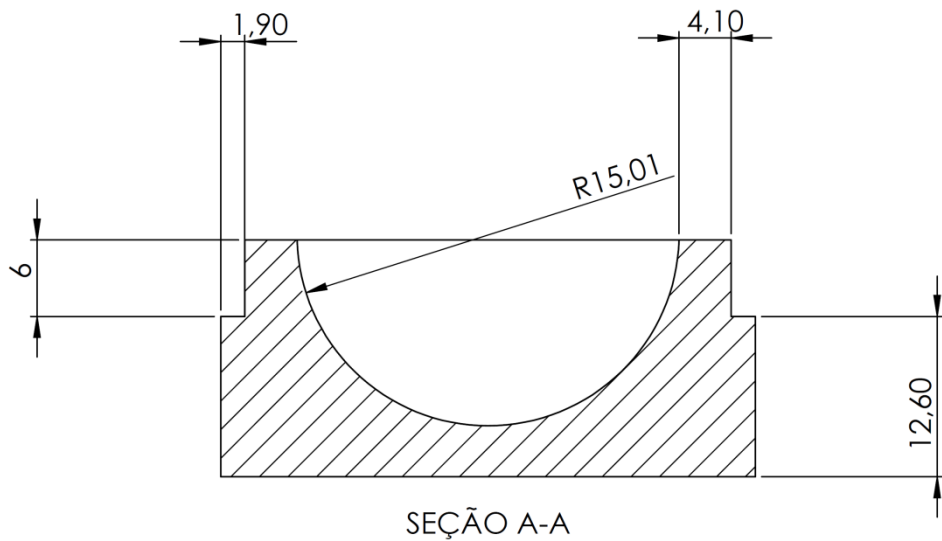
Segue a sequência dos desenhos técnicos:


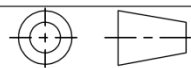
Câmara do tipo KfK;

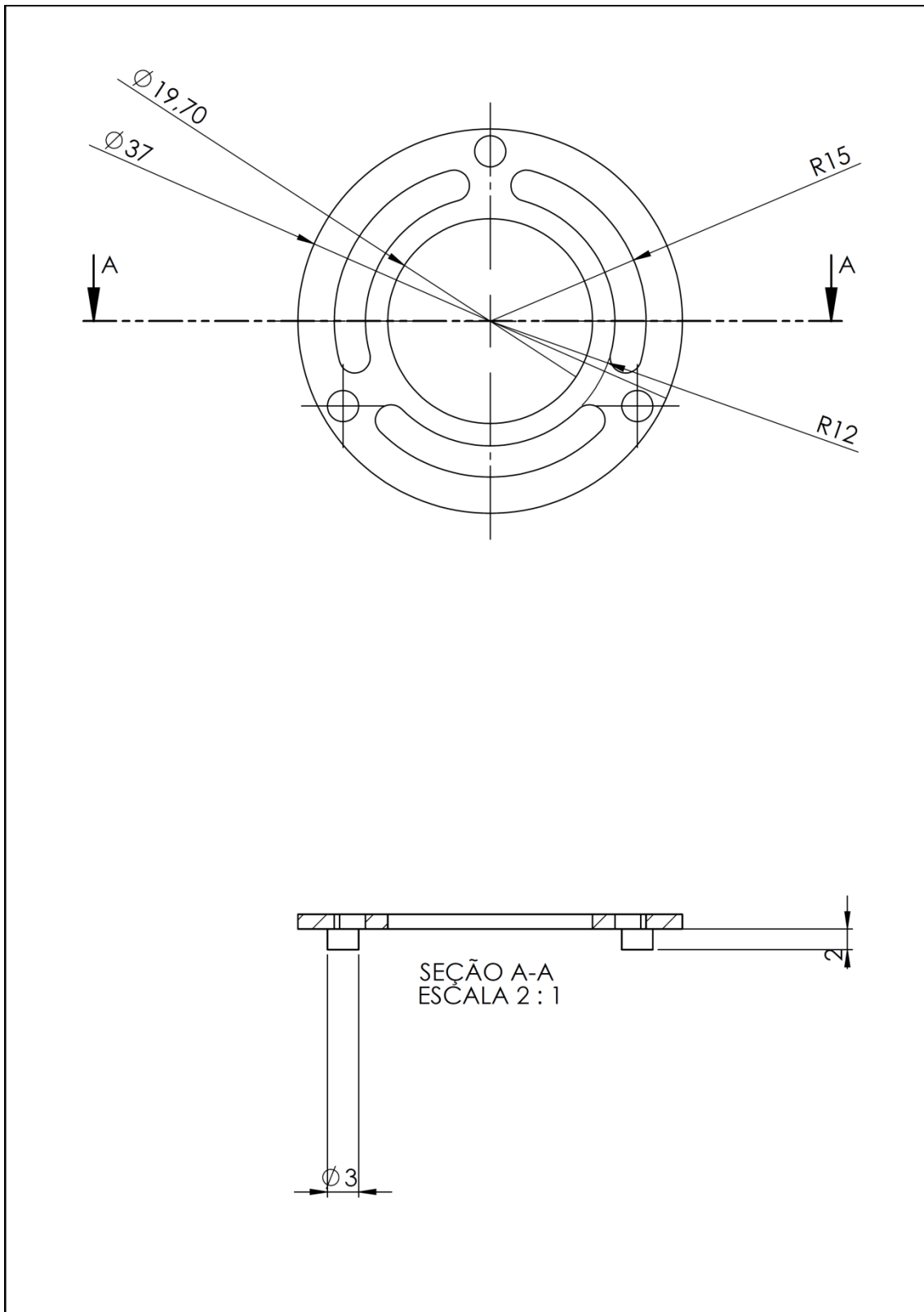
- Base;
- Revestimento interno;
- Tampa.


Câmara do tipo NRPB/SSI;

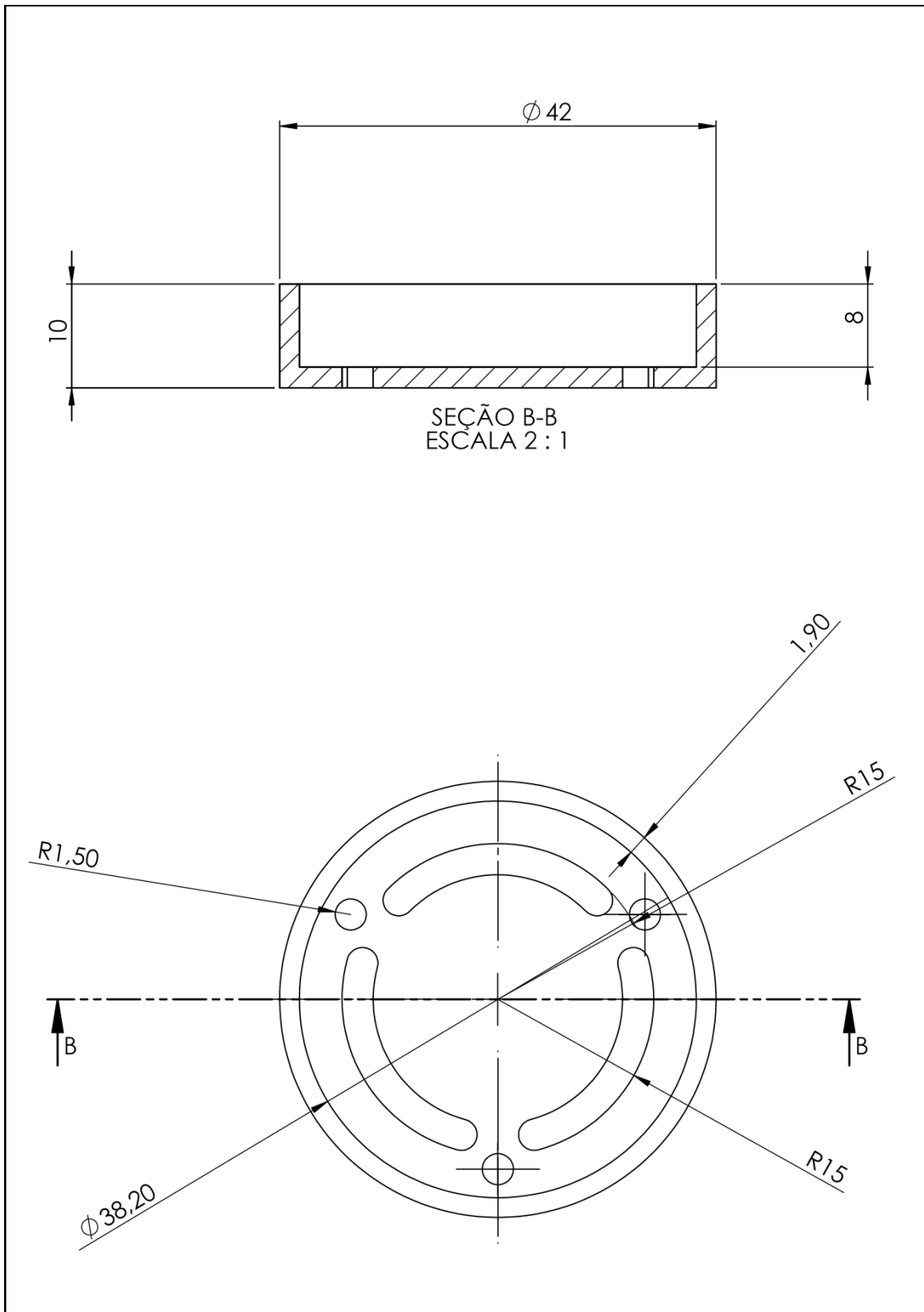
- Base;
- Tampa.






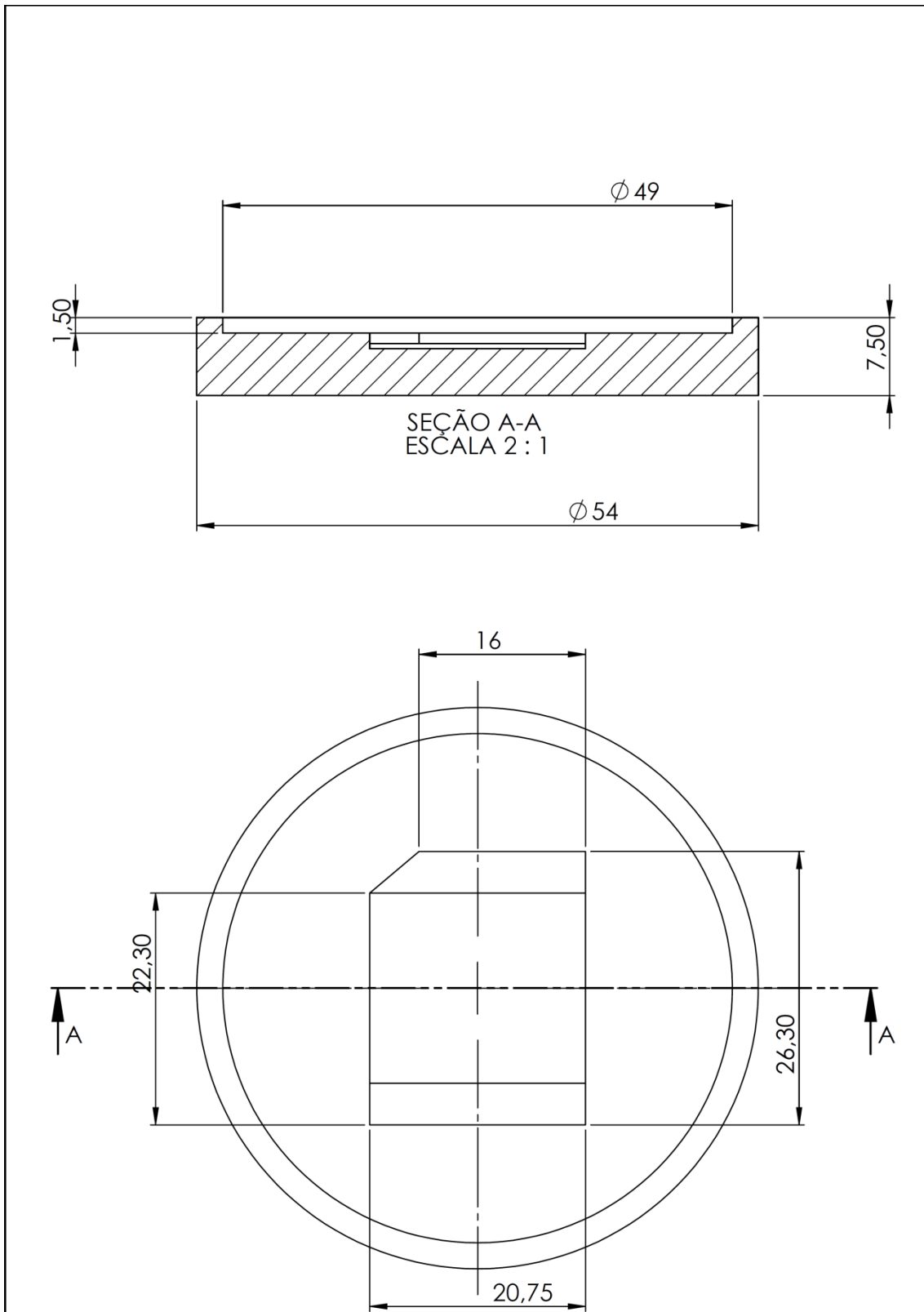
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ		OBJ. Nº:	1	DESENHO:	Base
		UNIDADE:	mm	DATA:	22/11/2014
 UTFPR UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CAMPUS CORNÉLIO PROCÓPIO	CURSO: Engenharia Mecânica	NOME:	Vinícius Lopes		
	ATIVIDADE: TCC	PROF:	Takano	FOLHA 1 DE 1	
		ESCALA:	2:1	APROVADO	



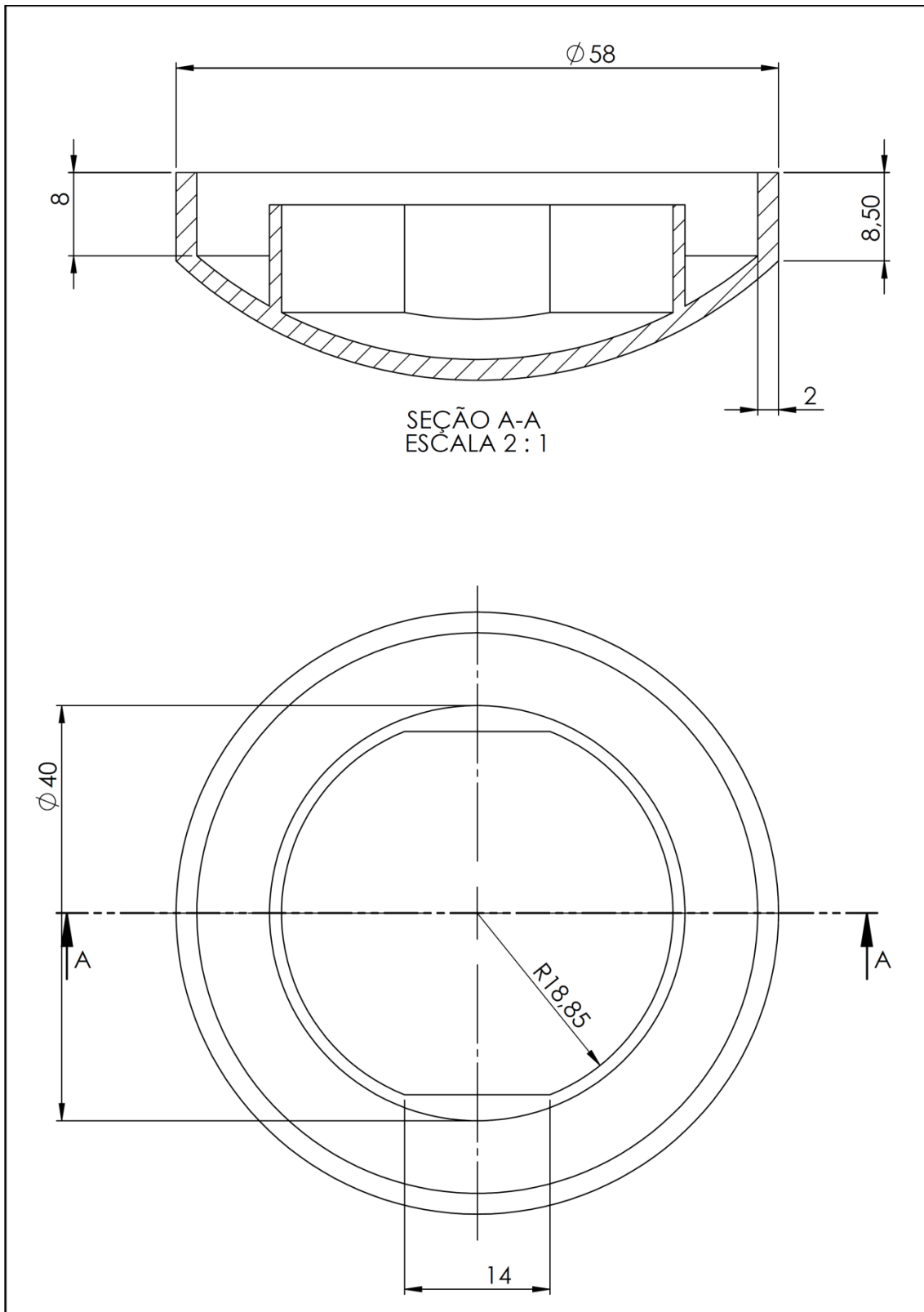
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ		OBJ. Nº:	2	DESENHO:	R. Interno
		UNIDADE:	mm	DATA:	22/11/2014
 UTFPR UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CAMPUS CORNÉLIO PROCÓPIO	CURSO: Engenharia Mecânica		NOME:	Vinicius Lopes	
	ATIVIDADE: TCC		PROF:	Takano	FOLHA 1 DE 1
			ESCALA:	2:1	APROVADO



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ		OBJ. Nº:	3	DESENHO:	Tampa
		UNIDADE:	mm	DATA:	22/11/2014
 UTFPR UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CAMPUS CORNÉLIO PROCÓPIO	CURSO: Engenharia Mecânica	NOME:	Vinicius Lopes		
	ATIVIDADE: TCC	PROF:	Takano	FOLHA 1 DE 1	
		ESCALA:	2:1	APROVADO	 



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ		OBJ. Nº:	4	DESENHO:	Base
		UNIDADE:	mm	DATA:	22/11/2014
		NOME:	Vinicius Lopes		
		PROF:	Takano	FOLHA 1 DE 1	
		ESCALA:	2:1	APROVADO	
 CAMPUS CORNÉLIO PROCÓPIO	CURSO: Engenharia Mecânica	ATIVIDADE: TCC			



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ		OBJ. Nº:	5	DESENHO:	Tampa
		UNIDADE:	mm	DATA:	22/11/2014
 UTFPR UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CAMPUS CORNÉLIO PROCÓPIO	CURSO: Engenharia Mecânica	NOME:	Vinicius Lopes		
	ATIVIDADE: TCC	PROF:	Takano	FOLHA 1 DE 1	
		ESCALA:	2:1	APROVADO	

APÊNDICE B – Fotos dos produtos finais

Neste apêndice são apresentadas fotos do produto final da aplicação da engenharia reversa no desenvolvimento de câmaras de difusão dos tipos KfK e NRPB/SSI. As imagens aqui apresentadas têm como objetivo transmitir ao leitor o resultado da fabricação de cada componente de câmara, assim como, a montagem e os encaixes para os distintos modelos de câmaras.

Segue a sequência das figuras:

Câmara do tipo KfK;

Componentes;

- Base;
- Revestimento interno;
- Tampa.

Montagens;

- Revestimento interno/Tampa;
- Base/Revestimento interno/Tampa.

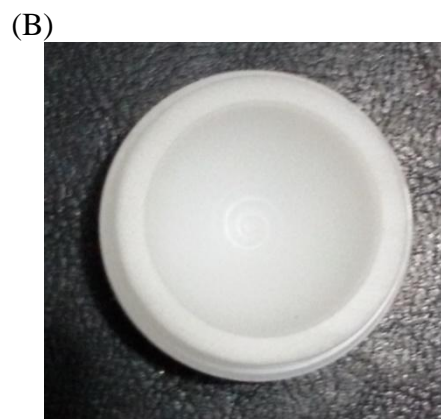
Câmara do tipo NRPB/SSI;

Componentes;

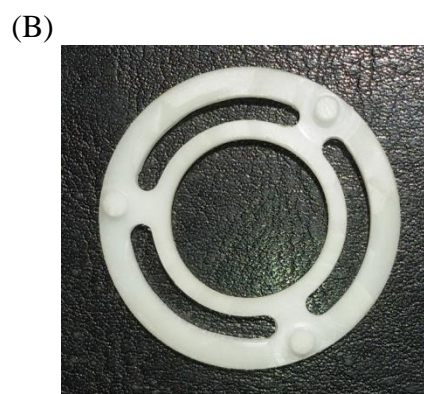
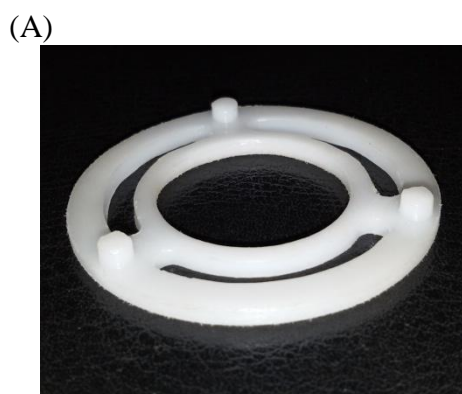
- Base;
- Tampa.

Montagem;

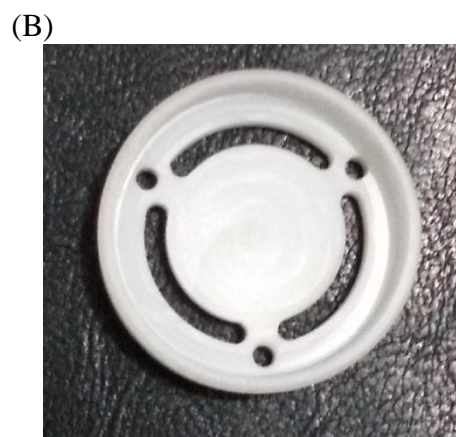
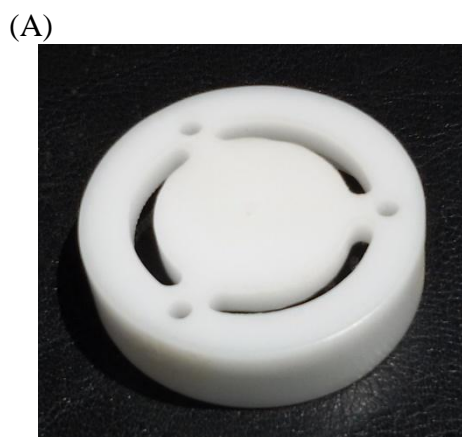
- Base/Tampa.



Base da câmara do tipo KfK: (A) Vista em perspectiva; (B) Vista superior.



Revestimento interno da câmara do tipo KfK: (A) Vista em perspectiva; (B) Vista superior.



Tampa da câmara do tipo KfK: (A) Vista em perspectiva; (B) Vista superior.

(A)



(B)



Montagem tampa/revestimento interno da câmara do tipo KfK: (A) Vista em perspectiva; (B) Vista superior.

(A)



(B)



Montagem base/revestimento interno/tampa da câmara do tipo KfK: (A) Vista em perspectiva; (B) Vista superior.

(A)



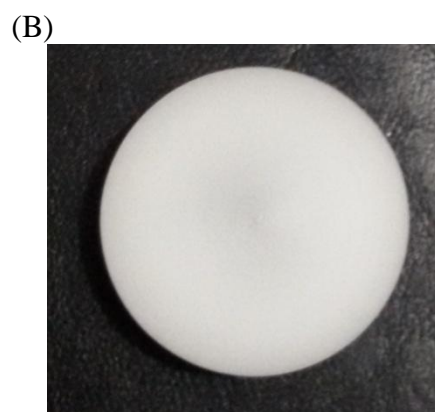
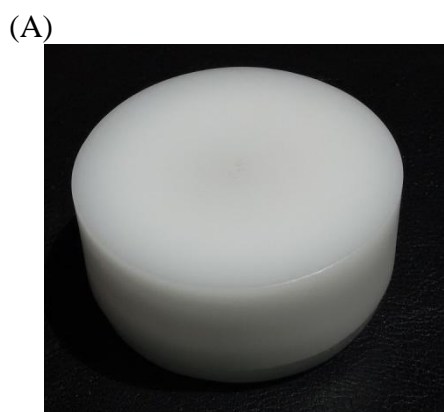
(B)



Base da câmara do tipo NRPB/SSI: (A) Vista em perspectiva; (B) Vista superior.



Tampa da câmara do tipo NRPB/SSI: (A) Vista em perspectiva; (B) Vista superior.



Montagem base/tampa da câmara do tipo NRPB/SSI: (A) Vista em perspectiva; (B) Vista superior.