

FABRICAÇÃO DE DISPOSITIVOS MICROFLUIDICOS POR FOTOLITOGRAFIA
E PROJETO DE FOTOEXPOSITORA DE LUZ PONTUAL

Gustavo Nóbrega dos Santos

PROJETO FINAL SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO MECÂNICO.

Aprovado por:

Prof. Carolina Palma Naveira Cotta; DSc

Prof. Renato Machado Cotta; PhD

Prof. Juliana Braga Rodrigues Loureiro; DSc

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

Abril/2013

Nóbrega dos Santos, Gustavo

Fabricação de Microdispositivos por Fotolitografia e Projeto de Fotoexpositora de Luz Pontual / Gustavo Nóbrega dos Santos. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.

XI, 49 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Carolina Palma Naveira Cotta

Renato Machado Cotta

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Departamento de Engenharia Mecânica, 2013.

Referências Bibliográficas: p. 49.

1. Microflúidica. 2. Microfabricação. 3. Fotolitografia. I. Cotta, Carolina Palma Naveira. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Mecânica. III. Título

“Success is not final, failure is not fatal: it is the courage to continue that counts.”

Sir Winston Churchill

AGRADECIMENTOS

À minha família pelo apoio em toda a minha vida e por sempre me incentivarem a seguir o caminho do estudo.

À Prof^a Carolina Palma Naveira Cotta pela orientação neste trabalho, sempre compreensiva e disposta a ajudar.

Ao Prof. Renato Machado Cotta pela orientação neste trabalho, e por ter aberto as portas para mim do mundo científico ao me aceitar como aluno de iniciação científica.

Aos meus amigos de turma da Engenharia Mecânica, pelas inúmeras horas de estudo e discussões sobre as disciplinas do curso durante o andamento do mesmo.

Ao Prof. Luiz Otávio da Unicamp, que apesar de não ter me conhecido pessoalmente, sempre foi solícito e disposto a me conceder ajuda e orientação durante a elaboração deste trabalho.

Aos alunos, professores e funcionários do LTTC, em especial o Martim, Kelvin e Marco Vinícius pela contribuição neste trabalho.

Ao aluno Ignácio Ricart pela ajuda na parte do projeto ligada a eletrônica

Ao amigo, desenhista industrial e futuro engenheiro químico Pedro Palhano pela colaboração na parte gráfica.

Para todas as outras pessoas que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

Resumo do projeto de graduação apresentado ao DEM/UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

FABRICAÇÃO DE MICRODISPOSITIVOS POR FOTOLITOGRAFIA E PROJETO DE FOTOEXPOSITORA DE LUZ PONTUAL

Gustavo Nóbrega dos Santos

Abril/2013

Orientadores: Carolina Palma Naveira Cotta

Renato Machado Cotta

Curso: Engenharia Mecânica

O presente trabalho apresenta utilização de uma fotoexpositora comercial para fabricação de microssistemas através da técnica de fotolitografia e o projeto e construção detalhada de uma nova fotoexpositora de fonte de luz pontual. A fotoexpositora comercial empregada no presente estudo contém 4 lâmpadas tubulares como fonte de luz UV e permite a fabricação de canais de seção semi-circular. Todavia o posicionamento, dos canais a serem fabricados, com relação às lâmpadas (perpendiculares ou paralelos às lâmpadas) levam a diferenças de fabricação dos canais. Neste sentido a nova fotoexpositora projetada e construída no contexto do presente trabalho faz uso de uma fonte pontual de luz UV e tem como objetivo principal a fabricação de microssistemas com melhor acabamento e maior uniformidade dos canais além de permitir a fabricação de micro-canais com seção transversal retangular.

Abstract of Undergraduate Project presented to DEM/UFRJ as a part of fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

FABRICATION OF MICROSYSTEMS BY PHOTOLITHOGRAPHY AND DESIGN
OF A PHOTOEXPOSER MACHINE WITH COLLIMATED LIGHT

Gustavo Nóbrega dos Santos

April/2013

Advisor: Carolina Palma Naveira Cotta

Renato Machado Cotta

Course: Mechanical Engineering

This work presents how to use a technique called photolithographic to elaborate microchannels. Initially the technique is presented followed by the description of the steps that compose this microfabrication technique. Results obtained by using a commercial Photoexposure machine are present and analyses of such results are reported. Also a description of a project of a new kind of photoexposure machine is reported. This new kind of photoexposer machine was developed so new types of microchannels can be made.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
1.1. Motivação e Objetivos	1
1.2. Organização do trabalho.....	3
2. Revisão bibliográfica.....	5
2.1. Microfabricação	5
3. Microfabricação por fotolitografia	7
3.1. Etapas da fotolitografia	8
3.2 – Parâmetros de influência para a fabricação por fotolitografia	17
4 Microcanais confeccionados com a máquina fotoexpositora comercial	18
4.1. Características da fotoexpositora.....	18
4.2. Microssistemas desenvolvidos.....	21
4.3. Secção transversal X tempo de exposição	26
5. Fotoexpositora de luz pontual	28
5.1. Projeto da fotoexpositora de fonte de luz pontual	28
5.2. Construção e montagem da nova fotoexpositora de fonte de luz pontual.	39
6. Conclusões e sugestões	46
7. Referências bibliográficas	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Estrutura típica de um oligômero de Uretana-Acrilato –	8
Figura 3.2 - confecção do fotolito (máscara) 2- Preparação do polímero. 3- Exposição do polímero a radiação UV. 4- Revelação dos microcanais. 5- Selagem do microssistema. 6- Comunicação do microssistema com o mundo exterior (COSTA JUNIOR, 2012).	9
Figura 3.3 - de máscaras óticas. (a) micromisturador em Y. (b) micromisturador em T	10
Figura 3.4 – Deposição do polímero no conjunto máscara+ moldura.....	11
Figura 3.5 - Fotoexpositora com conjunto máscara-polímero.....	12
Figura 3.6 - Agitador ultrassônico	13
Figura 3.7 - remoção do polímero não polimerizado restante com o uso de um jato de água e detergente direcionados.....	14
Figura 3.8 – Esquema do procedimento de selagem. (a) Exposição do polímero à radiação UV. (b) Após a exposição, a tampa fabricada possui um filme fino não polimerizado. (c) União da tampa e da base que contém os microcanais. (d) Exposição do conjunto a um fluxo de argônio; (e) Exposição do conjunto a um fluxo de argônio enquanto exposto à radiação UV	15
Figura 3.9 - Conexão do microssistema com o mundo exterior (COSTA JUNIOR, 2012).	16
Figura 3.10 - Microssistemas fluídicos fabricados por fotolitografia usando a uretana-acrilato e a fotoexpositora comercial.....	16
Figura 4.1 - Máquina fotoexpositora comercial	18
Figura 4.2 - lâmpadas inferiores da fotoexpositora (conjunto de 4 lâmpadas) tubulares).....	19
Figura 4.3 - lâmpadas superiores da fotoexpositora (conjunto de 4 lâmpadas) tubulares).....	19
Figura 4.4 – Comportamento do feixe de luz durante a exposição.....	20
Figura 4.5 –Exemplo de micromisturador em Y fabricado por fotolitografia.....	21
Figura 4.6 – Exemplo de máscara utilizada na fabricação de um micromisturador em Y	22
Figura 4.7 - – Foto obtida com microscopia da entrada do micromisturador Y.....	23
Figura 4.8- Foto obtida com microscopia da secção transversal do micromisturador em Y.....	24
Figura 4.9– Micromisturador sinuoso fabricado por fotolitografia	25

Figura 4.10– (a) canal disposto perpendicularmente ao conjunto de lâmpadas (cota de 291,97 micrometros); (b) canal disposto paralelamente ao conjunto de lâmpadas (cota de 319,78 micrometros; (c) junção entre os canais dispostos na horizontal com os canais dispostos na vertical (cota de 449,97 micrometros)	26
Figura - 4.11 - (a) - Seccção transversal após 45 segundos de exposição; (b) - secção transversal após 25 segundos de exposição; (c) Secção transversal após 20 segundos de exposição	27
Figura 5.1 - LED UV da MaueBia eletrônica (foto fornecida pelo fabricante).....	29
Figura 5.2 Ângulo do feixe de luz emitido pelo LED.....	31
Figura 5.3- Esquema ilustrativo de ângulos e dimensões	32
Figura 5.4- Desenho ilustrativo da nova tofoexpositora de luz pontual; (1) botão de acionamento; (2) porta de acesso na qual se insere o conjunto máscara + substrato; (3) temporizador responsável pela determinação do tempo de exposição; (4) compartimento onde fica alojado o circuito elétrico	34
Figura 5.5 – Esquema do interior da fotoexpositora; (1) divisória do equipamento destinada a conter o circuito eletrônico; (2) camara de exposição; parte do equipamento na qual o conjunto máscara + substrato é inserido e exposto a luz UV; (3) anteparo com furo, responsável por limitar o ângulo do feixe de luz emitido pelo LED; (4) LED emissor de luz UV, fonte pontual de luz	35
Figura 5.6 - Dimensões externas da fotoexpositora, dimensões em milímetros	36
Figura 5.7 - dimensões da porta de acesso, cotas em milímetros.....	37
Figura 5.8 Dimensões do anteparo com furo, cotas em milímetros.....	38
Figura 5.9 Circuito elétrico da fotoexpositora; (a) fonte de 5V; (b) resistor de 120 Ohms; (c) LED.....	39
Figura 5.10 - Fotoexpositora de luz pontual	40
Figura 5.11 - Fotoexpositora de luz pontual com conjunto máscara + substrato sendo inserido para posterior exposição a UV	41
Figura 5.12 – LED preso na tampa que fica na parte superior interna do equipamento	42
Figura 5.13- Anteparo.....	42
Figura 5.14 – Foto do compartimento reservado para o circuito eletrônico	43
Figura 5.15 - Suporte de acrilico utilizada para conter o conjunto máscara + substrato durante a exposição	44
Figura 5.16 – (1) – Início do processo de exposição do substrato ao feixe de raios emitidos pelo LED que atingem o material de forma perpendicular; (2)Fim do processo de polimerização, a parte do substrato que não estava protegida pela máscara foi totalmente polimerizada; (3) Inversão do microssistema, para que possa ser	

polimerizado parcialmente a parte anteriormente protegida pela máscara, criado assim um “fundo” para o canal.....	45
Figura 6.1 Led da LEDengin, emite na faixa do UV, com uma alta potência	47
Figura 6.2 - lente com 15° de abertura do feixe	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 – Especificações técnicas do LED	30
Tabela 5.2 – Características do temporizador	39

1. Introdução

1.1. Motivação e Objetivos

Nas últimas décadas foi grande o interesse em se produzir sistemas cada vez menores, afim de com isso obter-se um aumento em sua eficiência. Isso levou ao surgimento na década de 80 de um novo campo de estudos chamado MEMS (Micro-Sistemas Electro-Mecânicos). Nesse cenário, tornou-se possível a produção de microssistemas mecânicos, fluídicos, eletro-mecânicos e térmicos, em escalas na faixa de dezenas a centenas de micrometros. O projeto, fabricação e operação dos MEMS, envolvem diversas ciências e/ou tecnologias, como a engenharia mecânica, engenharia elétrica, engenharia eletrônica, a biologia, a química, além de promover uma forte integração entre estes diferentes ramos.

Nos anos 90, o campo dos MEMS tornou-se amplamente diversificado, possuindo aplicações em diversas áreas. Na engenharia, por exemplo, encontram-se esses microdispositivos sendo aplicados em situações diversas, como na monitoração, automação e controle de processos na indústria do petróleo, na síntese do biodiesel através do uso de microrreatores. Observa-se também o desenvolvimento de microtrocaadores de calor para resfriamento de células fotovoltaicas, entre outras aplicações no âmbito da engenharia. Na medicina esses microssistemas são hoje aplicados na dosagem de drogas, em análises de DNA, em equipamentos de diagnóstico, entre outros.

O ramo da ciência que estuda e modela o comportamento dos fenômenos de transporte nesta microescala foi definido como Microfluidica. Através dos seus fundamentos e modelos, é possível mover, separar, misturar, bombear e controlar

diminutas quantidades de líquido ou gases em sistemas miniaturizados (microsistemas), que podem possuir canais, cavidades, bombas, válvulas e sensores. A grande motivação no estudo da Microfluidica, no uso dos seus conceitos e princípios no projeto de microsistemas e no desenvolvimento de técnicas de fabricação de dispositivos microfluidicos, está na possibilidade de se aumentar a eficiência dos processos. Além disso, outras vantagens que também tornam o estudo da microfluidica atrativo são:

- Condições para reações químicas bem controladas;
- Baixa perda de insumos;
- Baixo consumo de energia;
- Controle de pequenos volumes de fluido.

Visto esse cenário onde o estudo do comportamento de fluidos na microescala tornou-se bastante atraente para diversos campos do conhecimento, apareceu à necessidade de se desenvolver as técnicas de fabricação, que permitissem a elaboração de microdispositivos. A literatura mostra que os primeiros dispositivos microfluidicos foram desenvolvidos com base em técnicas bem estabelecidas oriundas da indústria da microeletrônica. Foram utilizados materiais como silício, vidro e quartzo. Estas tecnologias, apesar de permitirem a construção de microsistemas com ótima resolução se mostram como técnicas caras e que exigem um alto custo para o desenvolvimento de microdispositivos. Recentemente, entretanto, novas estratégias de fabricação têm sido propostas e aplicadas na fabricação de microestruturas. Dentre essas novas técnicas destacam-se principalmente as técnicas que utilizam polímeros.

O uso de polímeros para a fabricação de microdispositivos aparece como uma ótima alternativa para a produção em pequena escala, visto que em comparação com outras maneiras de se fabricar microdispositivos, o custo apresentado é menor. Isso acarreta condições mais favoráveis para a disseminação desse crescente novo campo de estudo e assim possibilitando que cada vez mais grupos de pesquisa tenham condições de desenvolver pesquisas nessa área.

Dentre as técnicas de microfabricação de microsistemas a partir de polímeros, tem-se a técnica de microfabricação por fotolitografia se torna muito interessante para quem visa desenvolver a possibilidade do estudo e pesquisas em microfluida.

Conforme foi demonstrado por FERNANDES e FERREIRA (2006), pode-se fabricar microdispositivos através da fotolitografia utilizando uma resina fotopolimerizável baseada nos oligômeros uretana e acrilato (UA), que são polímeros

comumente utilizados na indústria gráfica para a confecção de carimbos. A grande vantagem dessa técnica é que com ela, é possível se fabricar canais com boa qualidade a baixo custo.

Baseados neste trabalho FERNANDES e FERREIRA (2006), o presente trabalho apresenta utilização de uma fotoexpositora comercialmente usada para a confecção de carimbos para a fabricação de microssistemas com a Uretana-Acrilato (UA) e o projeto e construção detalhada de uma nova fotoexpositora de fonte de luz pontual. A fotoexpositora comercial empregada no presente estudo contém 4 lâmpadas tubulares como fonte de luz UV e permite a fabricação de canais de seção semi-circular. Todavia o posicionamento, dos canais a serem fabricados, com relação às lâmpadas (perpendiculares ou paralelos às lâmpadas) levam a diferenças de fabricação dos canais. Neste sentido a nova fotoexpositora projetada e construída no contexto do presente trabalho faz uso de uma fonte pontual de luz UV e tem como objetivo principal a fabricação de microssistemas com melhor acabamento e maior uniformidade dos canais além de permitir a fabricação de micro-canais com seção transversal retangular.

1.2. Organização do trabalho

No capítulo 2 é apresentada uma revisão da literatura referente ao assunto abordado e são apresentadas definições importantes para o desenvolvimento do presente trabalho.

No capítulo 3 é apresentada uma descrição da técnica de microfabricação denominada como fotolitografia. Uma apresentação da técnica é descrita, assim como as etapas que a compõem são explicadas.

No capítulo 4 são apresentados os microssistemas confeccionados com o uso de uma máquina fotoexpositora comercial. São mostradas as geometrias que puderam ser obtidas e também são apresentadas imagens feitas através da MEV, onde através da microscopia as reais dimensões dos canais fabricados são obtidas.

No capítulo 5 é apresentada a concepção do projeto de projeto de uma máquina fotoexpositora de luz pontual.

No capítulo 6 são apresentadas as conclusões do presente trabalho e as sugestões para a continuação desta pesquisa.

No capítulo 7 é apresentado a listagem das referencias bibliograficas utilizadas no presente estudo.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Microfabricação

Nesse capítulo, serão discutidos os principais trabalhos relacionados à técnica de fabricação utilizada para desenvolver microdispositivos apresentados nesse trabalho.

Tipicamente o silício é o material citado como mais adequado para a construção de microdispositivos fluídicos, pois apresenta alta estabilidade mecânica e térmica, porém possuem um alto custo. Visando uma alternativa a esse cenário, outros materiais passaram a ser estudados como vidros, cerâmicas e polímeros. Os polímeros são uma boa opção para a fabricação desses dispositivos microfluídicos. (FERNANDES e FERREIRA, 2006).

O PDMS (polidimetilsiloxano) por apresentar propriedades úteis como flexibilidade, durabilidade mecânica, inatividade química e baixa toxicidade, vêm sendo muito utilizado para fabricação de microdispositivos. Os microssistemas fabricados em PDMS são confeccionados por meio de modelagem. O PDMS não é um polímero comercial, o que se apresenta como uma desvantagem em relação ao seu uso.

FERNANDES e FERREIRA (2006) desenvolveram uma técnica de fabricação de dispositivos fluídicos na microescala. Nessa técnica usou-se uma fotoresina baseada nos oligômeros uretana e acrilato (UA), que são muito usados na indústria gráfica e possuem excelentes características como alta resistência à tração, excelente alongação e baixa dureza. A técnica consiste em utilizar a radiação ultravioleta (UV) para fabricar esses microdispositivos, onde basicamente se coloca a fotoresina (UA) em moldes e a expõe à radiação (UV) juntamente com uma máscara que tem o formato do microcanal. Assim, a radiação polimeriza a fotoresina (UA), exceto na região do microcanal, formando o microdispositivo.

FONSECA *et al.* (2007) construíram um microanalisador de injeção de fluxo por meio de um processo litográfico utilizando a fotoresina de uretana e acrilato. Esse dispositivo foi fabricado através da exposição da fotoresina, espalhada sobre uma máscara, à radiação ultravioleta e vedada com a própria fotoresina de uretana e acrilato sob um fluxo de nitrogênio. Foi analisado que as dimensões do canal dependem da posição da máscara e das lâmpadas e que existe uma relação linear entre a espessura da linha da máscara com a linha do canal.

COSTA JUNIOR, (2012), fez um estudo tanto teórico quanto experimental a respeito do comportamento térmico da mistura de fluidos com diferentes temperaturas em micromisturadores de diferentes geometrias. Os micromisturadores foram elaborados a partir da fotoresina baseada nos oligômeros uretana e acrilato (UA) empregando a técnica de fotolitografia.

Chen, (2012) fez um estudo sobre microreatores de diferentes geometrias para a síntese do biodiesel. Os microrreatores utilizados foram fabricados em um substrato polimérico através da técnica da fotolitografia.

3. Microfabricação por fotolitografia

A litografia é uma técnica que desempenha um papel central em microfabricação. Esta técnica tem como objetivo criar um determinado padrão no material usado a fim de se fabricar o microssistema. Dependendo do feixe de energia usado no processo, a litografia pode ser dividida em fotolitografia, litografia por raio-x, litografia por feixe de elétrons e litografia por feixe de íons. No presente trabalho os perfis de microcanais desenvolvidos, foram todos obtidos a partir da fotolitografia, e do desenvolvimento da mesma.

De um modo geral, o procedimento de fabricação de microdispositivos por fotolitografia consiste basicamente em se utilizar a luz ultravioleta (U.V.) como fonte de energia e assim se conseguir realizar a transferência de padrões e geometrias para o substrato a fim de se fabricar o microdispositivo desejado. Para isso, é necessário trabalhar-se com um substrato que seja sensível a essa radiação. A transferência de padrões se dá com a exposição seletiva da fotoresina a luz ultravioleta. Para tal, utilizamos uma máscara (fotolito), posicionando-a entre a fonte luminosa e o material fotosensível. A máscara deve ser confeccionada a partir de um material transparente, contendo o padrão que se deseja transferir ao substrato em preto. Desse modo, expondo a fotoresina a luz ultravioleta, a parcela que está sob a parte transparente da máscara possa vir a ser polimerizada e a parcela protegida pela parte opaca (parte preta) não sofra polimerização. Posteriormente com a retirada da parte não polimerizada, observam-se os padrões transferidos da máscara para o material, formando canais no substrato. Em seguida é feita a selagem do microdispositivo, possibilitando assim a movimentação de fluidos em um canal com dimensões na ordem de micrometros.

FERNANDES e FERREIRA (2006) desenvolveram um processo de microfabricação a partir de uma fotoresina a base de uretana e acrilata (UA) tipicamente usado na indústria gráfica. Essa resina baseada nos oligômeros de

uretana e acrilato pode ser utilizada na construção de estruturas microfluídicas a partir da técnica de fotolitografia.

A vantagem da escolha de resinas à base de uretana – acrilato para se desenvolver microssistemas, está no fato de a mesma apresentar propriedades muito semelhantes às do PDMS (material frequentemente utilizado na fabricação de microssistemas), somado ao fato de ela ser uma resina comercial de baixo custo, possibilitando desenvolvimento de sistemas microfluídicos de forma rápida e sem a necessidade de equipamentos especiais. A figura 3.1 apresenta um oligômero típico de uretana-acrilato.

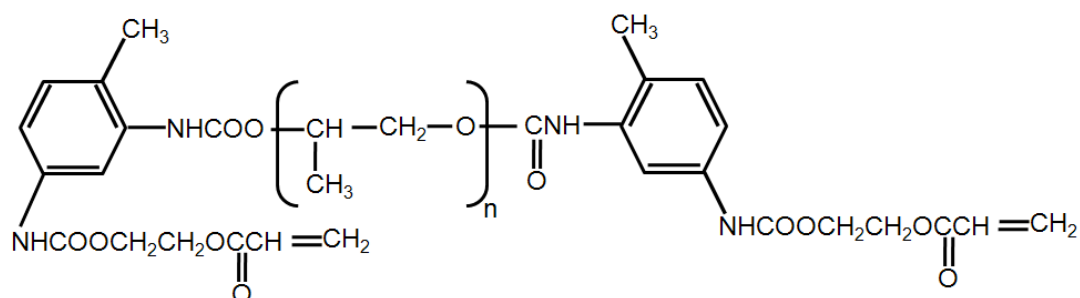


Figura 3.1 - Estrutura típica de um oligômero de Uretana-Acrilato –

3.1. Etapas da fotolitografia

De forma geral, o processo de microfabricação por meio da fotolitografia pode ser dividido em seis etapas principais. A primeira etapa consiste na confecção do fotolito (máscara), etapa essa responsável pela definição da geometria do canal. A segunda consiste na preparação da fotoresina e na sua deposição. A terceira etapa consiste na exposição seletiva da fotoresina à luz U.V.. A quarta etapa é a chamada etapa de revelação. Ela consiste na remoção da fotoresina que não foi sensibilizada pela luz U.V. através de um banho revelador com um solvente apropriado. A quinta etapa consiste na selagem dos microcanais, permitindo assim a movimentação de fluidos em seu interior. Por fim temos a sexta etapa que consiste na comunicação dos microcanais com o mundo exterior através de agulhas e mangueiras. A figura 3.2 apresenta uma figura esquemática das etapas.

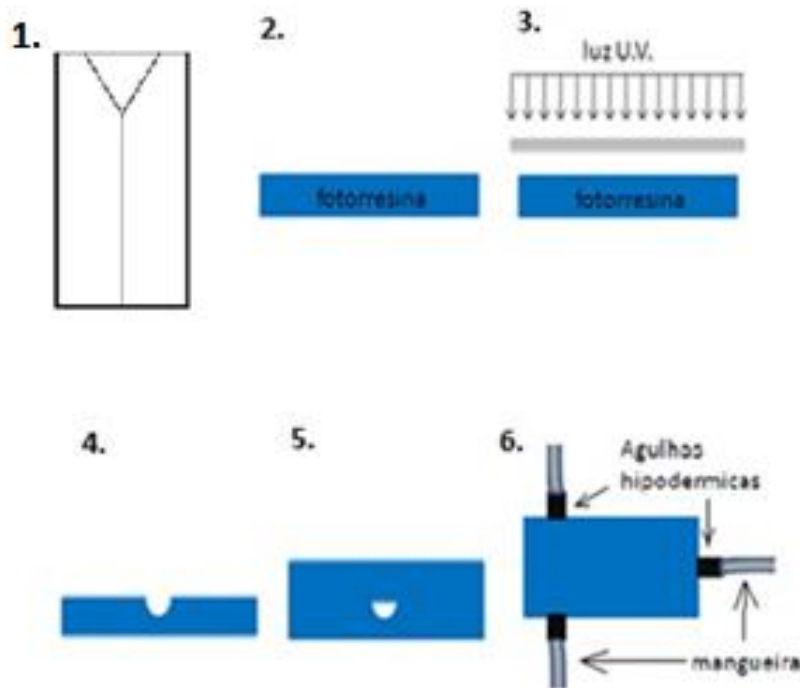


Figura 3.2 - confecção do fotolito (máscara) 2- Preparação do polímero. 3- Exposição do polímero a radiação UV. 4- Revelação dos microcanais. 5- Selagem do microssistema. 6- Comunicação do microssistema com o mundo exterior (COSTA JUNIOR, 2012).

A seguir serão apresentadas as etapas do processo de microfabricação por fotolitografia, de forma mais detalhada.

Como já foi mencionado, para se utilizar a técnica de microfabricação por fotolitografia, é necessária a escolha de um material polimérico que seja sensível a radiação ultravioleta. E assim, esse material atuará como substrato aonde os canais serão gravados. O polímero utilizado para a fabricação foi uma resina a base de uretana – acrilato.

A primeira etapa consiste na confecção de uma máscara ótica (fotolito). A máscara é feita a partir de um material transparente, que possibilita a passagem da radiação UV de forma seletiva. As máscaras usadas no processo de fotolitografia foram confeccionadas utilizando transparências (CG7031S). Com o uso de uma impressora a laser, é impressa na transparência em tinta preta, a geometria dos canais. Os desenhos a serem impressos nas transparências, foram feitos no software gráfico AutoCAD (AutoDesk). A figura 3.3a e 3.3b ilustram dois exemplos das máscaras, um micro-misturador em Y e um micro-misturador em T, respectivamente.

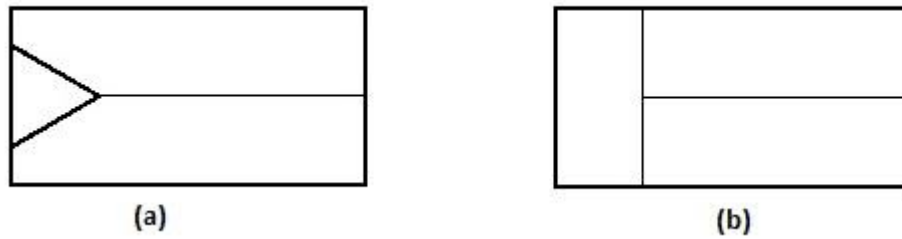


Figura 3.3 - de máscaras óticas. (a) micromisturador em Y. (b) micromisturador em T

A segunda etapa consiste na preparação do conjunto, para que esse possa ser exposto à radiação UV. Para garantir a uniformidade da superfície do microssistema que se deseja fabricar, a máscara ótica é fixada a uma placa de vidro. Como antes de sofrer polimerização, o polímero encontra-se no estado líquido, é necessário ao se deposita-lo sobre a transparência, conter seu deslocamento para que assim ele não se espalhe por toda a transparência. Com o intuito de conter o polímero, cria-se uma moldura constituída por fitas dupla-face de dimensões conhecidas, (tipicamente 1,5 ou 2,0 mm de espessura). Com a moldura feita a resina é cuidadosamente depositada dentro dos limites estabelecidos pela moldura e em cima do desenho impresso. Essa deposição é feita de forma a que o polímero preencha totalmente o volume destinado a ele, e de forma a evitar a formação de bolhas em sua superfície. Posteriormente, uma segunda placa de vidro com as mesmas dimensões da primeira, é colocada sobre o polímero, de forma a pressioná-lo e manter uniforme sua superfície superior. A figura 3.4 mostra a deposição do polímero no conjunto.

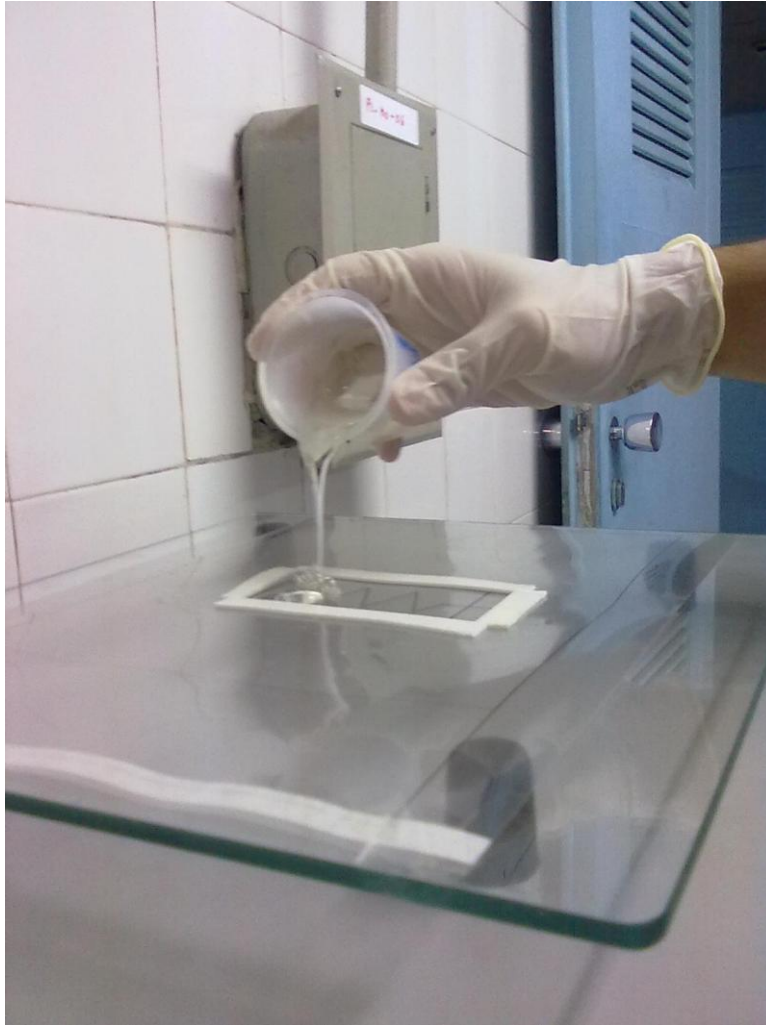


Figura 3.4 – Deposição do polímero no conjunto máscara+ moldura

A terceira etapa consiste na exposição do conjunto a luz UV. A exposição é através da fotoexpositora, que se trata de equipamento que possui lâmpadas que emitem feixes de luz na faixa do ultra-violeta. O tempo de exposição necessário para haver a polimerização do polímero é determinado empiricamente, e varia de acordo com o fabricante do polímero e com a disposição, quantidade e tipo de lâmpadas presentes na fotoexpositora. A figura 3.5 mostra a fotoexpositora comercial utilizada no presente trabalho contendo o com o conjunto máscara-polímero.

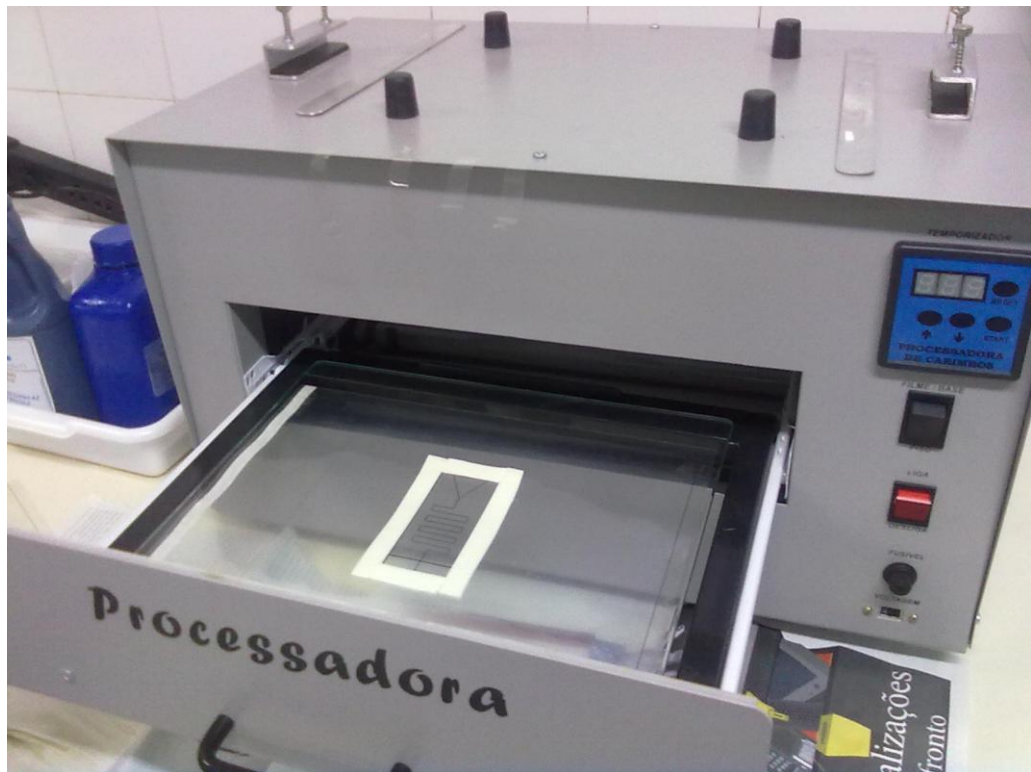


Figura 3.5 - Fotoexpositora com conjunto máscara-polímero

A etapa seguinte é a revelação dos microcanais. A função desta etapa é a remoção da camada de polímero que estava sobre a tinta durante a etapa de exposição, e como consequência não foi polimerizada. Colocamos o microcanal num banho com um solvente apropriado, neste caso água e detergente. Para facilitar a remoção da parte não polimerizada, o banho foi feito com o uso de um agitador ultrassônico. O banho tem tempo médio de duração de 10 minutos, e utiliza-se água destilada aquecida, juntamente com o detergente, de modo a diminuir a viscosidade do polímero restante in natura e facilitar a sua remoção. A figura 3.6 mostra agitador ultrassônico utilizado nesta etapa.



Figura 3.6 - Agitador ultrassônico

O banho ultrassônico é de fundamental importância para a limpeza completa dos canais, contudo ele por si só não é suficiente. Com o uso de uma lupa, para tornar evidente a posição dos canais na estrutura, foi direcionado sobre os mesmos, através do uso de uma bomba, um jato de água quente misturada com detergente comercial. Após essa etapa de lavagem, os canais encontraram-se totalmente desobstruídos. A figura 3.7 mostra esse passo da etapa de revelação.



Figura 3.7 - remoção do polímero não polimerizado restante com o uso de um jato de água e detergente direcionados

Na quinta etapa temos a etapa de selagem dos canais. Após ter sido fabricada a base do microsistema, que contém os microcanais gravados, é necessário selá-lo, pois os microcanais se encontram expostos e dessa maneira se torna impossível o escoamento e manipulação de fluidos em seu interior. Para isso é fabricada de maneira similar à apresentada anteriormente, uma tampa. Como não existe necessidade de haver canais gravados na tampa, a transparência usada na fabricação da tampa, não possui uma máscara impressa. O tempo de exposição a radiação UV é um pouco menor, pois é necessário que haja uma fina camada de fotorresina não polimerizada, para promover a adesão entre as duas partes. Uni-se a base que contém o micro-canal à “tampa” através de adesão química direta, ou seja sem camadas intermediárias tem-se a ligação intra e inter molecular da resina da tampa com a da base. Para obter uma melhor união, é necessário deixar o conjunto (tampa + base) numa câmara onde passará um fluxo de gás argônio, que tem a função de

remover o oxigênio presente na superfície do microcanal e da tampa, pois o mesmo é prejudicial a selagem do microsistema. (FONSECA). Em seguida o microsistema, ainda sobre o fluxo de argônio, é exposto novamente a radiação UV, realizando de forma definitiva a selagem dos microcanais. A figura 3.8 mostra os passos da etapa de selagem.

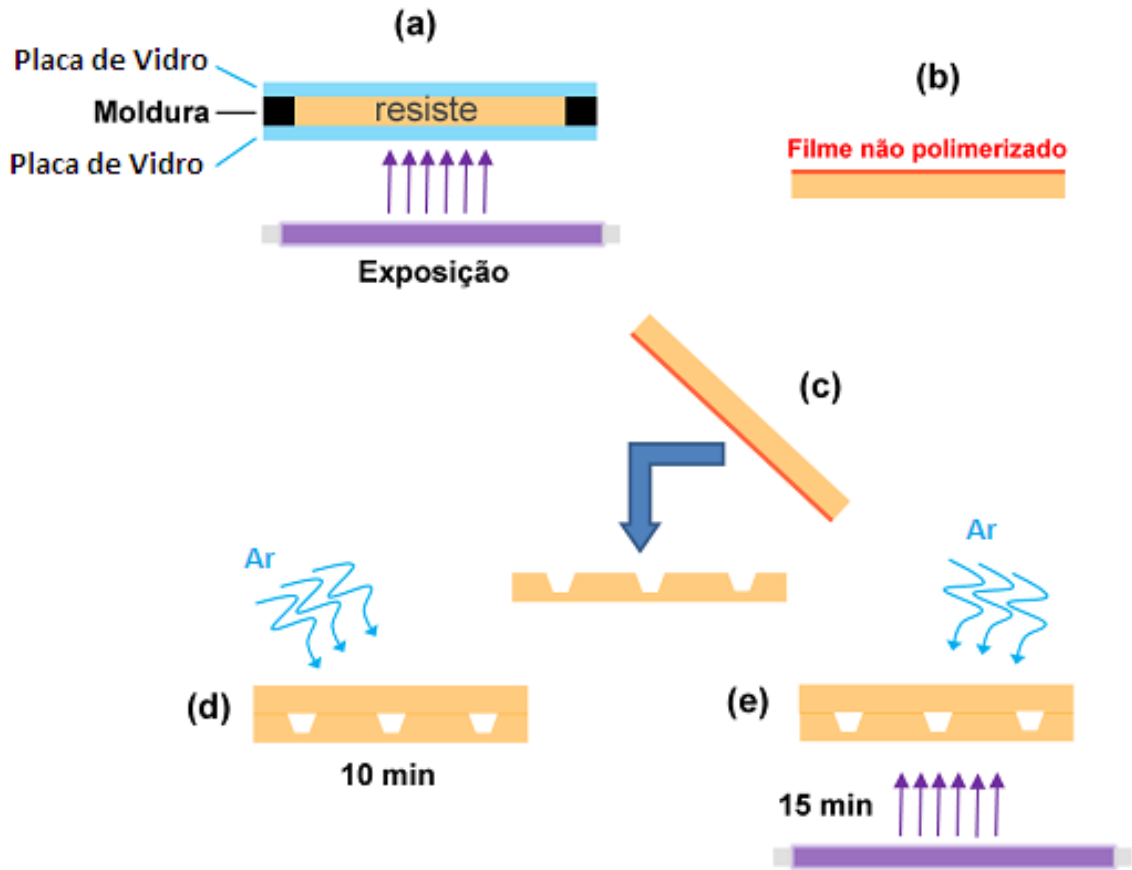


Figura 3.8 – Esquema do procedimento de selagem. (a) Exposição do polímero à radiação UV. (b) Após a exposição, a tampa fabricada possui um filme fino não polimerizado. (c) União da tampa e da base que contém os microcanais. (d) Exposição do conjunto a um fluxo de argônio; (e) Exposição do conjunto a um fluxo de argônio enquanto exposto à radiação UV

Por fim, temos a etapa na qual conectamos o microsistema com o mundo exterior. A conexão no escopo do presente trabalho foi feita por meio de agulhas hipodérmicas comerciais e tubos de plásticos como mostra a figura 3.9.



Figura 3.9 - Conexão do microsistema com o mundo exterior (COSTA JUNIOR, 2012).

A figura 3.10 mostra exemplos de microsistemas fluídicos que foram fabricados pela técnica da fotolitografia usando a uretana-acrilato e a fotoexpositora comercial, percorrendo durante o processo, cada uma das etapas descritas anteriormente.



Figura 3.10 -- Microsistemas fluídicos fabricados por fotolitografia usando a uretana-acrilato e a fotoexpositora comercial

3.2 – Parâmetros de influência para a fabricação por fotolitografia

A partir do uso desta técnica de fabricação na confecção de microdispositivos, podem-se verificar alguns parâmetros que influenciam diretamente no acabamento final dos microssistemas.

- **Geometria dos canais:** Alguns canais fabricados com o mesmo polímero, entretanto apresentando geometrias diferentes, apresentavam diferente resistência mecânica. Determinados trechos contendo bifurcações, ou mudanças de direção muito expressivas, estavam significativamente mais favoráveis ao rompimento com a manipulação do dispositivo.
- **Tempo de exposição à radiação UV:** Quanto mais longo é o tempo de exposição da resina fotossensível a radiação UV, maior é parcela da parte que sofre polimerização. Um maior tempo de exposição implica em canais com menores dimensões. E um tempo de exposição relativamente curto, elabora canais muito frágeis, que se rompem facilmente com o manuseio.
- **Posicionamento e tipo das lâmpadas:** (FONSECA, 2007) construíram um microanalisador de injeção de fluxo por meio de um processo litográfico utilizando a fotoresina de uretana e acrilato. Foi observado que o posicionamento das lâmpadas em relação ao conjunto máscara + polímero, influi nas dimensões dos canais.

4. Microcanais confeccionados com a máquina fotoexpositora comercial

4.1. Características da fotoexpositora

A máquina fotoexpositora comercial que foi utilizada nesse trabalho é uma máquina desenvolvida originalmente pelo fabricante para a confecção de carimbos (a figura 4.1 mostra essa máquina). Ela possui 8 lâmpadas tubulares, distribuídas internamente em dois conjuntos de 4 lâmpadas, um deles na parte superior e outro na parte inferior. Esses conjuntos podem ser acionados independentemente. Cada uma das lâmpadas possui uma potência de 15 Watts. As figuras 4.2 e 4.3 mostram os conjuntos de lâmpadas mencionados.



Figura 4.1- Máquina Fotoexpositora comercial



Figura 4.2 - lâmpadas inferiores da fotoexpositora (conjunto de 4 lâmpadas tubulares)



Figura 4.3 - lâmpadas superiores da fotoexpositora (conjunto de 4 lâmpadas tubulares)

Fabricaram-se diversos tipos de microdispositivos fluídicos como, por exemplo micromisturadores e microrreatores, com diferentes geometrias. Entretanto como foi mostrado por FONSECA, 2007, e também constatado no presente estudo, o posicionamento das lâmpadas em relação ao conjunto máscara + polímero, influencia nas dimensões dos canais.

O perfil da secção transversal é definido pelo modo com o feixe de luz que emana das lâmpadas atinge o substrato durante a etapa de exposição. O interior dessa fotoexpositora comercial não é da cor preta o que possibilita que os feixes de luz sejam refletidos e terminem por atingir o polímero tanto de forma direta como de forma indireta. A figura 4.4 ilustra como os feixes de luz provenientes das lâmpadas atingem o conjunto.

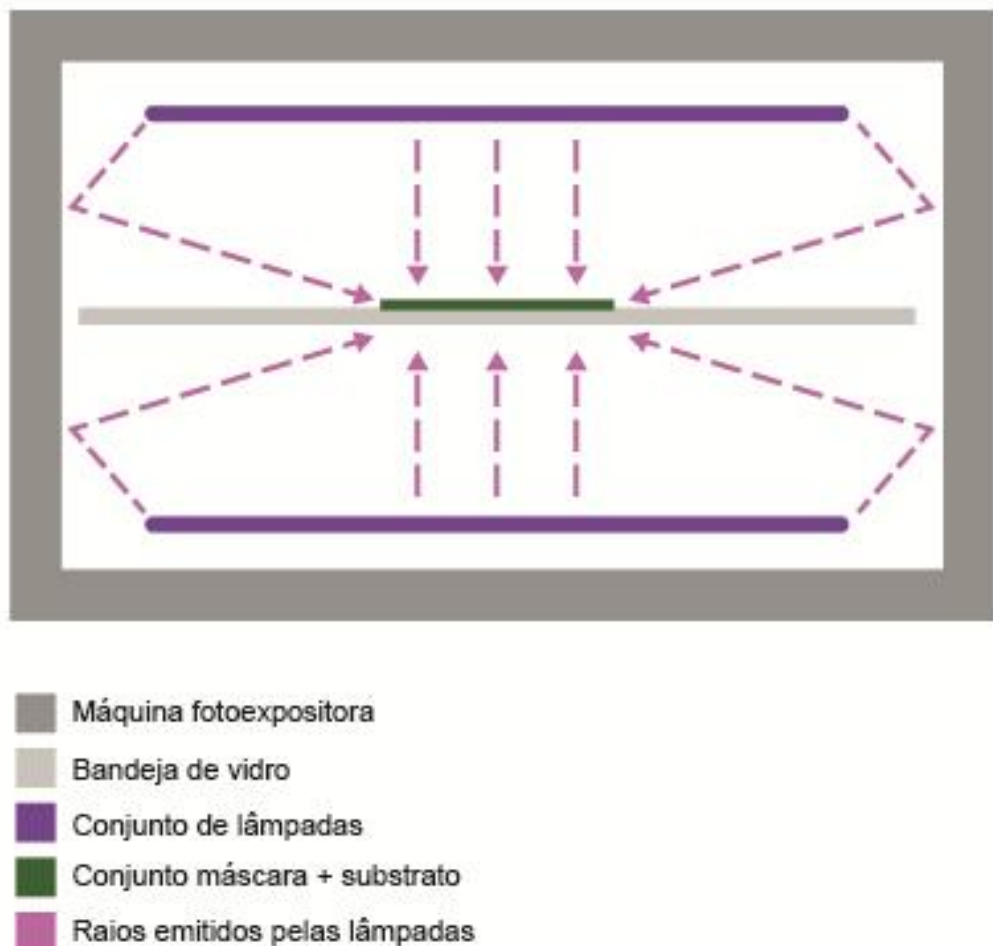


Figura 4.4 - Comportamento dos feixes de luz durante a exposição

4.2. Microssistemas desenvolvidos

A seguir são apresentados exemplos de microssistemas fabricados e são relatados detalhes de sua fabricação.

- **Micromisturador em Y**

A figura 4.5 mostra um micromisturador Y fabricado por fotolitografia.

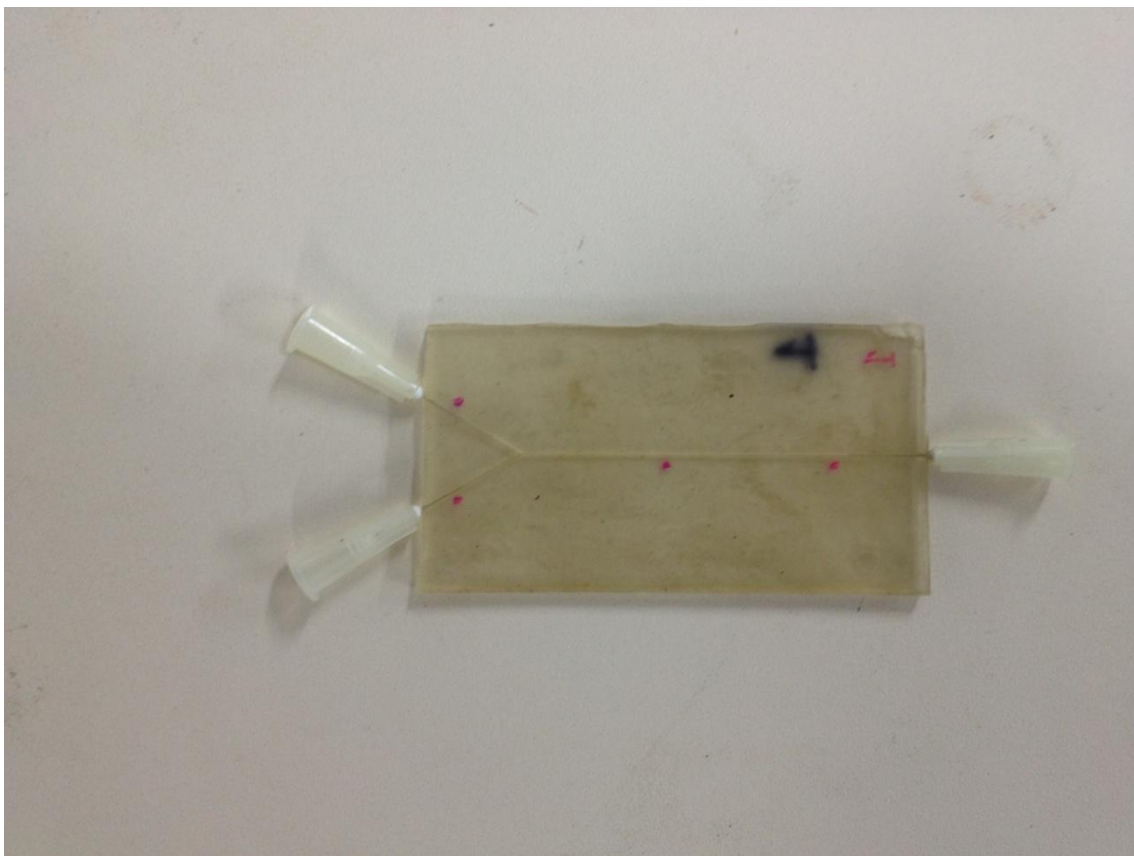


Figura 4.5—Exemplo de micromisturador com entrada em Y fabricado por fotolitografia

O micromisturador em Y consiste de uma entrada em Y, seguida de um canal de mistura em linha reta. A figura 4.6 mostra a máscara usada na confecção desse tipo de micromisturador.

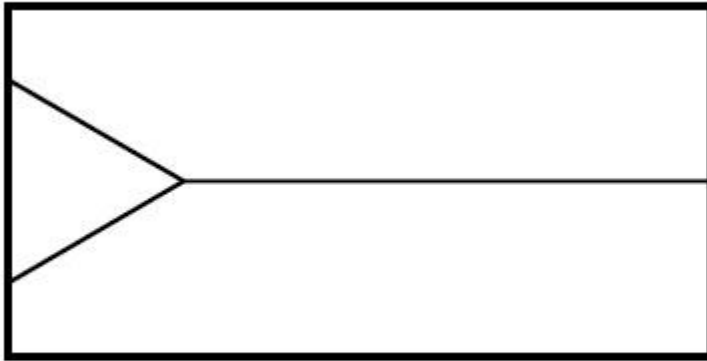


Figura 4.6 – Exemplo de máscara utilizada na fabricação de um micromisturador em Y

A máscara mostrada na figura 4.6, apresenta linhas com espessuras iguais a 400 micrometros. A figura 4.7 mostra uma imagem longitudinal ampliada dos canais fabricados, obtidas com a microscopia, e com essa imagem podemos obter as reais dimensões dos canais. A máscara confeccionada para a fabricação desse canal visava a fabricação de canais com um comprimento de mistura de 6 centímetros e um diâmetro de 400 micrometros. Contudo, observa-se que a dimensão do microcanal fabricado é menor do que as dimensões apresentadas pela máscara, tendo de fato produzido um microcanal com uma largura aproximada de 313 micrometros. Podemos observar que no interior do canal, encontram-se manchas brancas, que são de fato evidencias da irregularidade do leito do canal, pois as partes mais claras são as áreas do canal que ficaram mais rasas e as mais escuras mais fundas. O que determina a profundidade do canal é o tempo de exposição, contudo devido às direções com as quais os feixes luminosos incidem sobre o polímero, diferentes quantidades de substrato são polimerizadas ao longo do canal, provocando assim irregularidades ao longo do seu comprimento.

Seguindo as etapas do processo fotolitográfico mencionadas anteriormente, fazemos a selagem do microcanal. A figura 4.8 mostra a imagem ampliada do tipo de secção transversal que esse obtem com esse tipo de lâmpada e disposição destas na fotoexpositora comercial. Tratasse de uma imagem de um corte do sistema selado, após todo o processo de fabricação estar concluído.

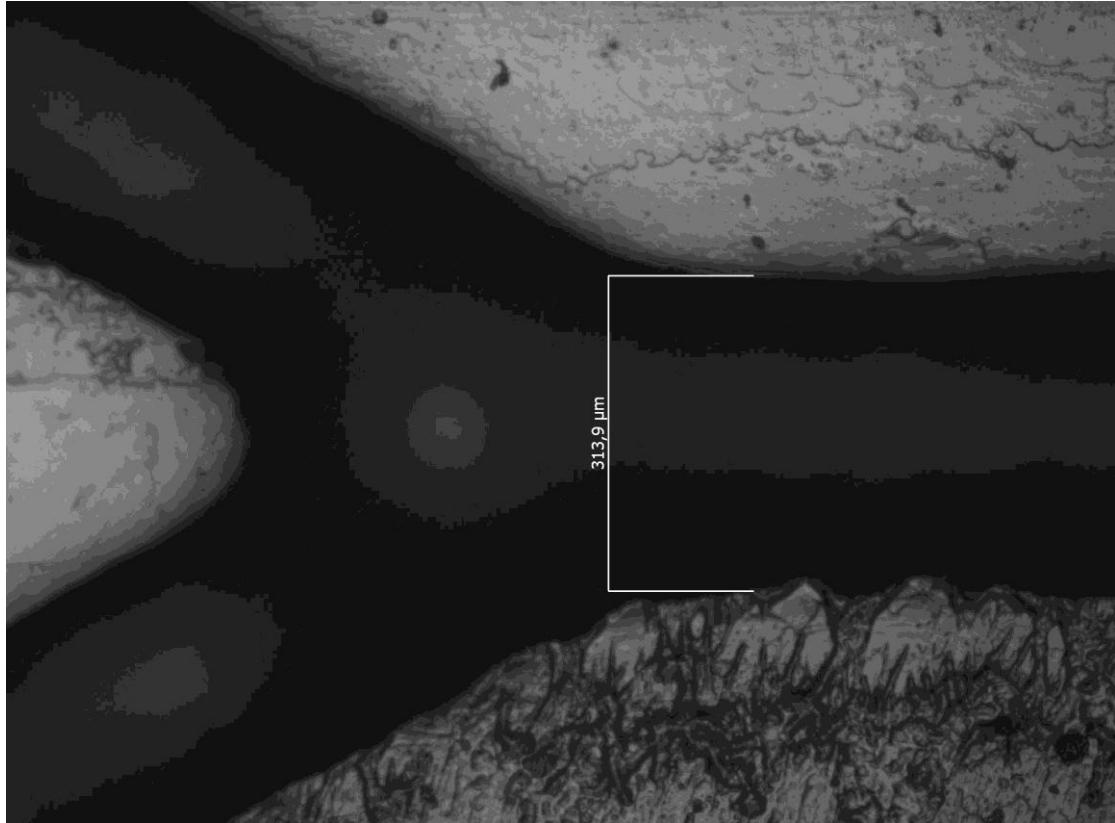


Figura 4.7 - - Foto obtida com microscopia da entrada do micromisturador Y

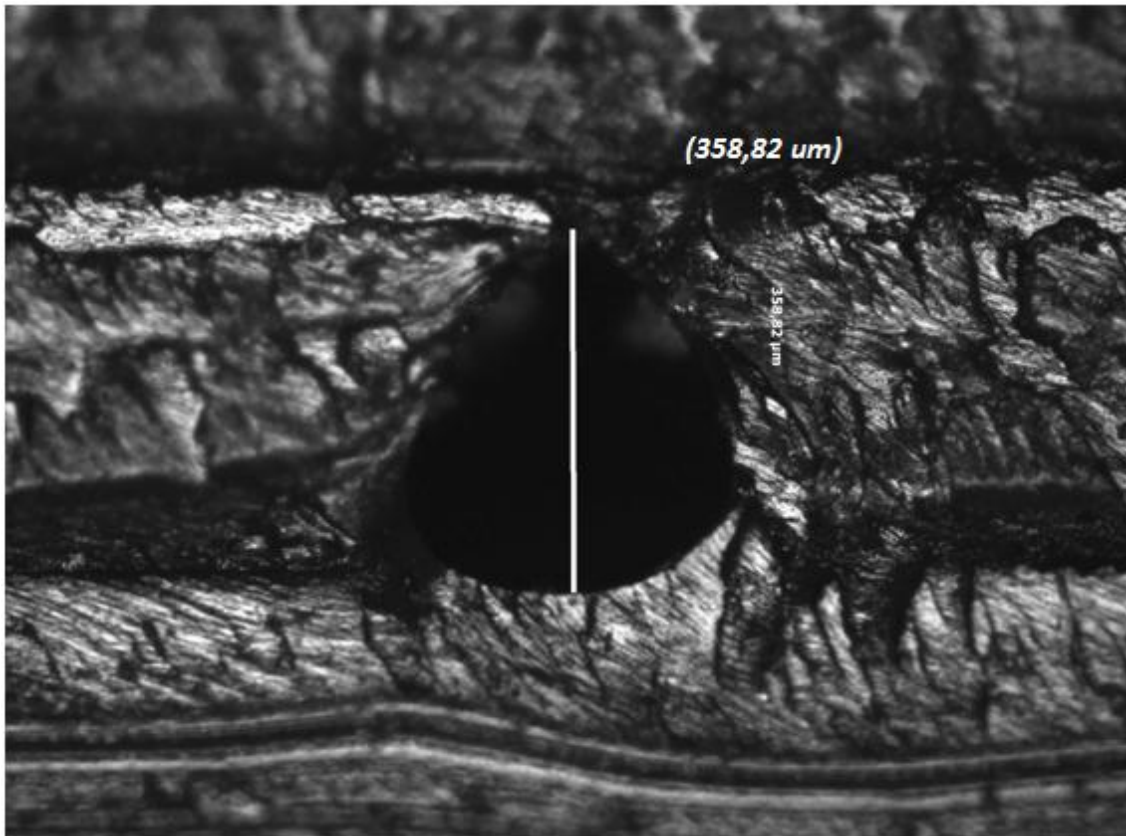


Figura 4.8- Foto obtida com microscopia da secção transversal do micromisturador em Y

- **Micromisturador Sinuoso**

Algumas substâncias necessitam de mais tempo em contato do que outras para se misturarem completamente, e por isso em alguns casos pode ser necessário fabricar micromisturadores com um maior comprimento de mistura sem que isso acarretasse em um aumento das dimensões externas do dispositivo. A figura 4.9 mostra um micromisturador desse tipo.



Figura 4.9– Micromisturador sinuoso fabricado por fotolitografia

O micromisturador sinuoso consiste em um canal de mistura em degraus periódicos. O canal de mistura deste dispositivo possui um diâmetro de aproximadamente $300\ \mu\text{m}$ e um comprimento de mistura de cerca de 26 cm. A fabricação desse tipo de microcanal apresenta algumas dificuldades a mais em relação ao micromisturador em Y apresentado anteriormente na figura 4.5. Como pode se observar na figura 4.10, os trechos do microcanal que estão perpendiculares às lâmpadas durante a são mais estreitos, enquanto que quando os canais que ficam paralelos em relação as lâmpadas são mais largos. FONSECA et al. (2007) explica que isto ocorre devido ao fato que existe uma maior penetração de radiação dentro do substrato quando a exposição perpendicular é usada, provavelmente devido ao espalhamento de luz e o uso de um feixe de radiação não colimado.

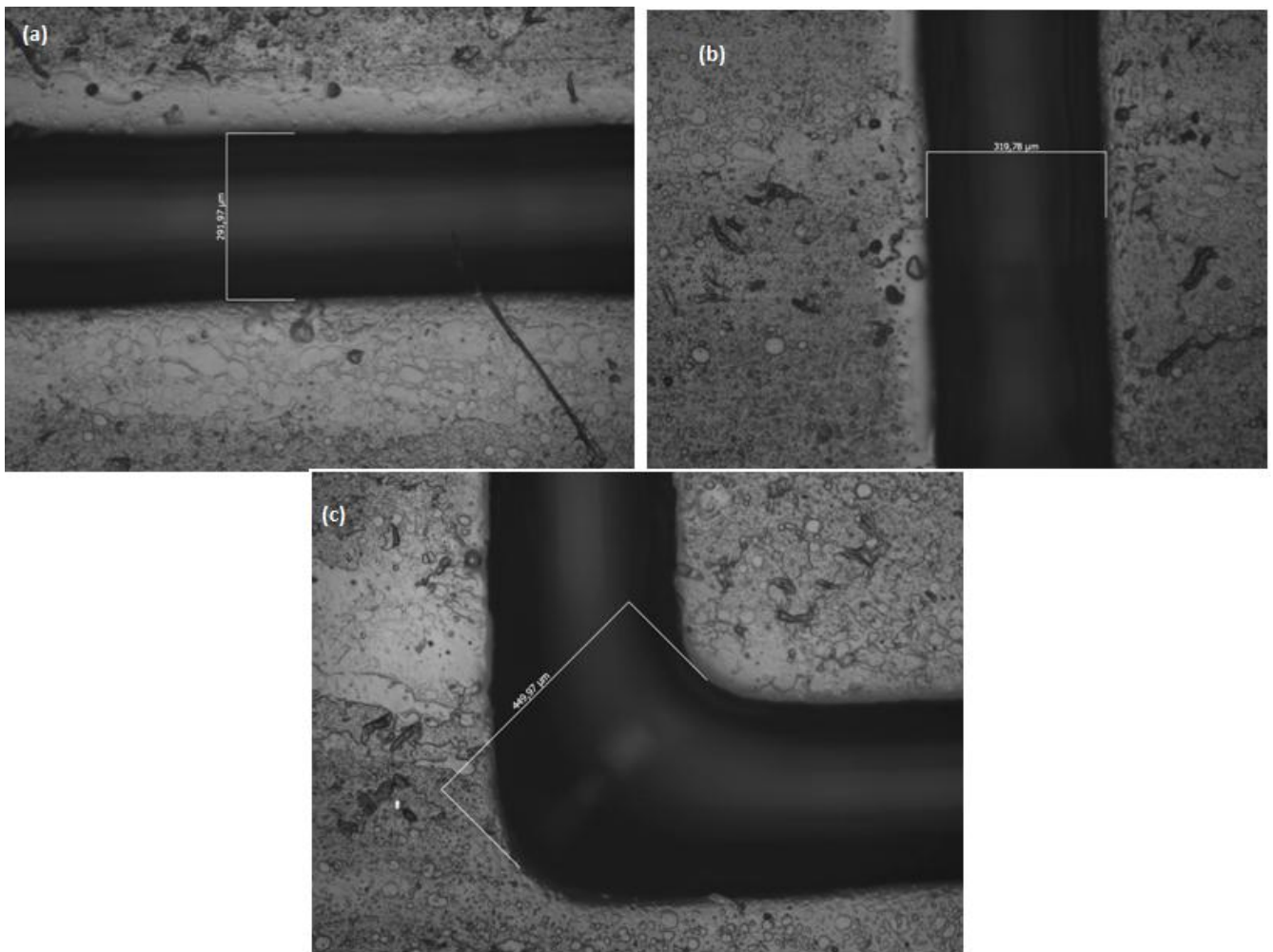


Figura 4.10- (a) canal disposto perpendicularmente ao conjunto de lâmpadas (Cota de 291,97 micrometros) (b) canal disposto paralelamente ao conjunto de lâmpadas (cota de 319,78 micrometros);(c) junção entre os canais dispostos na horizontal com os canais dispostos na vertical,(cota de 449,97 micrometros)

4.3. Secção transversal X tempo de exposição

Quanto mais tempo o polímero ficar exposto a luz ultravioleta, maior quantidade de material sofre polimerização. A seguir mostramos como a secção transversal do canal varia sua área de acordo com o tempo de exposição. Esse é um detalhe interessante do processo de fabricação, pois quanto menos tempo a resina estiver exposta, mais profundo será o microcanal gravado, entretanto mais frágil será a estrutura do dispositivo. A figura 4.11 mostra como a secção transversal do canal em função de três diferentes tempo de exposição.

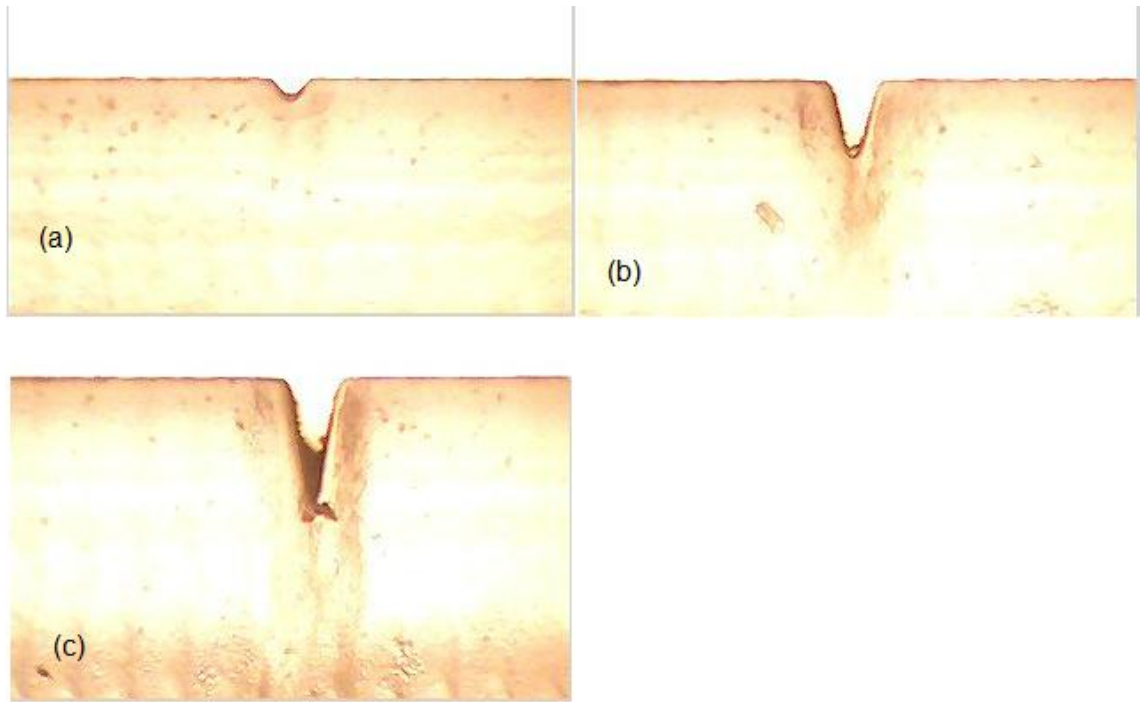


Figura - 4.11 - (a) - Seccção transversal após 45 segundos de exposição; (b) - secção transversal após 25 segundos de exposição; (c) Secção transversal após 20 segundos de exposição

5. Fotoexpositora de luz pontual

5.1. Projeto da fotoexpositora de fonte de luz pontual

A motivação em se desenvolver uma nova máquina fotoexpositora baseou-se na possibilidade de se produzir microssistemas, com um controle mais rígido de suas dimensões, com um melhor acabamento, seções mais regulares e perfis transversais retangulares, o que não foi possível com o uso da fotoexpositora comercial. Como foi relatado por FONSECA, 2007 confirmado e apresentado anteriormente pelo presente trabalho, o posicionamento das lâmpadas e a maneira com que o feixe de luz incide sobre o material a ser polimerizado são responsáveis pela definição da geometria do canal. Desta maneira os principais objetivos pretendidos com esta nova fotoexpositora foram: a fabricação de microcanais com um perfil retangular e a uniformidade nas dimensões dos microcanais quanto ao seu posicionamento na máscara.

Neste sentido, o desenvolvimento de uma nova fotoexpositora foi baseado fundamentalmente na mudança na maneira com que o feixe de luz atinge o material a ser polimerizado.

Para se produzir microcanais com uma seção transversal retangular, é necessário que os raios de luz estejam praticamente paralelos ao atingirem a máscara litográfica. Para isso, usa-se uma fonte pontual de luz colocada a uma distância suficientemente grande de forma que apenas um pequeno ângulo ilumine o objeto a ser litografado, garantindo assim que o feixe de luz incida praticamente paralelamente ao material a ser polimerizado. No presente projeto, optou-se como fonte luminosa pontual, pela utilização de um LED com comprimento de onda na faixa de 395~400nm ou seja, na faixa do ultra-violeta, uma vez que a uretana – acrilato sofre polimerização quando expostas a este tipo de luz. A figura 5.1 mostra o LED que foi selecionado para o projeto, fornecida pelo fabricante. A Tabela 5.1 apresentada as especificações técnicas do LED.



Figura 5.1 - LED UV da MaueBia eletrônica (foto fornecida pelo fabricante)

Tabela 5.1 - especificações técnicas do LED

Cor	UV (luz negra)
Tamanho	5 mm
Bulbo	Transparente
Comprimento de onda	395 ~ 400nm
Voltagem	3.4 ~ 3.6 v
Corrente reversa	10 uA
Intensidade luminosa	20000 mcd
Vida útil	100,000 Horas
Ângulo de abertura	60 graus
Consumo	500mw
Max Continuous Forward Current	100mA
Max Peak Forward Current	150mA
Voltagem reversa	5V
Temperatura de Soldagem	240°C (<5Sec)
Temperatura de Operação	de -30°C ~ +85°C
Temperatura de preservação	de -30°C ~ +100°C

O interesse em se fazer com que os raios de luz vindos da fonte luminosa incidam de forma paralela sobre o substrato está no fato de que incidindo dessa forma, rigorosamente apenas a parcela de polímero protegida pela linhas pretas da máscara não seria polimerizada, o que faria com que o perfil do canal fosse retangular, e associa-se a isso o fato de o interior dessa máquina ser inteiramente da cor preta, minimizando as reflexões de modo que os únicos raios de luz que incidem sobre o substrato são aqueles que vem diretamente do LED.

Uma segunda variável importante de se verificar é o “ângulo do feixe de luz”, que pode ser compreendido pela figura 5.2. O ângulo de abertura do feixe de luz do LED selecionado para o projeto é muito grande segundo o fabricante é de 60°. Apesar desse fato, esse foi o LED selecionado pois dentro da disponibilidade do mercado nacional, era o mais indicado para o projeto. Como já foi mencionado, é importante que o ângulo de abertura do feixe de luz seja pequeno, para que os raios incidam sobre o substrato de forma quase paralela e assim ser possível fabricar canais com secções transversais retangulares.

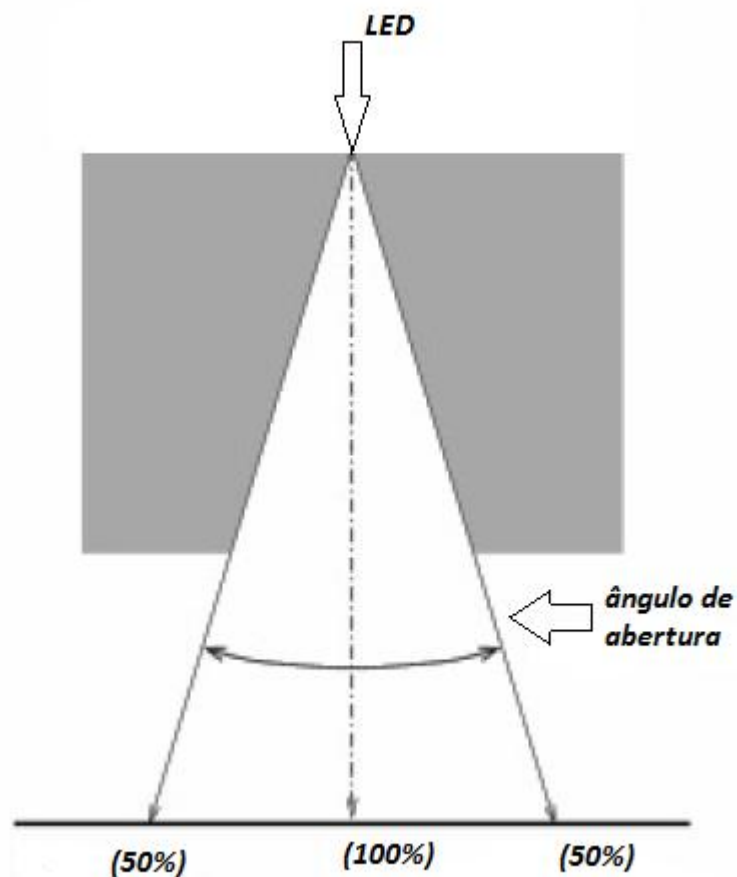


Figura 5.2 Ângulo do feixe de luz emitido pelo LED

As dimensões da fotoexpositora foram calculadas de modo a fazer com que o feixe de luz incida de forma quase paralela no conjunto máscara+substrato. Para isso é necessário determinar os valores corretos para a distância entre o LED e o substrato, para a área que se quer que fique exposta a luz.

As dimensões externas dos microdispositivos mostrados nos capítulos anteriores, que foram fabricados com a fotoexpositora comercial, eram de 4 centímetros por 8 centímetros. Deste modo foi definida como sendo 10 centímetros o diâmetro da área a ser atingida pela luz.

Como mencionado anteriormente, é importante que o feixe de luz incida sobre o substrato com seus raios quase paralelos. Entretanto o ângulo de abertura do LED, sendo grande é necessário que esse ângulo seja de alguma forma limitado. Visando

limitar o ângulo do feixe de luz, um anteparo com um furo foi colocado, reduzindo a angulação do feixe pra 10° , valor apropriado para que os raios atinjam o substrato estando praticamente paralelos entre si.

Uma vez determinados o valor da área a ser atingida pelo feixe, e o valor de ângulo adequado para que os raios de luz ao polimerizarem o substrato protegido pela máscara produzam um canal com secção transversal retangular, podemos determinar dimensões importantes na elaboração do projeto. Obtêm-se agora a distância adequada entre a fonte luminosa o conjunto máscara + substrato e o diâmetro do furo presente no anteparo. Essas dimensões são determinadas através de um cálculo básico de geometria. A figura 5.3 ilustra os ângulos e dimensões calculadas para a fotoexpositora.

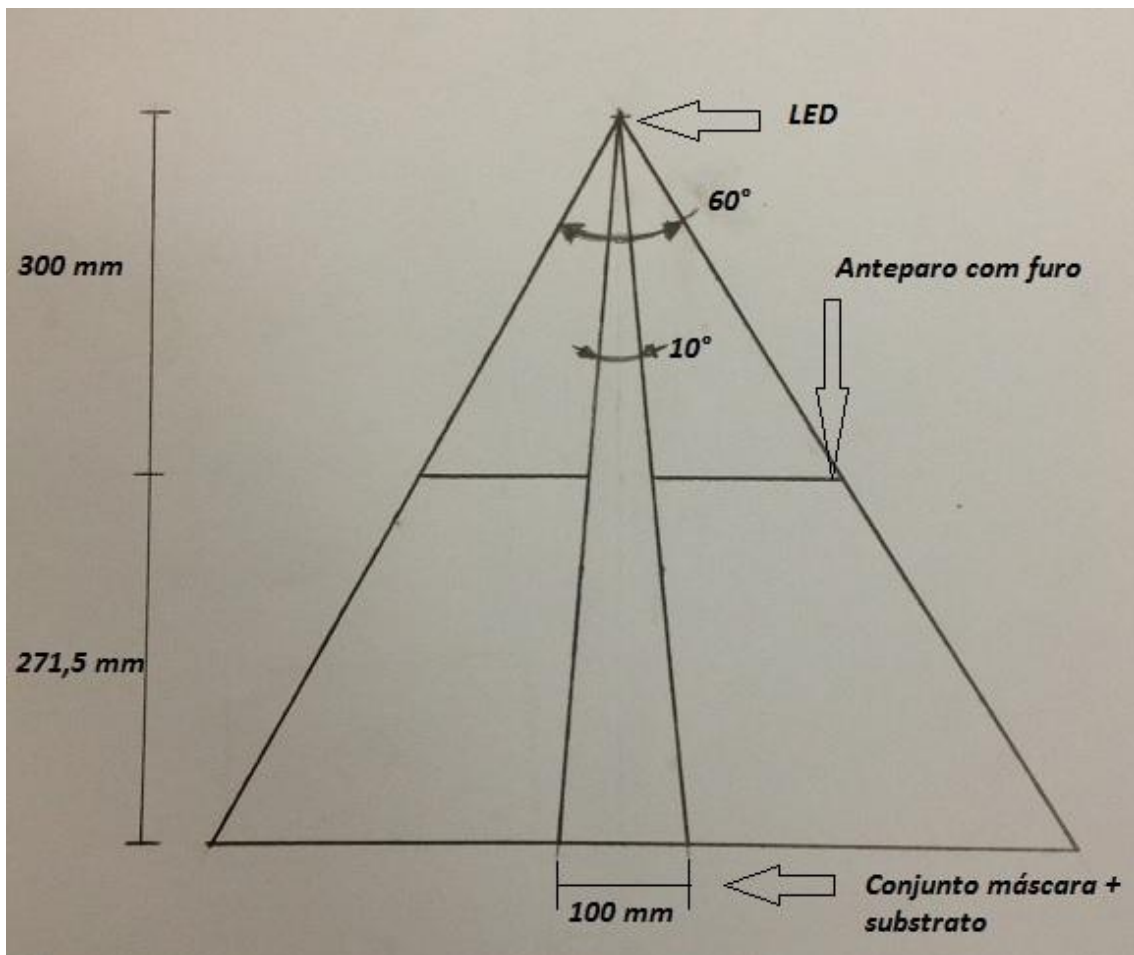


Figura 5.3- Esquema ilustrativo de ângulos e dimensões

Observa-se que em comparação com a fotoexpositora comercial na qual a potencia utilizada na polimerização é de 65W (quatro lâmpadas de 15 W cada), a máquina fotoexpositora de luz pontual possui apenas 500 mW de potencia para ser utilizada na polimerização, o que deve acarretar em tempos de exposição muito maiores.

É importante ressaltar que a presença do anteparo, responsável por limitar o ângulo do feixe de luz para 10° , não acarreta numa redução na potência do LED, pois o feixe de luz não está sendo colimado, e sim apenas está tendo sua passagem restringida.

Sabendo-se que a área na qual a amostra está contida é de 100 mm, e que o feixe de luz deve incidir sobre a mesma com um ângulo de 10° , determinamos como mostra a figura 5.7 que a distância entre o LED e a amostra deve ser de 571,5 mm. O diâmetro do furo do anteparo necessário para delimitar o ângulo para 10° depende da distância escolhida para separar o LED do anteparo. Assumindo uma distância de 300 mm entre o LED e o anteparo, o furo presente no anteparo apresenta um raio de 26,24 mm.

A figura 5.4 mostra um desenho ilustrativo da nova fotoexpositora de luz pontual proposta pelo presente trabalho, e a figura 5.5 ilustra uma vista do interior desta nova fotoexpositora mostrando como fica dividido seu interior e as figura 5.6, 5.7 e 5.8 mostram os desenhos técnicos da nova fotoexpositora com as suas respectivas cotas para as dimensões.

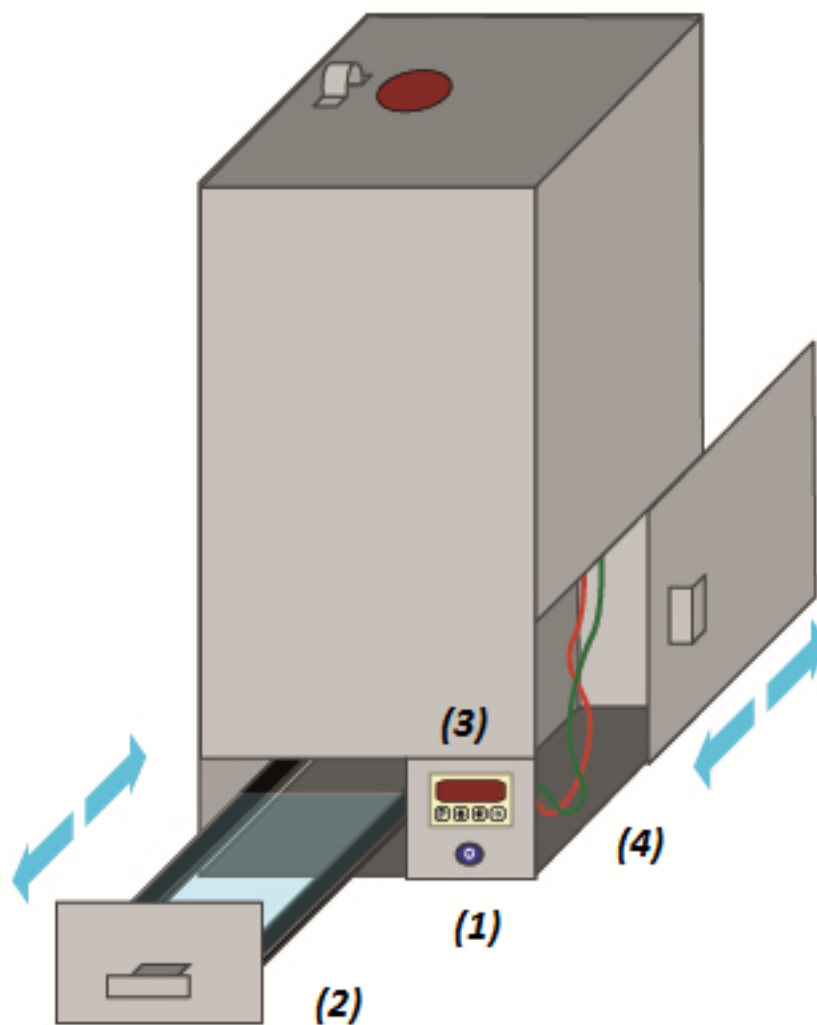


Figura 5.4 -- Desenho ilustrativo da nova fotoexpositora de luz pontual; (1)- Botão de acionamento; 2) porta de acesso na qual se insere o conjunto máscara+ substrato; (3) temporizador responsável pela determinação do tempo de exposição;(4) compartimento onde fica alojado o circuito elétrico

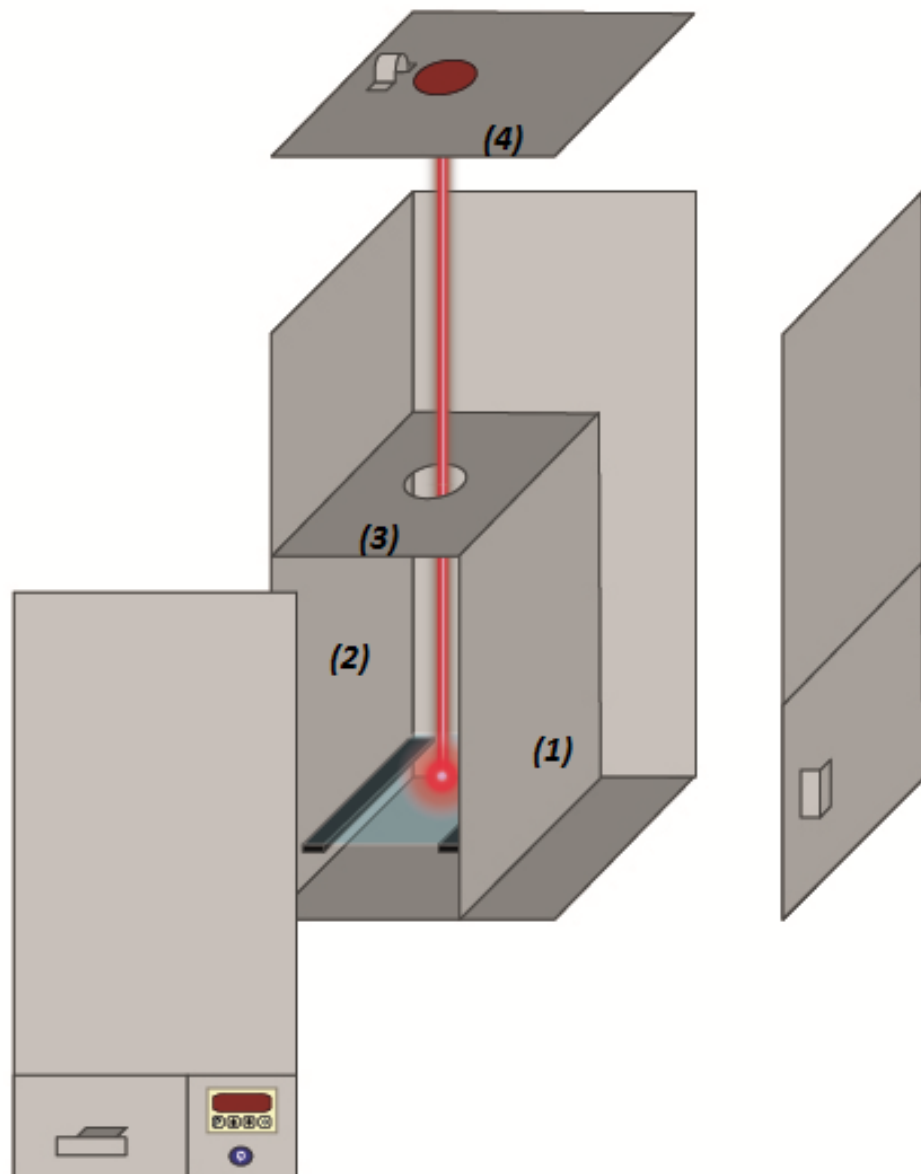


Figura 5.5 - esquema do interior da fotoexpositora; (1) divisória do equipamento destinada a conter o circuito eletrônico; (2) câmara de exposição, parte do equipamento na qual o conjunto máscara+substrato é inserido e exposto a luz UV;(3) anteparo com furo, responsável por limitar o ângulo do feixe de luz emitido pelo LED;(4) LED emissor de luz UV, fonte pontual de luz

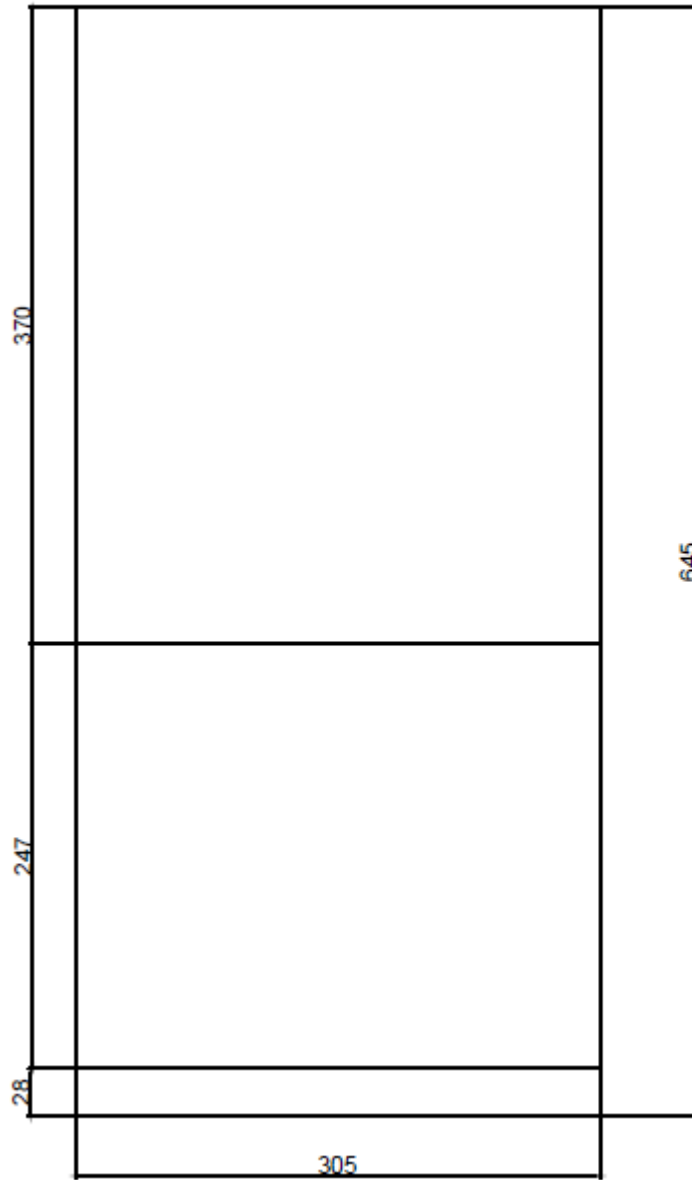


Figura 5.6 - Dimensões externas da fotoexpositora, dimensões em milímetros

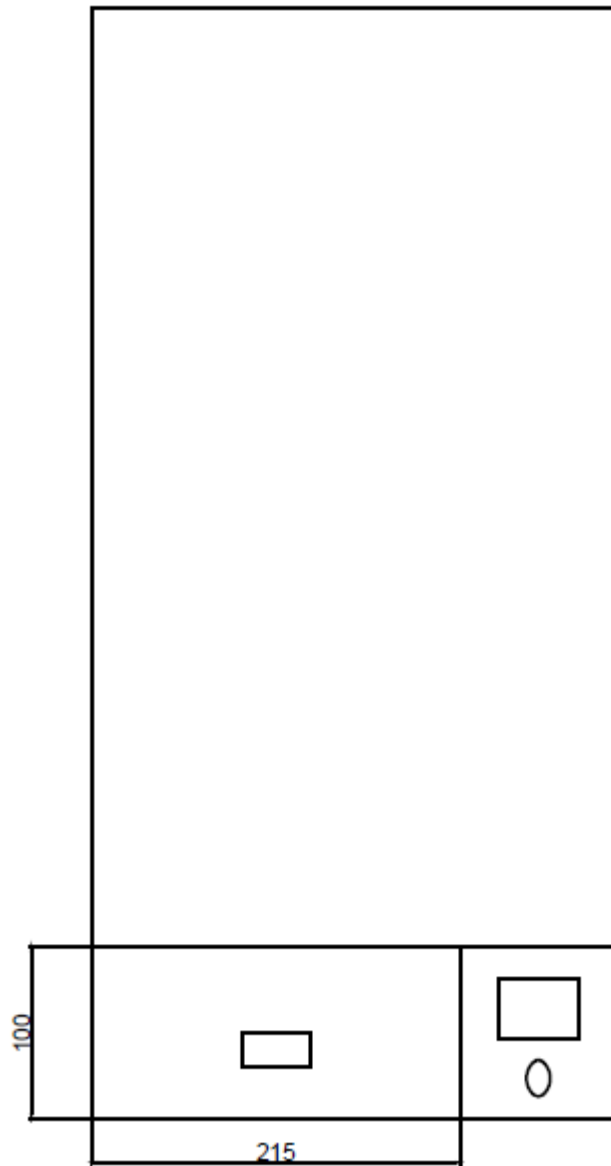


Figura 5.7 - dimensões da porta de acesso, cotas em milímetros

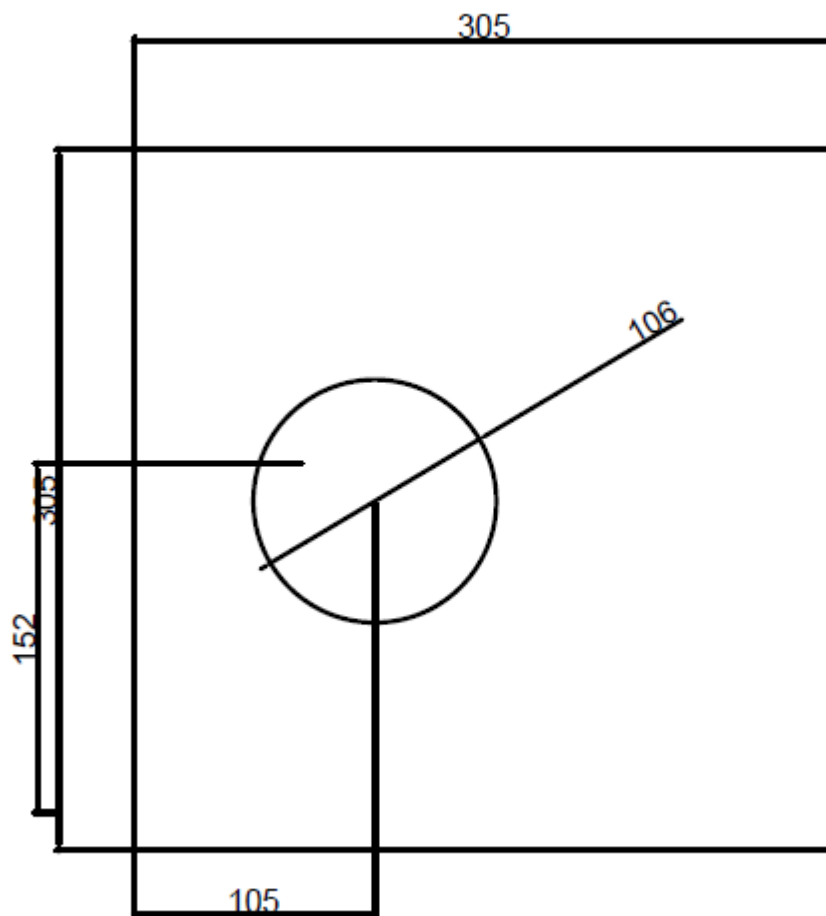


Figura 5.8 Dimensões do anteparo com furo, cotas em milímetros

Um circuito eletrônico foi construído para fazer a ligação entre o temporizador e o LED, assim permitindo ao usuário escolher por quanto tempo se deseja deixar o polímero exposto à luz. O temporizador selecionado foi o modelo TDH033N do fabricante THOLZ. Trata-se de um Temporizador digital multifunção programável e visualização dos tempos, o TDH pode ser configurado como temporizador ao pulso, instantâneo, ao retardo e cíclico. A tabela 5.2 mostra as características desse equipamento.

Tabela5.2 - características do temporizador

Dimensões	48x48x90mm
Peso aproximado	175g;
Alimentação	110/220Vca, 50-60Hz, 24Vca, 48Vca
Escalas	999,9s; 99,59min.; 999,9min.; 9999min

A figura 5.9 mostra um esquema do circuito elaborado para a fotoexpositora.

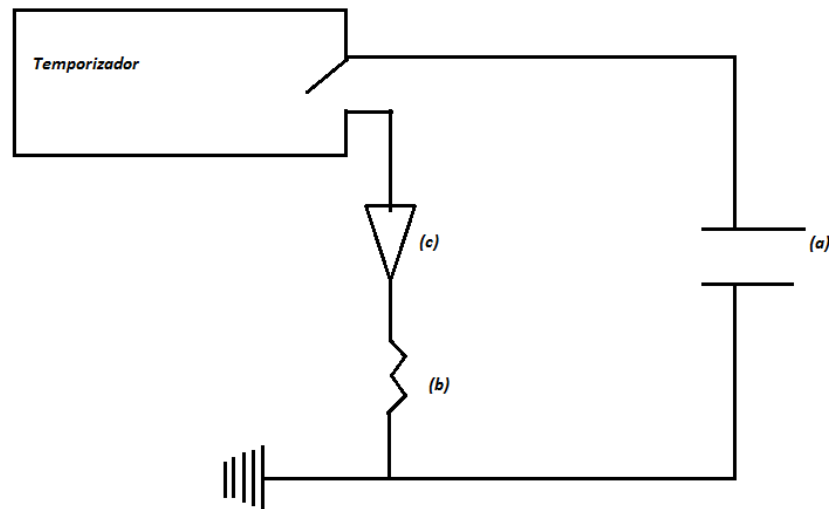


Figura 5.9 -circuito elétrico da fotoexpositora; (a) fonte de 5V; (b) resistor de 120 Ohms; (c) LED

5.2. Construção e montagem da nova fotoexpositora de fonte de luz pontual.

Uma vez já tendo se definido as dimensões necessárias para a máquina operar o passo seguinte que foi a sua fabricação. Para tanto foi contratada a empresa Deteken engenharia para a confecção da parte estrutural do equipamento. A figura 5.10 mostra a nova fotoexpositora fabricada.



Figura 5.10 - Fotoexpositora de luz pontual

A figura 5.11 mostra o conjunto máscara+substrato sendo inserido na fotoexpositora



Figura 5.11 - Fotoexpositora de luz pontual com conjunto máscara + substrato sendo inserido para posterior exposição a UV

A figura 5.12 mostra como o LED responsável pela emissão da luz UV fica preso no topo da máquina, na parte interna.



Figura 5.12 – LED preso na tampa que fica na parte superior interna do equipamento

A figura 5.13 mostra uma vista de cima do anteparo indicado na figura 5.8, para limitar o feixe de luz em 10°C segundo o projeto apresentado anteriormente.



Figura 5.13- Anteparo

A figura 5.14 mostra o compartimento reservado para o temporizador e o circuito eletrônico no interior da máquina.

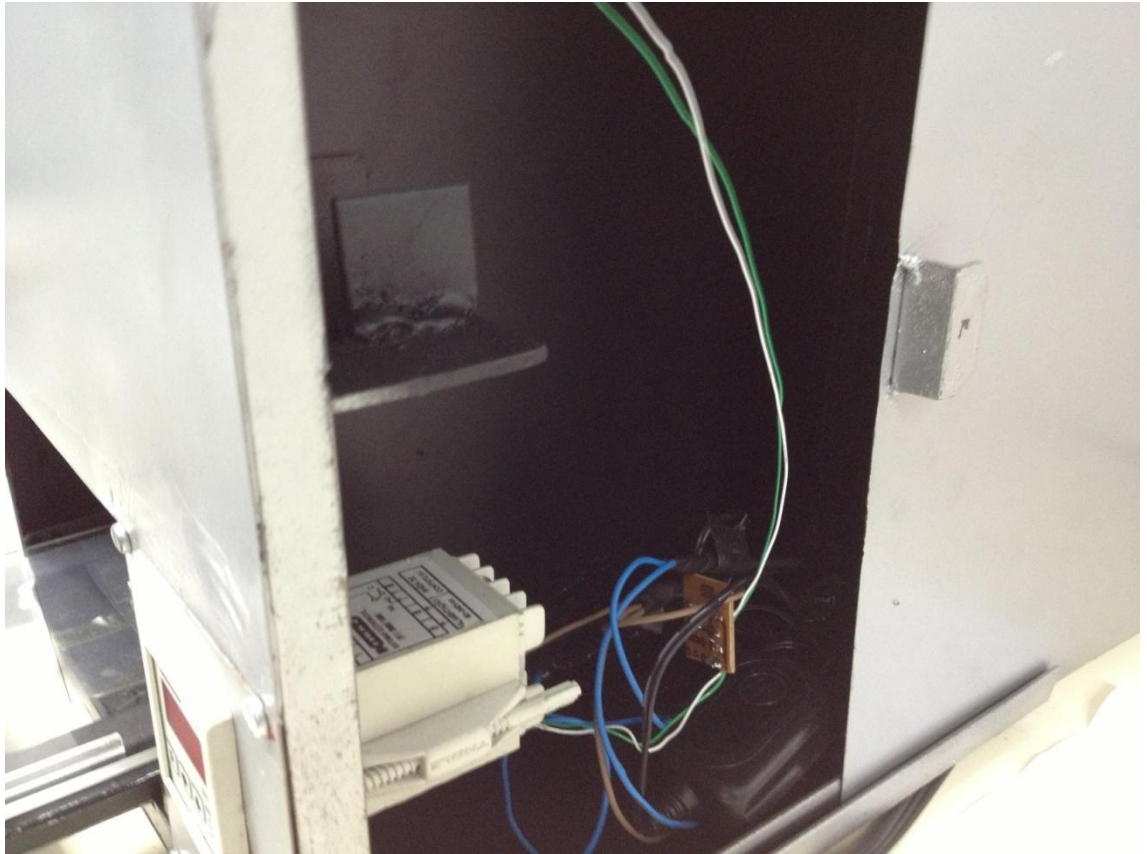


Figura 5.14 – Foto do compartimento reservado para o circuito eletrônico

Para se inserir o conjunto máscara + substrato na fotoexpositora, um suporte de acrílico” foi elaborado, com o intuito de conter o substrato e manter a uniformidade de suas superfícies. A figura 5.15 mostra esse suporte, com o conjunto máscara + substrato preso a ela, para posterior inserção na fotoexpositora.



Figura 5.15 - Suporte de acrílico utilizada para conter o conjunto máscara + substrato durante a exposição

No procedimento de fabricação com esta nova fotoexpositora é esperado a necessidade de uma dupla exposição sequencial, por ambos os lados, dos microssistemas. Uma vez que o feixe de luz só atinge o polímero de forma ortogonal, associando com o fato de não haver exposição de forma indireta, pois o interior do equipamento é todo preto, o polímero contido entre a máscara e o a placa de acrílico não sofre nenhuma polimerização, assim o canal fica sem “fundo”. Por isso, o processo de fabricação com a fotoexpositora de luz pontual, requer mais de uma etapa de exposição a luz ultra-violeta. A figura 5.16 mostra isso.

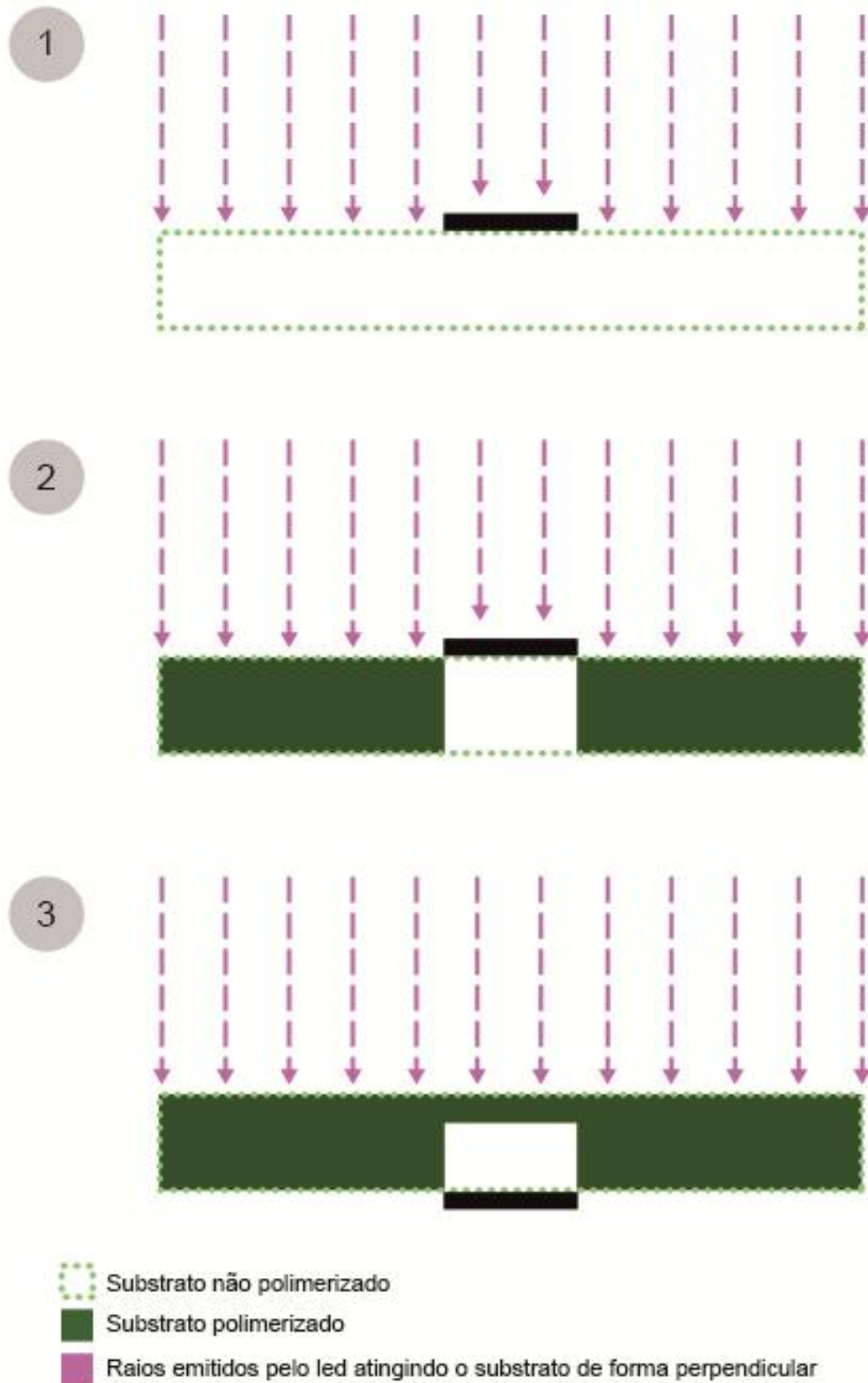


Figura 5.16 – (1) – Início do processo de exposição do substrato ao feixe de raios emitidos pelo LED que atingem o material de forma perpendicular; (2) Fim do processo de polimerização, a parte do substrato que não estava protegida pela máscara foi totalmente polimerizada; (3) Inversão do microsistema, para que possa ser polimerizado parcialmente a parte anteriormente protegida pela máscara, criado assim um “fundo” para o canal.

6. Conclusões e sugestões

O presente trabalho apresentou a técnica de microfabricação para o desenvolvimento de dispositivos microflúídicos a partir de uma resina de baixo custo, a uretana acrilato, usando para isso uma fotoexpositora comercial e apresentou o projeto e construção de uma nova fotoexpositora de fonte de luz pontual, com o objetivo principal de fabricar canais mais regulares e com seção transversal retangulares.

Fabricação dos microssistemas utilizando a fotoexpositora comercial foi baseada no trabalho proposto por FERNANDES e FERREIRA (2006), onde o polímero utilizado é uma fotorresina a base de uretana-acrilato, bastante empregada industrialmente no setor gráfico. As máscaras foram fabricadas utilizando papel do tipo transparência e com os desenhos dos microcanais impressos através de uma impressora a laser. A fabricação com o uso da fotoexpositora comercial apresentou um resultado bastante satisfatório com microssistemas de diferentes geometrias e dimensões com uma boa qualidade através de uma técnica simples e de custo muito baixo em relação às outras técnicas de microfabricação. Entretanto algumas particularidades e limitações foram constadas nesta fabricação sendo elas: a dependência das dimensões com relação ao posicionamento das mesmas com relação a fonte luminosa e a impossibilidade de se fabricar microssistemas com um seções transversais retangulares. Essa situação motivou o projeto de uma nova máquina fotoexpositora baseada fundamentalmente na mudança na fonte e na forma de iluminação no processo de fabricação.

A nova fotoexpositora com fonte de luz pontual foi projetada e contruída no contexto do presente trabalho, utilizando um LED de 500 mW de potência, com um ângulo de feixe de luz de 60°, tendo seu valor reduzido para 10° com o uso de um anteparo, do fabricante nacional MaueBia eletrônica. O projeto e a nova fotoexpositora contruída foram detalhadamente apresentado ao longo do presente documento.

Infelizmente observou-se que quando posta em operação, a nova fotoexpositora de luz pontual mostrou-se incapaz de polimerizar a resina. Diversos tempos de exposição foram tentados, tempos esses chegando a 80 minutos sem interrupções, mas sem sucesso.

Percebeu-se que apesar de o LED selecionado para o projeto emitir luz numa faixa de comprimento de onda adequada, a do ultravioleta, a baixa potência do LED foi crucial para a não polimerização do substrato. Todavia não foi possível encontrar no mercado nacional LED com as especificações desejadas.

Uma opção a vir a ser explorada é a utilização de um conjunto de LEDs que emitam na faixa do UV, e com isso ter um aumento considerável de potência.

Outra opção bastante interessante visando a continuação do presente trabalho seria a substituição do LED atual por um outros tipos de LED que podem ser encontrados no mercado internacional, sendo eles:

O LED fabricado pela empresa LEDengin, correspondente ao modelo LPZ-00UA00, tem potência de 19,5 Watts (19500 mW) à corrente de 1 A no comprimento de onda de 400 nm, tão potente quanto uma lâmpada fluorescente. A figura 6.1, mostra uma imagem desse LED.



Figura 6.1 Led da LEDengin, emite na faixa do UV, com uma alta potência

Também como sugestão para trabalhos futuros pode se pensar no uso combinado de LED e lente, neste sentido a propria LEDengin, teria o modelo LLSP-3T11-H que é uma lente que possui um grau de abertura de 15° o que visando atender as necessidades de uma fotoexpositora de luz pontual, é bastante interessante. A figura 6.2 mostra essa lente.



Figura 6.2 - lente com 15° de abertura do feixe

7. Referências bibliográficas

COSTA JUNIOR, JOSÉ MARTIM (2012) – Fabricação por fotolitografia e análise teórico-experimental de micromisturadores por transformação integral e termografia por infravermelho. Dissertação de mestrado – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Mecânica.

COSTA JUNIOR, J.M. ; SANTOS, G.N. ; NAVEIRA-COTTA,C.P ; FERREIRA, L. O. S. – Fabrication and Thermographic Analysis of Micro-Mixers with Polymeric Substrates. CONEM 2012 - Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2012, São Luis, MA. Anais do CONEM 2012 - Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Rio de Janeiro: ABCM, 2012. v. 1. p. 1-10.

FERNANDES J. C. B., FERREIRA L. O. S., “Manufacturing of miniature fluidic modules for lab-on-a-chip using UA photoresin form flexographic platemaking process”, J. Braz. Chem. Soc., V.17 No 4, pp.643-647, 2006.

FIORAVANTE JUNIOR, NEMER PASCHOAL (2006) – Caracterização e otimização dos processos de fotolitografia aplicados na fabricação de dispositivos micrométricos MOS e microssistemas. Dissertação de mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.

FONSECA A., RAIMUNDO Jr I. M., ROHWEDDER, J. J. R. e FERREIRA L. O. S., “Construction and evaluation of a flow injection micro-analyser based on urethane-acrylate resin ”, Analytica Chimica Acta, V.603, pp.159-166, 2007.

Chen, Kelvin, Fabricação por fotolitografia e análise de microrreatores para síntese do biodiesel, 2012

TABELLING P., 2005, Introduction to microfluidics. New York, Oxford.