



PROJETO DE GRADUAÇÃO

Projeto e Simulação de um Bocal para Equipamentos Atomizadores do Tipo UBV Pesados

Por,
Nelson Henrique Silva Carvalho

Brasília, 30 de Novembro de 2011

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO DE GRADUAÇÃO

Projeto e Simulação de um Bocal para Equipamentos Atomizadores do Tipo UBV Pesados

POR,

Nelson Henrique Silva Carvalho

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

Banca Examinadora

Prof. João M. D. Pimenta, UnB/ ENM (Orientador)

Prof. Taygoara Felamingo de Oliveira, UnB/ FGA

Prof. Dianne Magalhães Viana, UnB/ ENM

Brasília, 30 de Novembro de 2011

Agradecimentos

Inicialmente agradeço à minha namorada Michelly que sempre esteve ao meu lado, agradeço pelos inúmeros momentos felizes que passamos, e agradeço, especialmente, por ter me amparado e ajudado nos momentos mais difíceis dessa jornada, mesmo no fim, quando nem ao menos eu podia estar presente.

Meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que de alguma forma doaram um pouco de si para que a conclusão desse trabalho e minha graduação como Engenheiro Mecânico viesse a ser possível:

A minha mãe que sempre me mostrou o caminho certo e que, apesar dos obstáculos, me ensinou a enfrenta-los sempre de cabeça erguida, pois quem cresce e vive apoiado na família nunca está sozinho.

A meu pai que demonstra diariamente que conhecimento não está relacionado à título, papel ou documento algum, que sempre foi exemplo de que nenhum trabalho é indigno.

A minha vó Terezinha pelo grato e amargo café de todo dia, que por diversas me manteve acordado e disposto, e a minha vó Zenilda pela ‘gororoba’ de última hora e pelo apoio ao longo de todos esses anos.

As minhas irmãs, meu afiliado Joaquim, meu sobrinho; o mais novo integrante que vem para alegrar a casa e demais familiares, que de alguma forma me incentivaram e me deram apoio.

A minha nova e igualmente querida família, meu parceiro de cerveja e futebol, tão conhecido Zebrão, minha estimada D^a Eládia que me mostrou que arrumação é mais do que um detalhe, e minha quase cunhada e quase querida Marthina.

A meus companheiros de curso Sapecão, Linlin e, especialmente, ao Gustavo, que me acompanharam ao longo dessa jornada e que foram fundamentais para que a mesma fosse bem sucedida. Estaremos sempre juntos, irmãos de coração!

A meu professor orientador João Manoel Dias Pimenta pelo auxílio, disponibilidade de tempo e material, fundamentais neste projeto.

Agradeço ainda aos demais professores, técnicos e funcionários do Departamento de Engenharia da Universidade de Brasília pelos conhecimentos e experiência de vida que hoje carrego comigo.

Nelson Henrique Silva Carvalho

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo principal, em parceria com a Secretária de Vigilância em Saúde, desenvolver um bocal apropriado para aspersão UBV (ultrabaixo-volume) em equipamentos do tipo pesado, usados para dispersão de defensivos no combate à dengue, assim como a influência que parâmetros de operação como temperatura, vazão, pressão e a própria concentração do químico específico exercem sobre a formação das gotas em concordância com a geometria do novo bocal. Foi utilizado como base de projeto um equipamento de uso comum nos programas de combate à dengue, um nebulizador UBV pesado modelo 1800E, a partir do qual as especificações necessárias para uma montagem universal entre diferentes equipamentos foram definidas. As simulações do elemento projetado foram realizadas por meio do programa computacional SolidWorks e, por fim, são apresentados os desenhos técnicos necessários para a construção do mesmo. Os resultados a serem obtidos auxiliam a entidade parceira na resolução de um problema de extrema relevância para o quadro da saúde nacional, o combate à dengue.

Palavras Chave: dengue, bocal atomizador, aspersão de defensivos, ultrabaixo-volume, espectro de gotas, CFD.

ABSTRACT

This work has the main goal, in partnership with the Secretary of Health Surveillance, to develop a spray nozzle suitable for ULV (ultralow-volume) equipment in the heavy type, used for dispersion of pesticides in the fight against dengue, as well as the influence that operating parameters such as temperature, flow, pressure and concentration of specific chemical itself have on the formation of droplets in accordance with the geometry of the new nozzle. It was used a basic equipment commonly used in programs to combat dengue, a nebulizer UBV heavy model 1800E, which the necessary specifications for a universal mounting between different devices have been defined. Simulations were performed using designed computer program SolidWorks, and finally presents the technical drawings needed to build the new element. The results to be obtained from the trustee will help in solving a problem of great relevance to the framework of national health, the fight against dengue.

Keywords: dengue, nozzle atomizer, spraying of pesticides, ultra-low-volume, droplet spectrum, CFD.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 TEMA EM ESTUDO E SUA RELEVÂNCIA	1
1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
1.3 OBJETIVOS	7
1.4 METODOLOGIA	7
1.5 ESTRUTURA DO RELATÓRIO	8
2 REVISÃO DE CONCEITOS	10
2.1 DENGUE	10
2.1.1 <i>Aedes aegypti</i>	11
2.1.2 Prevenção e tratamento	12
2.2 ATOMIZAÇÃO	14
2.2.1 Atomização primária	15
2.2.2 Atomização secundária e a quebra de gotas	16
2.2.3 Número de Weber (We)	18
2.2.4 Número de Ohnesorge (Z)	18
2.2.5 Número de Reynolds (Re)	19
2.2.6 Número de Prandtl (Pr)	21
2.2.7 Número de Schmidt (Sc)	21
2.2.8 Transferência de calor e massa	22
2.2.9 Diâmetro representativo de amostra	24
2.2.10 Distribuição dos tamanhos de gota	25
2.3 BICOS ATOMIZADORES	27
2.4 SISTEMAS DE LEITURA DE ESPECTRO	29
2.4.1 Anemômetro de fio quente	29
2.4.2 Difração de raios laser	31
3 EQUIPAMENTO DE ASPERSÃO UBV	33
3.1 NEBULIZADOR UBV MONTADO	33
3.1.1 Motor	34
3.1.2 Soprador e bocal	36
3.1.3 Bomba dosadora	38
3.1.4 Reservatórios	39
4 PROJETO E SIMULAÇÕES	41
4.1 CARACTERÍSTICAS DE OPERAÇÃO	41
4.2 MATERIAIS	41
4.3 CONCEPÇÃO	42
5 CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXOS	54

LISTA DE FIGURAS

2.1	Aedes aegypti na forma adulta (Wikipédia).....	11
2.2	Tratamento perifocal (FUNASA, 2001).....	12
2.3	Equipamento UBV pesado montado sobre veículo (FUNASA, 2001).....	13
2.4	Equipamento UBV portátil (FUNASA, 2001).....	14
2.5	Atomização primária e secundária.....	15
2.6	Quebra de uma gota submetida a uma corrente de ar com aceleração constante (LAUDA et al, 2007).....	17
2.7	Função densidade de uma distribuição lognormal.....	27
2.8	Diferentes formatos de dispersão dos bicos atomizadores.....	28
2.9	DC-III, do fabricante KLD Labs (KLD Labs).....	30
2.10	Sonda do DC-III imersa na neblina (KLD Labs).....	30
2.11	Exemplo de resultado obtido com o DC-III (KLD Labs).....	31
2.12	Interação do raio de luz com uma partícula esférica, (a) ângulos difratados e (b) padrão de difração (Allen, 1997).....	31
2.13	Spraytec Optical System: (1) fonte de laser hélio-neon, (2) lente de colimação, (3) zona de medição, (4) lentes convexas, (5) conjunto detector de diodo de silício, (6) sistema de aquisição rápida de dados (Malvern, 2011).....	32
3.1	Vista superior do nebulizador UBV pesado.....	33
3.2	Motor Vanguard TM V-Twin 18HP.....	34
3.3	Manômetro, tacômetro e tempo de uso.....	35
3.4	Bateria automotiva Heliar Free 12V HL36JD.....	35
3.5	Funcionamento de um soprador do tipo ROOTS (Dresser, Inc., 2010).....	36
3.6	Soprador de lóbulo rotativo Dresser URAI 45 (Dresser, Inc., 2010).....	36
3.7	Admissão de ar pelo compressor.....	37
3.8	Vista externa (a) e explodida do bocal (b).....	37
3.9	Funcionamento de uma bomba dosadora (Fluid Metering Inc., 2009).....	38
3.10	Bomba dosadora FMI Q1 CSC (Fluid Metering Inc., 2009).....	38
3.11	Reservatórios de combustível e defensivo.....	39
3.12	Filtro na linha de defensivo.....	39
3.13	Reservatório do fluido de descarga.....	40
4.1	Base de fixação do bocal.....	43
4.2	Parte superior do bocal.....	43
4.3	Eixo central e rolamento.....	44
4.4	Vista geral (a) e em corte (b) do bocal.....	44
4.5	Malha de elementos finitos para simulação.....	45
4.6	Simulação de tensão distribuída.....	45
4.7	Simulação de deformação.....	45
4.8	Linhas de fluxo no interior do bocal.....	46
4.9	Fluxo de ar no interior do bocal.....	47
4.10	Fluxo de defensivo no interior do bocal.....	48

LISTA DE TABELAS

2.1	Valores típicos de Re em escoamentos.	20
2.2	Valores característicos do número de Prandtl.	21
2.3	Tempo de vida da gota de água e distância de queda (Costa et al).	23
2.4	Resultado esperado com a alteração dos parâmetros de aspersão.....	25
2.5	Classe de pulverização em função do DMV	25
3.1	Especificações técnicas do motor Vanguard™ V-Twin 18HP (Briggs & Stratton, 2008).....	34
4.1	Quadro resumo das condições máximas de operação.	41
4.2	Características mecânicas de ligas de alumínio (CALLISTER, 2002).	42
4.3	Análise modal da estrutura.	46

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos Latinos

<i>A</i>	Área	[m ²]
<i>cc</i>	Cilindrada	[cm ³]
<i>Cd</i>	Coefficiente de arrasto	
<i>D</i>	Diâmetro	[m]
<i>d</i>	Coefficiente de difusão	[m ² /s]
<i>h</i>	Coefficiente de transferência de massa	[kg/m ² .s]
<i>K</i>	Curvatura	[m ⁻¹]
<i>k</i>	Condutividade térmica	[W/m.K]
<i>m</i>	Massa	[kg]
<i>P</i>	Pressão	[kPa]
<i>q</i>	Energia transferida	[J]
<i>T</i>	Temperatura	[°C]
<i>V</i>	Volume	[m ³]
<i>v</i>	Velocidad	[m/s]
<i>w</i>	Umidade absoluta	
<i>x</i>	Fração molar	

Símbolos Gregos

Δ	Variación entre duas grandezas similares	
λ	Calor latente de vaporização	[J/kg]
μ	Viscosidade	[kPa.s]
ρ	Densidade	[m ³ /kg]
σ	Coefficiente de tensão superficial	[J/m ²]

Grupos Adimensionais

<i>La</i>	Número de Laplace
<i>Pr</i>	Número de Prandtl
<i>Re</i>	Número de Reynolds
<i>Sc</i>	Número de Schmidt
<i>We</i>	Número de Weber
<i>Z</i>	Número de Ohnesorge

Subscritos

<i>aero</i>	aerodinâmico
<i>Ar</i>	ar
<i>c</i>	calor
<i>ev</i>	evaporação
<i>i</i>	interno
<i>L</i>	líquido

<i>m</i>	mássico
<i>r</i>	relativo
<i>ts</i>	tensão superficial
<i>w</i>	bulbo úmido

Sobrescritos

•	Variação temporal
-	Valor médio

Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAD	Computer-aided Design
CFD	Computational Fluid Dynamics
DC	Dengue Clássica
DMV	Diâmetro Médio Volumétrico
FHD	Febre Hemorrágica da Dengue
FT	Faculdade de Tecnologia
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
LCD	Liquid Crystal Display
MS	Ministério da Saúde
NFPA	National Fire Protection Association
OMS	Organização Mundial de Saúde
OPAS	Organização Pan-Americana de Saúde
SCD	Síndrome do Choque da Dengue
SVS	Secretária de Vigilância em Saúde
UBV	Ultrabaixo-volume
UnB	Universidade de Brasília

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta uma introdução do trabalho, bem como sua relevância, objetivos, referências a estudos correlacionados e metodologia adotada.

1.1 TEMA EM ESTUDO E SUA RELEVÂNCIA

O processo de atomização de líquidos, que por definição se refere à desintegração de uma corrente líquida em pequenas gotas, é o tema em estudo deste trabalho, mais especificamente no que se refere à sua aplicação e uso no combate ao mosquito transmissor da dengue. Esse fenômeno pode ser naturalmente observado em quedas d'água, chuvas e sprays oceânicos, além de ser de grande importância e influência no desempenho de diversos campos da ciência e engenharia. Tendo em vista tal importância, diversos dispositivos têm sido desenvolvidos e são geralmente denominados atomizadores, nebulizadores, injetores ou “nozzles”.

No que diz respeito ao ramo da indústria aeronáutica e automobilística, assim como nos inúmeros campos que dependem de motores de combustão interna, o tema em questão tem fundamental importância nos processos de injeção de combustível. A correta introdução dos líquidos, bem como do comburente, na câmara de combustão garante um balanço estequiométrico adequado e, por consequência, uma melhor queima e melhoria na eficiência do sistema como um todo. Portanto, esse é um aspecto dos bicos injetores que merece um destaque especial e diversos trabalhos têm sido desenvolvidos com esse objetivo.

Quanto às indústrias alimentícias e farmacêuticas, a relevância da atomização de líquidos pode ser observada a partir dos métodos de secagem por nebulização, mais conhecida pelo termo “spray drying”. Essa é uma aplicação muito versátil, na qual é realizada a secagem de materiais com alta sensibilidade ao calor, como alimentos e materiais de origem biológica. Nesse sentido, podemos então destacar a produção de alimentos em pó, cereais, lácteos em geral, café e extrato de plantas, além de vacinas, antibióticos, vitaminas e a microencapsulação.

Ainda considerando as principais áreas onde os fundamentos da atomização de líquidos podem ser empregados, não se pode deixar de lado seu papel na agricultura, mais especificamente, na pulverização de pesticidas em plantações. Nesse caso, diferentemente das aplicações até então citadas nesse trabalho, gotas demasiadamente pequenas devem ser evitadas, visto que isso resultaria em uma baixa velocidade de queda das gotas pulverizadas e, em certas condições climáticas, aumentaria as chances de uma dispersão indesejada, não atingindo assim a planta-alvo.

De forma mais relevante para o presente trabalho, pode-se destacar o uso de dispositivos atomizadores no combate pontual e extensivo de pragas e prevenção de endemias, onde podemos destacar o combate ao principal mosquito transmissor da dengue, o *Aedes aegypti*,

a qual também pode transmitir febre amarela urbana. Esse mosquito vetor é potencialmente perigoso em regiões de clima tropical, como é o caso do Brasil, e tem representado uma constante preocupação no que se refere à qualidade da saúde nacional.

Pode-se distinguir o controle e a profilaxia dessa doença de duas formas, atuação mecânica ou química. De forma mais simplificada, o modelo mecânico consiste em evitar a proliferação dos insetos vetores, agindo principalmente sobre os recipientes que possibilitam o acúmulo de água e o desenvolvimento das formas imaturas do mosquito, seja por meio da remoção desses recipientes ou pela alteração das condições da água neles presente. Já a atuação química consiste na aplicação de químicos específicos, em doses pré-determinadas, nos locais de incidência do vetor.

Os programas de controle e combate à dengue têm se baseado principalmente no uso de produtos químicos e, portanto, um estudo do aparato instrumental utilizado para sua disseminação é de suma importância para o bom desenvolvimento das campanhas de saúde nacionais. Com esse propósito, destacam-se os equipamentos de nebulização UBV (ultrabaixo-volume) costais e do tipo pesado, esse último mais conhecido como “fumacê”. Ambos, tanto o costal quanto o pesado, têm por princípio a aplicação espacial, na forma de aerossol, de um defensivo específico para espécie a ser combatida, de forma que as partículas líquidas dispersadas permaneçam suspensas o maior tempo possível, a fim de atingir os insetos que estão no local tratado.

Portanto, é importante que a gota formada pela mistura água-defensivo, elemento chave do processo, esteja enquadrada nas condições de dispersão desejadas, a começar pelo seu tamanho. Nesse ponto, é fácil compreender que dimensões extremas são indesejadas na formação da névoa, pois, se muito grandes as gotas se depositam rapidamente e não cobrem a área necessária, enquanto que se extremamente pequenas elas se dispersam além do requerido.

No entanto, o simples fato de pulverizar um defensivo deliberadamente na região a ser tratada não é a solução ideal, pois esse novo elemento químico inserido em um ecossistema pode ser altamente nocivo para as demais espécies ali presentes, inclusive aos seres humanos. Segundo dados da Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS), somente no ano de 2009 foram adquiridos cerca de 250 mil litros de inseticidas e 3,5 toneladas de larvicidas, distribuídos ao longo das ações de controle vetorial naquele dado ano.

Dados de pesquisas recentes, divulgados pela Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS/MS), confirmam um quadro nacional preocupante, foram 393.583 casos confirmados de dengue clássica, 2.251 casos de dengue hemorrágica e 144 óbitos por dengue durante o ano de 2009. Mais recentemente, já no presente ano, surgiu uma nova variação da dengue, o tipo 4 da doença, e a possibilidade de uma nova crise nacional.

É sabido que, até abril do ano de 2011, foram registrados 56.882 casos da doença somente no estado do Rio de Janeiro, com 39 mortes registradas. Essa nova variação, não representa um risco

maior ou menor que suas antecessoras, contudo, assim como os tipos 1, 2 e 3, uma pessoa que já tenha tido algum dos tipos de dengue não está imune aos demais, ou pior, no caso reincidente a chance de contrair o tipo hemorrágico da doença é ainda maior.

Outro aspecto de extrema relevância para o quadro nacional e que ainda não está bem esclarecido é o impacto que uma epidemia como a dengue tem sobre a economia de um país. Tanto no que se refere aos custos diretos como hospitais, vacinas e a campanha de modo geral quanto aos custos indiretos, como a consequente queda na produção econômica, renda turística ou mesmo na renda familiar dos indivíduos afetados.

Somente no ano de 2009 foram gastos cerca de R\$55 milhões no combate à dengue no Brasil, dos quais R\$10,5 milhões foram gastos com equipamentos e insumos, R\$40 milhões em campanhas publicitárias e o resto distribuído entre testes, medicamentos, treinamento e capacitação. Nesse ponto, é importante salientar ainda que os equipamentos atualmente utilizados pelo governo brasileiro no combate à dengue são todos importados, apesar do Brasil ter plenas condições tecnológicas e econômicas de desenvolvimento e produção dos mesmos.

Portanto, tendo em vista o quadro brasileiro, é cada vez mais importante que engenheiros tenham uma melhor compreensão dos conceitos básicos e equipamentos envolvidos no processo de atomização de líquidos, bem como suas capacidades e limitações. Neste sentido, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um bocal que atenda especificamente as necessidades de atomização de defensivos no combate à dengue.

1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Desde muito tempo, trabalhos e estudos no campo técnico-científico têm sido desenvolvidos em prol do desenvolvimento de sistemas e dispositivos atomizadores nos mais diversos campos e atuação. Contudo, esse trabalho tem seu foco direcionado àqueles que apresentam maior relevância para fins de erradicação de mosquitos vetores de doenças por meio de nebulizadores, nesse caso mais específico, a dengue.

Nota-se na literatura disponível que, apesar do número de trabalhos realizados, ainda há necessidade de uma melhor compreensão do processo de atomização de líquidos quando aplicado a tecnologias de nebulização, assim como a influência que cada parâmetro de operação tem sobre a névoa desenvolvida. Essa caracterização é de fundamental importância, pois existem no mercado inúmeros fabricantes e modelos de equipamentos nebulizadores e a definição de padrões de uso permite a comparação e melhor escolha entre as opções disponíveis.

A formação e manutenção das partículas dispersas envolvem parâmetros de pressão interna e externa, as quais são influenciadas pela variação de velocidade do líquido em relação ao ar. Bernacki (1976), afirma que essa pressão interna é proveniente da tensão superficial com tendência a impedir a

ruptura da gota, gerando uma menor superfície, enquanto que a externa resulta da resistência do meio. Quando a partícula tem um grande diâmetro, a pressão externa sobre ela excede a tensão superficial e a mesma se rompe, dando origem a outras gotas de menores dimensões. À medida que as partículas vão diminuindo a tensão superficial aumenta até o ponto em que essa relação se aproxima do equilíbrio, ou seja, a pressão interna praticamente se iguala à externa e, apesar de não se equivalerem matematicamente, essa diferença não é suficiente para o colapso da estrutura.

O desenvolvimento e criação de um equipamento atomizador, segundo El Awayd (1978), requer um estudo aprofundado da geometria do bico aspersor, bem como da pressão de pulverização e das propriedades pertinentes ao líquido utilizado. Laureano (1983) disse que o processo de formação de gotas de tamanho uniforme não é simples e ainda exige certa qualidade do equipamento de pulverização de inseticidas, de forma que o mesmo ofereça condições de controle na formação das partículas de acordo com cada necessidade.

Ward (1985) investigou um sistema aspersor baseado em um disco rotativo e detectou variações na rotação do disco como resultado da variação da vazão e viscosidade do líquido. Para o experimento o autor utilizou diferentes misturas de glicerol, água e surfactante não iônico em uma faixa de vazão entre 0,06 e 0,30 L.min⁻¹ com o rotor variando entre 1423 e 1528 rpm. Ward concluiu então que a vazão, velocidade do disco e propriedades do líquido como massa específica, viscosidade e tensão superficial determinam o tamanho da gota produzida.

Posteriormente, Womac (1988) realizou trabalhos envolvendo bicos pneumáticos e uma solução de água destilada, óleo de soja e óleo mineral, em uma faixa de pressão entre 12 e 66 kPa. A partir desse experimento, o autor constatou que ao se aumentar a vazão de líquido obtém-se por consequência um aumento no diâmetro médio das gotas produzidas, assim com uma redução na vazão de ar. Em sua conclusão, Womac afirma ainda que ao se conhecer os parâmetros de produção dos bicos utilizados pode-se produzir uma ampla faixa de espectro de gotas.

Nesse mesmo ano de 1988, outro trabalho de extrema relevância para o tema aqui abordado foi desenvolvido por Marer, no qual o autor defende que a determinação da quantidade correta de defensivos a serem aplicados é o objetivo da calibração dos pulverizadores. Essa concentração mínima de químico, sem que a eficácia do processo seja prejudicada, previne danos aos seres humanos, ao ambiente e desperdícios. Para os dados fins, a técnica mais utilizada para o controle de mosquitos adultos vetores de doenças é a aplicação de ultrabaixo-volume (Aragão, 1988).

Seguindo essa linha de raciocínio, em 1992, Matthews definiu classes distintas de pulverização baseadas no tamanho das partículas, ou melhor, no diâmetro mediano de volume medido em micrometros (μm). Ainda segundo o autor, gotas com diâmetros acima de 100 μm se depositam muito rapidamente e já não são indicadas para o combate da forma alada do vetor, enquanto que partículas com diâmetros menores que 15 μm são vulneráveis ao vento e sensíveis a evaporação, em especial nos locais de clima tropical como é o Brasil.

A Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT, 1993) classifica os diferentes bicos quanto à fonte de energia utilizada para a atomização do líquido, são eles: hidráulicos, pneumáticos, centrífugos, eletrostáticos, térmicos e cinéticos. Dentre eles destacam-se os hidráulicos, pelos quais o líquido é pulverizado sob pressão; os pneumáticos, que utilizam gás ou vapor no processo; e os centrífugos, que configuram um mecanismo giratório no processo de aspersão.

Uma forma prática e fácil de calibrar um pulverizador do tipo costal, até mesmo pelo próprio operador, é apresentada por Salyani e Serdynski (1993), conhecida pelo método volume-área. Nesse procedimento o operador enche o reservatório de calda do equipamento a ser testado com água até uma marca de referência, feito isso, o líquido ali inserido é pulverizado conforme condições reais de aplicação sobre uma determinada área plana. Após pulverizar a água sobre essa área por completa, completa-se o reservatório até a marca de referência inicial, a diferença reposta é correspondente ao volume de fluido utilizado no experimento.

De posse do resultado obtido e da área pré-definida, define-se então uma taxa de aplicação, a qual deve ser comparada a um valor padrão referente a um funcionamento ideal do aparato. Os autores citam ainda que os erros na calibração têm sua origem na má escolha de bicos, bicos defeituosos ou desgastados, na velocidade inadequada de aplicação consequente do deslocamento da lança ou do carro, no uso de vazões impróprias de líquidos e se tornam críticos à medida que são utilizadas formulações cada vez mais concentradas e caras.

A Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2001) lançou um manual de normas técnicas contendo instruções para pessoal de combate ao vetor da dengue e da febre amarela, o *Aedes aegypti*. Nesse documento são apresentadas diversas informações acerca do tema, como a biologia dos vetores e o histórico de suas presenças no Brasil, questões geográficas, controle biológico entre outros. Um capítulo em especial desse manual apresenta grande relevância para o tema abordado nesse relatório, o qual trata do tratamento focal, perifocal e de ultrabaixo-volume no que diz respeito ao químico utilizado, bem como suas concentrações, condições e técnicas de aplicação.

Da Costa (2002), a partir de uma avaliação de desempenho de um pulverizador pneumático costal, afirma que a escolha dos bicos dosadores é de extrema importância para se obtenha uma redução significativa das perdas de produto, dado um aumento na vazão média de 69,6%, relativo à troca dos bicos. Nesse mesmo trabalho, o autor descreve uma relação importante entre o ângulo da lança aplicadora e o disco utilizado sobre a vazão média do equipamento, a qual influencia diretamente o resultado do controle do vetor.

O autor observou a existência de resíduos no sistema de mangueiras que, quando da aplicação de defensivos pode ser causa de intoxicação por parte do operador, principalmente nas operações de manutenção. Da Costa identifica ainda a necessidade de uma determinação do espectro de gotas por meio de equipamentos específicos que possam garantir a coleta adequada das gotas do aerossol, como um analisador de partículas por difração de laser.

Um estudo sobre a caracterização tecnológica de equipamentos do tipo UBV e a normatização de ensaios experimentais a partir de suas especificações técnicas foi feito por Sciani (2005). O autor realizou uma padronização de características de testes desses equipamentos, possibilitando a validação de testes de campo a serem posteriormente realizados.

Da Silva e Neto (2006) estudaram uma metodologia, baseada experimentalmente, no intuito de quantificar o espectro de gotas formado em um sistema de aspersão do tipo difusores jato-placa utilizando técnicas de filmagem rápida. Com o intuito de compreender as variáveis que influenciam esse sistema, os autores variaram em dois níveis distintas características dos experimentos realizados como o diâmetro do bico ejetor, a vazão de água, a distância entre o bico e a placa e o tipo de conicidade da placa aspersora. A partir dos resultados obtidos, foi estabelecido um nível de significância entre as variáveis analisadas, de forma que as variáveis diâmetro de bico do ejetor, vazão de água e afastamento do bico em relação à placa se mostraram com maior nível de significância, superior a 5%, enquanto que a variável conicidade da placa não apresentou nível de influência significativa segundo os autores.

Ferreira et al (2007) realizaram um estudo sobre fatores qualitativos da ponta de energia hidráulica MAGNO ADGA 110015 com o objetivo de caracterizar o diâmetro e a uniformidade das gotas e o perfil de distribuição volumétrica quando submetida à pressões de 207 e 310 kPa. Para a análise de distribuição volumétrica os autores utilizaram três exemplares do modelo ADGA 110015 instalados isoladamente e afastados 50 cm de uma chapa de metal corrugada em “V”, os resultados foram analisados por meio do programa computacional GENES. Já no que se refere ao espectro de gotas, os autores o determinaram de forma direta por meio de um analisador de diâmetro de partículas por difração de raios laser, modelo Mastersizer S versão 2.15. Os resultados obtidos foram um coeficiente de variação de 10,83% com uma pressão de 207 kPa e 3,24% para 310 kPa, ao passo que a uniformidade do jato não apresentou alteração significativa quando da alteração de pressão.

Neto e Mainier (2008) estudaram as tecnologias existentes utilizando água atomizada como agente extintor de incêndios em instalações. Em seu trabalho os autores analisaram a eficácia da extinção com sistemas de água atomizada e definiram três principais parâmetros que a determinam, o tamanho da gota pulverizada, a densidade do fluxo e o momento em que a pulverização é realizada. São esses parâmetros também que definem características do sistema como o espaçamento entre os bicos aspersores e o limite de altura de teto para a instalação. Os autores caracterizam ainda o processo de geração de água atomizada em relação ao nível de pressão, conforme a NFPA 750 (2003), sendo de baixa pressão para até 12,1 bar; média pressão para sistemas entre 12,1 e 34,5 bar; e alta pressão para pressões maiores que 34,5 bar.

Em outra metodologia para quantificar a eficiência de aspersão de líquidos em sistemas comerciais, dessa vez com foco nos distribuidores do tipo espinha de peixe, Moraes et al (2008) verificaram a validade de modelos empíricos e equações de projeto, aplicando a técnica desenvolvida

em nove distribuidores de líquidos. No estudo em questão, os autores variaram a vazão do líquido e a quantidade de furos na unidade experimental, e o diâmetro dos orifícios em três níveis diferentes cada repetindo cada experimento duas vezes, totalizando 54 experimentos. Por resultado obteve-se a configuração com 159 furos/m² (20 furos no distribuidor) de 2 mm de diâmetro e vazão de 1,4 m³/h como sendo a melhor distribuição, ao passo que a configuração com 95 furos/m² (12 furos no distribuidor) de 2 mm de diâmetro e vazão de 1,2 m³/h apresentou o maior desvio-padrão, sendo, portanto, a pior configuração analisada.

Tendo em vista os estudos e trabalhos apresentados neste relatório, pode-se concluir que o atual estágio de conhecimento em torno do tema central deste trabalho revela certa carência no que diz respeito à existência de um bocal específico que atenda as necessidades da aspersão de defensivos, gerado a partir de equipamentos de aspersão do tipo ultraabaixo-volume pesado, sobretudo àqueles utilizados no combate ao mosquito vetor da dengue.

1.3 OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo principal, em parceria com a Secretária de Vigilância em Saúde, projetar e simular um bocal para aspersão de defensivos no combate à dengue, assim como analisar a influência que parâmetros de operação como temperatura, vazão, pressão e a própria concentração do químico específico exercem sobre a formação e distribuição das gotas a partir da geometria proposta.

Tendo em vista esse objetivo, o trabalho a ser desenvolvido foca na aspersão de defensivos do tipo ultraabaixo-volume (UBV), a qual é de grande relevância para o tema abordado. Associadas a esse objetivo, as seguintes metas devem ser cumpridas para que o resultado obtido seja o melhor possível quando do proposto:

- Revisão bibliográfica e conceitual do tema abordado;
- Projeto do bocal: desenhos técnicos e auxiliados por computador (CAD);
- Simulação por meio da ferramenta computacional FloXpress;
- Aquisição de dados e análise dos resultados obtidos.

1.4 METODOLOGIA

Com o intuito de atingir o objetivo apresentado, bem como suas metas associadas, a etapa inicial do trabalho desenvolvido apresenta um estudo e análise da literatura existente, uma revisão bibliográfica dos trabalhos já realizados bem como dos conceitos pertinentes ao assunto abordado. Realizado esse embasamento teórico, deve ser feito um projeto inicial do bocal a ser desenvolvido para o equipamento UBV pesado.

Em seguida, já com o escopo inicial do projeto, serão feitos os desenhos técnicos detalhados para sua futura construção, bem como desenhos assistidos por computador para a simulação computacional. Nas simulações, deve-se buscar variar as condições de operação a partir de vazões, pressões e constituição do defensivo a ser atomizado, de forma a intensificar o efeito que cada alteração provocaria na geração da névoa. Os valores desses parâmetros serão pré-determinados em três níveis, A (inferior), B (médio) e C (superior), de acordo com as especificações do equipamento definido como padrão, o modelo 1800E da empresa Clarke.

Na fase final, já de posse dos resultados obtidos durante as simulações, tabelas e gráficos serão plotados para possibilitar uma melhor visualização e compreensão da sensibilidade da névoa formada quanto à variação de cada elemento operacional em conjunto com o bocal proposto. Finalmente, o trabalho realizado deve contribuir, por meio da análise do processo atomizador de elementos químicos, com um tema de extrema relevância nacional, o combate à dengue.

1.5 ESTRUTURA DO RELATÓRIO

O material apresentado neste relatório encontra-se organizado e distribuído ao longo de seis capítulos. O primeiro é dedicado à introdução do trabalho realizado, no qual é apresentado o tema em estudo bem como sua relevância para o desenvolvimento do país, social e economicamente. Ainda nesse capítulo inicial é feita uma revisão bibliográfica dos trabalhos realizados, elucidando o que já se desenvolveu e o que ainda está por ser feito, seja por dificuldades tecnológicas ou deficiência de conhecimento. Por fim, apresenta-se o objetivo central do trabalho, assim como as metas complementares envolvidas e a metodologia empregada para tais fins.

No capítulo seguinte, é feita uma revisão dos conceitos mais fundamentais e relevantes para a devida compreensão do assunto abordado. Nesse capítulo então, são expostos o problema da dengue e suas peculiaridades, as condições necessárias e os problemas envolvidos na aspersão de líquidos, assim como a teoria que cerca equipamentos de análise de partículas de alta precisão e uma caracterização dos bicos atomizadores existentes no mercado.

Em sequência, o terceiro capítulo traz uma caracterização detalhada do equipamento nebulizador UBV disponibilizado pela Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS/MS), assim como as condições a que pode ser submetido e no qual se baseou o projeto do bico atomizador.

Já o quarto capítulo trata do projeto em si, as definições e escolhas tomadas quanto à geometria e material empregado, bem como suas respectivas justificativas. São apresentadas ainda nesse capítulo as visualizações tridimensionais projetadas com auxílio de desenhos assistidos por computador (CAD), as simulações realizadas e seus resultados apresentados e sintetizados em forma de imagens, gráficos e tabelas.

Ao término desse relatório, no quinto e último capítulo, são feitas algumas conclusões acerca da situação atual e relevância do tema abordado, dos resultados obtidos quando comparados aos objetivos almejados e quão significantes eles se apresentam no auxílio da solução de um problema de grande relevância nacional, a dengue. Por fim, são listadas as referências bibliográficas que se mostraram pertinentes e que foram base fundamental durante todo o desenvolver do trabalho, assim como os dados complementares ao relatório e desenhos técnicos, esses em forma de anexos.

2 REVISÃO DE CONCEITOS

Serão apresentados neste capítulo os conceitos mais significantes para a devida compreensão do tema abordado e da terminologia utilizada no desenvolver do projeto.

2.1 DENGUE

Segundo a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), os primeiros relatos sobre a dengue no mundo datam de 1779, na Ilha de Java, enquanto que a primeira epidemia da doença com confirmação laboratorial no Brasil ocorreu no ano de 1982 em Boa Vista (RR). Desde então, vários picos epidêmicos podem ser observados com ocorrência principalmente nos meses de janeiro a maio, caracteristicamente em áreas de climas tropicais e subtropicais.

Essa é uma doença febril aguda caracterizada por dores musculares e articulares e possui como agente um arbovírus do tipo *Flavivírus*, do qual existem quatro variações do sorotipo: DEN-1, DEN-2, DEN-3, DEN-4. A infecção por um dos sorotipos garante imunidade permanente para o mesmo sorotipo e parcial e temporária para os demais (FUNASA, 2001).

Indivíduos infectados pelo vírus da dengue podem manifestar dois tipos distintos da doença, a dengue clássica (DC) e a febre hemorrágica da dengue (FHD). O tipo clássico, geralmente, se apresenta com uma febre alta entre 39 e 40 °C, seguida de cefaleia, mialgia, prostração, artralgia, anorexia, astenia, dor retroorbitária, náuseas, vômitos, exantema, prurido cutâneo, dor abdominal (principalmente em crianças) e hepatomegalia (ocasional), podem ocorrer ainda pequenas manifestações hemorrágicas. O tipo clássico tem duração de 5 a 7 dias, havendo então a regressão dos sintomas, mas podendo persistir a fadiga.

No caso da febre hemorrágica da dengue, os sintomas são semelhantes ao do tipo clássico, contudo, no terceiro ou quarto dia após a contaminação o quadro se agrava com dores abdominais intensas, sinais de debilidade profunda, agitação ou letargia, palidez de face, pulso rápido e débil, hipotensão, hemorragias espontâneas, derrames cavitários, cianose e diminuição brusca da temperatura. Nos casos mais graves de FHD, ocorre a síndrome do choque da dengue (SCD) entre o terceiro e sétimo dia, proveniente do aumento da permeabilidade vascular, seguida de hemoconcentração e falência circulatória. A SCD tem curta duração e pode levar a óbito em 12 a 24 horas, mas pode ser tratada com terapia antichoque (SVS/MS).

O vírus da doença é transmitido por meio da picada de mosquitos vetores do gênero *Aedes*, sendo os principais agentes existentes no Brasil aqueles da espécie *Aedes aegypti*. A transmissão do vírus ocorre a partir do momento em que a fêmea da espécie vetora é contaminada ao picar um dado indivíduo infectado que se encontra na fase virêmica da doença, aquela em que há vírus no sangue. Ocorrido isso então, após um período de 10 a 14 dias a fêmea se torna capaz de transmitir o vírus

através de picadas pelo resto de sua vida. Não há transmissão por contato direto entre um indivíduo doente ou de suas secreções e uma pessoa sadia, nem por fontes de água ou alimento. Apesar de a contaminação ocorrer por meio da forma adulta do mosquito, é importante salientar que o combate à doença não se resume a atacar o mosquito vetor nessa fase, mas também no controle e eliminação dos criadouros onde são depositados seus ovos.

2.1.1 *Aedes aegypti*

Várias espécies de mosquitos do gênero *Aedes* podem servir como transmissores do vírus da dengue, mas no Brasil a principal é a *Aedes aegypti*, o qual é transmissor também da febre amarela urbana. O *Aedes aegypti* é uma espécie tropical e subtropical, encontrado em todo o mundo entre as latitudes 35°N e 35°S, tipicamente em altitudes abaixo de 1.000m acima do nível do mar.

Por sua estreita relação com o ser humano, esse é um mosquito tipicamente urbano, encontrado em abundância em cidades, vilas e povoados. Os mosquitos se desenvolvem através de uma metamorfose completa passando por quatro fases durante seu ciclo de vida, ovo, larva, pupa e adulto. A forma adulta do inseto é ilustrada a Fig. (2.1).



Figura 2.1 – *Aedes aegypti* na forma adulta (Wikipédia).

Menor que os mosquitos comuns, o *Aedes aegypti* é preto com pequenos riscos brancos no dorso, na cabeça e nas pernas, suas asas são translúcidas e o ruído que produzem é praticamente inaudível pelo ser humano. Os machos se alimentam exclusivamente de frutas assim como os de qualquer espécie, mas as fêmeas necessitam de sangue para o amadurecimento dos ovos que são depositados separadamente nas paredes internas de objetos ou próximos a extensas superfícies de água limpa, local que oferece melhores condições de sobrevivência.

As fêmeas têm preferência pelo sangue humano como fonte de proteína e escolhem, geralmente, pés e tornozelos, pois costumam voar em pequenas altitudes. A saliva desse mosquito possui uma

substância anestésica, que torna quase indolor sua picada. Usualmente, os ataques aos hospedeiros ocorrem no período da manhã ou ao entardecer.

2.1.2 Prevenção e tratamento

Apesar dos esforços direcionados para a pesquisa e desenvolvimento de uma vacina contra a dengue, ainda não existe uma droga antiviral específica eficaz e, sendo assim, o único elo vulnerável da cadeia epidemiológica é o mosquito vetor. A estratégia para alcançar essa meta deve envolver um processo de educação em saúde, por meio dos mais variados meios de comunicação, e uma intensa mobilização social.

Portanto, o combate ao vetor deve desenvolver ações continuadas de inspeções domiciliares, eliminação e tratamento de criadouros potenciais. A finalidade dessas ações rotineiras é manter a infestação do mosquito vetor em níveis incompatíveis com a transmissão em grande escala da doença, prevenindo assim epidemias locais.

De forma simultânea às rotinas expostas, o combate ao *Aedes aegypti* deve ser feito também por meio da aplicação de produtos químicos ou biológicos, através do tratamento focal, perifocal e da aspersão aeroespacial de inseticidas em ultrabaixo-volume (UBV). O tratamento focal consiste na aplicação de um produto larvicida em depósitos positivos para formas imaturas do mosquito, que não possam ser eliminadas mecanicamente.

Já o tipo perifocal, é indicado para localidades recém-infestadas como medida complementar ao tratamento focal e consiste na aspersão residual de inseticida nas paredes externas dos depósitos. Nesse caso, o objetivo é pulverizar o defensivo utilizando um equipamento costal em pontos estratégicos e atingir o mosquito que ali pousar para repouso ou desova. A Figura 2.2 ilustra uma típica aplicação do tratamento perifocal.



Figura 2.2 – Tratamento perifocal (FUNASA, 2001).

Segundo instruções de combate a dengue dadas pela Fundação Nacional de Saúde, a aplicação dos defensivos no processo de tratamento focal deve ser feita de cima para baixo, em faixas verticais com superposição de 5 cm entre elas, de modo que o bico aspersor fique a uma distância de 45 cm da superfície a ser borrifada e se mova com velocidade de 22 cm/s. Os inseticidas usados nesse tratamento são do grupo Piretróides com concentração final de 0,3% do ativo e, segundo o manual, para o químico Cypermetrina a mistura deve ser feita diretamente no equipamento dissolvendo 78g do pó a 40% em 10L de água (FUNASA, 2001).

No que se refere ao tratamento em ultrabaixo-volume, esse se refere ao método em que as partículas do inseticida aplicado apresentam um volume muito baixo, para o caso específico de combate ao *Aedes aegypti*, esse valor geralmente está entre 10 e 15 μm . Em situações de epidemia, o uso de equipamentos do tipo UBV pesado em conjunto com ações de limpeza e eliminação de depósitos potenciais são aconselhados, pois promovem a rápida interrupção da transmissão.

Esse método também está previsto no manual de combate à dengue da Funasa, segundo o qual a aspersão do tipo UBV pesado não deve ser feita quando a velocidade do vento for superior a 6 km/h para que as partículas aspergidas não sejam transportadas para fora da área alvo de tratamento. No caso em que o equipamento pulverizador se encontra instalado em um automóvel, conforme a Fig. 2.3, determina-se uma velocidade máxima de 16 km/h para o mesmo, de forma que o pulverizador seja direcionado para as casas com uma inclinação de aproximadamente 45°.



Figura 2.3 – Equipamento UBV pesado montado sobre veículo (FUNASA, 2001).

Recomenda-se que o tratamento pelo método UBV seja realizado em ciclos semanais com o objetivo de atingir os adultos provenientes de ovos e larvas presentes no local que não foram eliminados. Esse método apresenta como vantagem o fato de ser capaz de eliminar rapidamente uma população adulta do mosquito vetor, possuir um alto rendimento quanto à área tratada e em um menor

intervalo de tempo, as partículas geradas possuem maior capacidade de se aderirem ao corpo do inseto e por cobrir áreas proporcionais a quarteirões.

Contudo, o método UBV pesado ainda apresenta certas desvantagens quando comparado ao método residual, visto que exige mão-de-obra e assistência especializada, sofre grande influência das condições climáticas como vento, chuva e temperatura e não exerce influência sobre as formas imaturas do mosquito. Como forma complementar ao método UBV pesado, equipamentos UBV portáteis têm sido empregados em áreas de difícil acesso onde os equipamentos montados não têm com chegar. A Fig. 2.4 ilustra um operador com um equipamento UBV portátil do tipo costal.

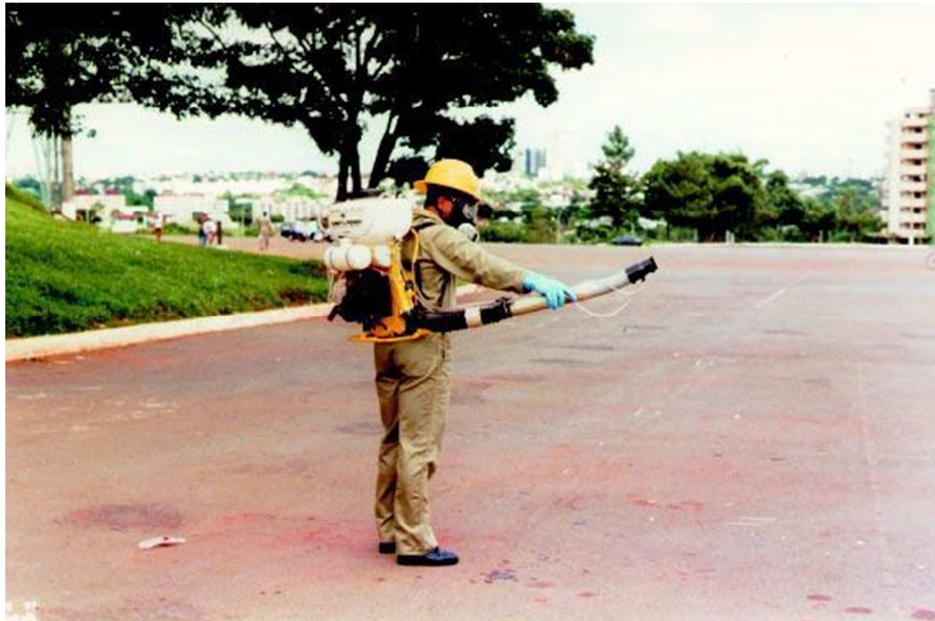


Figura 2.4 – Equipamento UBV portátil (FUNASA, 2001).

2.2 ATOMIZAÇÃO

A atomização de líquidos é o processo pelo qual uma determinada massa de líquido é transformada em pequenas partículas, desintegrada pela energia cinética do próprio fluido ou pela exposição do mesmo a uma corrente de ar ou gás de alta velocidade, ou ainda pela aplicação de uma energia mecânica externa por meio de elementos rotativos ou vibratórios.

O objetivo básico desse processo é multiplicar a área superficial do líquido a partir de uma redução do volume de suas partículas. Dessa forma, é possível que processos baseados em reações químicas sejam potencializados pela atomização dos reagentes, assim como a pulverização de inseticidas no ar se torne mais eficaz, visto que uma mesma quantidade de líquido será capaz de cobrir uma área muito maior.

Em um primeiro estágio, o jato de líquido ou filme líquido que se deseja atomizar é desintegrado gerando várias gotas de grande diâmetro, fase conhecida por atomização primária. Em seguida, essas gotas geradas são reduzidas gradativamente até o ponto ideal de pulverização determinado em projeto,

geralmente apresentam tamanhos com grandeza de algumas dezenas de μm . Essas duas fases podem ser visualizadas conforme a Fig. (2.5) a seguir.

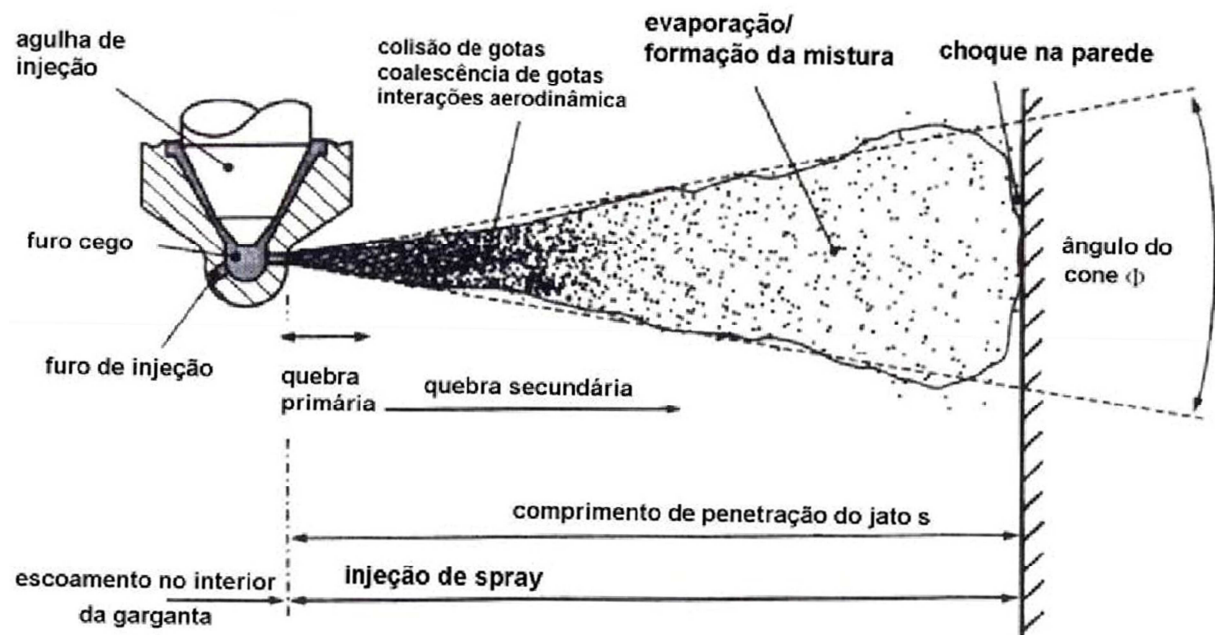


Figura 2.5 – Atomização primária e secundária (LAUDA *et al*, 2007).

2.2.1 Atomização primária

Ainda não se obtém uma formulação completa e generalizada a cerca da formação de gotas, uma que relacione os fenômenos aerodinâmicos e microhidrodinâmicos que estão submetidos os jatos líquidos quando de sua pulverização. Contudo, por ser um evento essencialmente aleatório, correlações empíricas são usadas para determinar ou predizer o tamanho médio das gotas a serem geradas em um dado equipamento, assim como sua distribuição.

Para fins de análise, é possível caracterizar o jato líquido como sendo uma massa líquida que adquire formato cilíndrico após ser pressurizado através do orifício de um bico injetor. Ao emergir, toda a superfície do jato é submetida a perturbações principalmente originadas de imperfeições no bico, vibrações do equipamento, turbulência no líquido no interior do injetor e o movimento do ar nas vizinhanças do jato. Tais perturbações aumentam exponencialmente e propiciam a formação de ondas na superfície do jato líquido com amplitudes cada vez maiores, tornando-o cada vez mais instável e turbulento.

Esse crescimento exagerado das ondas provoca o aparecimento de pequenos vórtices contínuos da ordem do comprimento de onda que, então, levam à fragmentação da superfície perturbada. De forma mais microscópica, o que ocorre é que ao se formar essas protuberâncias na superfície do líquido percebe-se uma diferença de velocidade entre a crista da onda e sua base. Sabe-se que, a partir da equação de Bernoulli, a pressão é menor onde a velocidade for maior e, sendo assim, a pressão na crista é menor do que na superfície do líquido, favorecendo ao aumento da protuberância e sua consequente separação da superfície do líquido.

Esse processo torna-se mais evidente quanto maior for a velocidade relativa entre o líquido expelido pelo bico e a corrente de ar. Ao desintegrar a superfície são lançadas no ar então as primeiras gotas e assim ocorre suscetivelmente até que todo o elemento cilíndrico tenha sido transformado em gotas, as quais são então atomizadas em um processo secundário até que uma condição de equilíbrio seja estabelecida.

2.2.2 Atomização secundária e a quebra de gotas

Um cálculo rápido que comprova essa transformação pode ser feito tomando por aproximação a gota como sendo uma esférica perfeita, sendo assim, de acordo com a relação do volume e da área frontal de uma esfera com seu diâmetro D , respectivamente:

$$V = \frac{\pi \cdot D_1^3}{6}. \quad (2.1)$$

$$A = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}. \quad (2.2)$$

Dessa forma, fica evidente que o diâmetro de uma gota varia de acordo com a raiz cúbica de seu volume e, portanto, se considerarmos uma divisão de uma gota em que seu volume resultante seja a metade exata do inicial, chegamos a uma taxa de aumento progressivo, para cada subdivisão exata, ente a área inicial (A_1) e a área total vista de frente das duas partículas resultante (A_2) de:

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{2 \cdot D_2^2}{D_1^2} = \frac{2 \cdot (3 \cdot \pi \cdot V_1)^{2/3}}{(6 \cdot \pi \cdot V_1)^{2/3}} = 1,26. \quad (2.3)$$

Essa divisão da massa líquida em porções cada vez menores pode ser entendida como resultado de um desequilíbrio entre forças atuantes sobre a gota, as quais podem oferecer uma resistência à ruptura ou deformação da mesma. No caso da consolidação da gota, temos por destaque a viscosidade do líquido que contribui na manutenção da geometria da gota, se opondo a qualquer alteração em sua forma, e a tensão superficial que tende a levar a gota a uma forma esférica estável, forma essa que apresenta uma menor quantidade de energia depositada na superfície.

Já se levando em conta as forças responsáveis pela ruptura de uma gota no processo de atomização as forças aerodinâmicas se apresentam com grande relevância e, sendo assim, a desintegração de uma gota maior em elementos menores se dá no momento em que essas forças aerodinâmicas superam as forças de resistência. Considerando então as forças aerodinâmicas e aproximando a geometria da gota como sendo esférica, temos para condições de baixa viscosidade que a pressão aerodinâmica (P_{Aero}) exercida sobre uma gota é dada por:

$$P_{Aero} = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho_{Ar} \cdot v_r^2. \quad (2.4)$$

onde C_d é o coeficiente de arrasto de uma esfera com diâmetro D , ρ_{Ar} é a densidade do ar, v_r é a velocidade relativa entre a gota e o ar.

Desse modo, podemos deduzir uma equação que descreva matematicamente esse balanço em termos da pressão interna da gota (P_i), da pressão aerodinâmica e da pressão resultante da tensão superficial (P_{ts}), conforme a equação de Young-Laplace:

$$\Delta P = \bar{K} \cdot \sigma = \frac{2}{D} \cdot \sigma. \quad (2.5)$$

$$\Delta P = P_i - P_{Aero} = P_{ts}. \quad (2.6)$$

$$P_{ts} = \frac{2 \cdot \sigma}{D}. \quad (2.7)$$

em que K é a curvatura e σ o coeficiente de tensão superficial do líquido. A Fig. (2.6) esboça claramente essa desintegração de uma gota quando submetida a um fluxo de ar.

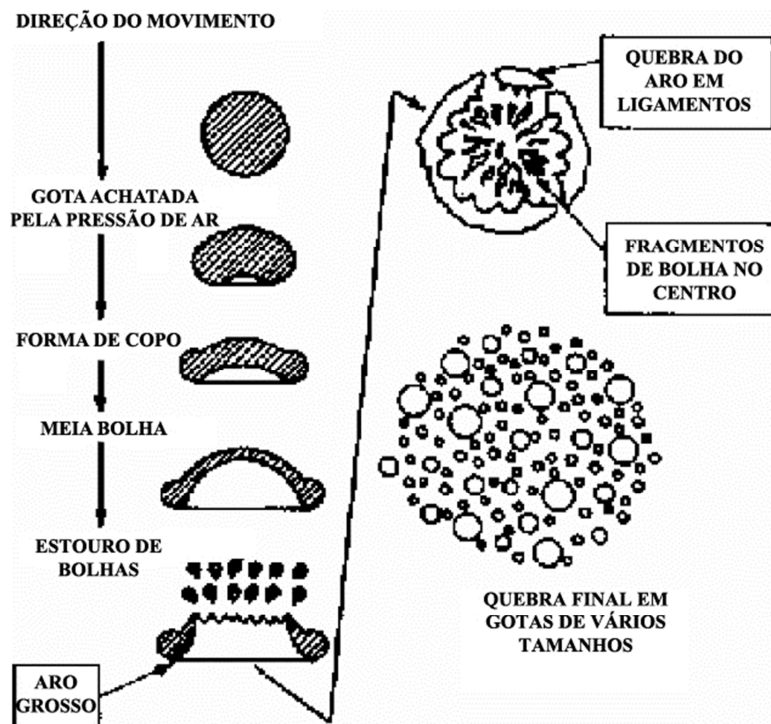


Figura 2.6 – Quebra de uma gota submetida a uma corrente de ar com aceleração constante (LAUDA *et al*, 2007).

Esse desequilíbrio entre a pressão interna e aerodinâmica é responsável pela promoção da quebra progressiva das gotas em gotas ainda menores, de forma que o número de gotas geradas se torne tão grande que a área total da superfície de todas essas partículas seja incomparavelmente superior do

que aquela grandeza analisada no jato inicial com formato ainda cilíndrico, conforme visto na atomização primária.

Contudo, a aproximação feita anteriormente de que uma gota se divide igualmente em duas partes e assim suscetivelmente não é uma representação fiel do que ocorre na realidade, haja vista alguns fatores de caráter aleatório são responsáveis e fundamentais no processo de formação das gotas, o que resulta em gotas de tamanho também aleatório.

Portanto, um estudo fidedigno de um dado processo ou equipamento atomizador deve ser baseado essencialmente em métodos empíricos, por meio da análise de amostras da aspersão realizada. Simultaneamente, um estudo envolvendo funções adequadas de distribuição matemática quanto ao tamanho das gotas e certos números adimensionais auxilia na compreensão dos fenômenos envolvidos e seu grau de influência no processo; cito os números de Weber, Ohnesorge, Reynolds e Prandtl, apresentados a seguir neste relatório.

2.2.3 Número de Weber (We)

Pode-se concluir então que haverá equilíbrio enquanto as alterações na pressão resultante das forças aerodinâmicas de arrasto se equilibrem com as das tensões superficiais. Igualando as Eqs. (2.4) e (2.7) e rearranjando, obtemos um número adimensional muito importante, o número de Weber:

$$\frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho_{Ar} \cdot v_r^2 = \frac{2 \cdot \sigma}{D} \quad (2.8)$$

$$We = \frac{\rho_{Ar} \cdot v_r^2 \cdot D}{\sigma} = \frac{8}{C_d} \quad (2.9)$$

O número de Weber é utilizado com frequência na mecânica dos fluidos para análise de escoamentos com interface entre fluidos diferentes, principalmente em escoamentos multifases. Esse é um número adimensional que apresenta uma medida da importância relativa entre a inércia do fluido e sua tensão superficial. Seu nome se deve ao cientista Moritz Weber (1871 – 1951).

Essa grandeza apresenta um valor crítico, visto que foi deduzida a partir de uma condição de equilíbrio, e grandes valores significam que as forças atuantes no sentido da deformação da gota superam as forças internas de resistência, resultando na quebra da mesma. É intuitivo que o efeito resultante das forças aerodinâmicas é mais significativo em gotas maiores, pois diâmetros maiores representam maiores áreas frontais submetidas ao arrasto, ao passo que grandes diâmetros diminuem o termo P_{ts} , como pode ser observado na Eq.(2.7).

2.2.4 Número de Ohnesorge (Z)

Ao caracterizar a atomização de um líquido é de fundamental importância conhecer o intervalo tempo que o jato líquido leva para se desintegrar, pois esse dado nos diz quão longe será propagado o

jato e qual a natureza de sua ruptura. Esse tempo que o jato leva para se romper é influenciado diretamente pelos efeitos viscosos envolvidos, fator anteriormente citado e de grande importância no processo de desintegração da gota.

Nesse ponto, é válido destacar a importância que o número adimensional de Ohnesorge apresenta em relação ao mapeamento da formação de gotas em tecnologias de atomização, juntamente com os números de Weber e Reynolds. Esse número adimensional relaciona as forças viscosas com as forças de tensão superficial e é definido por:

$$Z = \frac{\mu}{\sqrt{\rho_L \cdot \sigma \cdot D}} \quad (2.10)$$

em que μ é a viscosidade e ρ_L é a densidade do líquido.

O número de Ohnesorge é frequentemente utilizado na mecânica dos fluidos de superfícies livres e quando o interesse é prever o impacto de gotas em uma dada superfície. Grandes valores de Z significam uma maior influência dos efeitos viscosos aos efeitos relativos às forças de tensão superficial. Como base de referência, para uma gota de aproximadamente 3 mm de diâmetro o número de Ohnesorge (Z) assume valor de 0,002.

Essa grandeza tem uma relação e pode ser escrita em relação ao número de Laplace (La), também de grande utilidade na caracterização de escoamentos em superfícies livres. O número adimensional La relaciona a tensão superficial com o transporte de momentum dentro do fluido, de forma que pode ser definido segundo:

$$La = \frac{\rho_L \cdot \sigma \cdot D}{\mu^2} \quad (2.11)$$

e a partir das Eqs. (2.9) e (2.10) é fácil perceber que esses dois números se relacionam conforme:

$$Z = \frac{1}{\sqrt{La}} \quad (2.12)$$

2.2.5 Número de Reynolds (Re)

O número de Reynolds (Re) é um adimensional de extrema importância e grande utilização em diversos campos da mecânica dos fluidos, sobretudo no cálculo de escoamentos de um determinado fluido sobre uma superfície, com destaque para o campo aeronáutico. Esse adimensional deve seu nome a um cientista e engenheiro irlandês chamado Osborne Reynolds e é expresso na forma:

$$Re = \frac{\rho_L \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (2.13)$$

onde v é a velocidade média do fluido, D o tamanho característico do fluxo e μ a viscosidade dinâmica do fluido.

A partir dessa grandeza é possível avaliar o nível de estabilidade de um dado fluxo e, então, defini-lo como sendo de natureza laminar ou turbulenta. São determinados valores limites que permitem diferenciar os dois tipos de escoamento para um sistema específico, ao passo que a faixa entre eles representa uma fase de transição.

O número de Reynolds, como pode ser inferido da Eq. (2.13), representa um quociente entre as forças de inércia e as forças de viscosidade, ao passo que grandes valores de Reynolds significam que o escoamento analisado tem caráter turbulento e o contrário, laminar. Pode-se ainda relacionar o adimensional Re com o número de Weber e Ohnesorge já mencionados e representados pelas Eq. (2.9) e (2.10), respectivamente, conforme:

$$Re = \frac{\rho_L \cdot v^2 \cdot D}{\sigma} \cdot \frac{\sqrt{\rho_L \cdot \sigma \cdot D}}{\mu} \cdot \frac{\sqrt{\sigma}}{v \cdot \sqrt{\rho_L \cdot D}} = We \cdot \frac{1}{Z} \cdot \frac{1}{\sqrt{We}} \quad (2.14)$$

$$Re = \frac{\sqrt{We}}{Z} \quad (2.15)$$

Dois sistemas são aerodinamicamente compatíveis quando apresentam o mesmo número de Reynolds. Para fins de exemplo e base para possíveis análises, alguns valores para o número de Reynolds podem ser observados na Tab. (2.1):

Valores típicos de Re	
Fluxo Laminar	Re
Espermatozóides	1×10^{-2}
Fluxo de sangue no cérebro	1×10^2
Fluxo de sangue na aorta	1×10^3
Fluxo Turbulento	Re
Pessoa nadando	4×10^6
Avião	1×10^7
Baleia Azul	3×10^8
Navio RMS Queen Elizabeth 2	5×10^9

Tabela 2.1 – Valores típicos de Re em escoamentos (MUNSON, 2004).

2.2.6 Número de Prandtl (Pr)

Assim como os demais, o número de Prandtl é um número adimensional, contudo, diferente dos apresentados anteriormente, não depende de qualquer escala de comprimento ou medida, apenas do fluido e seu estado físico. Sendo assim, os valores de Pr são usualmente encontrados em tabelas juntos de outras propriedades físicas, como viscosidade e condutividade térmica, conforme alguns exemplos a seguir:

Valores característicos de Pr	
Metais líquidos	
Sódio	0,011
Mercúrio	0,0196
Bismuto	0,0142
Gases	
Ar	0,7
Dióxido de carbono	0,75
Monóxido de carbono	0,73
Hélio	0,68
Hidrogênio	0,7
Outros líquidos	
Água	4,6
Fluidos Viscosos	
Óleo lubrificante de motor	3.400
Glicerina	3.060

Tabela 2.2 – Valores característicos do número de Prandtl (MUNSON, 2004).

Esse é um número adimensional de grande importância para o estudo de transferência de calor por convecção e representa uma razão entre a taxa de difusão viscosa, viscosidade cinemática, e a taxa de difusão térmica, sendo definido por:

$$Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{k_L} \quad (2.16)$$

onde c_p é o calor específico, k_L é a condutividade térmica do fluido e μ a viscosidade dinâmica.

Números de Prandtl baixos significam que o calor difunde-se muito facilmente quando comparado à sua velocidade e em problemas de transferência de calor esse adimensional controla a espessura relativa das camadas limite de momento e térmica. Seu nome é uma homenagem ao físico alemão Ludwig Prandtl e o análogo para a transferência de massa é o número de Schmidt (Sc).

2.2.7 Número de Schmidt (Sc)

Semelhante ao número de Prandtl, o número adimensional Sc é definido como sendo a razão entre a difusividade de momento e a difusividade de massa, dependente apenas das características do

próprio fluido. Esse adimensional é nomeado em homenagem ao engenheiro alemão Ernst Heinrich Wilhelm Schmidt (1892-1975).

Fisicamente representa a espessura relativa da camada hidrodinâmica e uma camada limite de transferência de massa, podendo ser calculado a partir da equação:

$$Sc = \frac{\mu}{\rho_L \cdot d} \quad (2.17)$$

em que d é o coeficiente de difusão mássica entre o ar e o fluido.

2.2.8 Transferência de calor e massa

Após ser submetida aos processos de atomização primária e secundária, uma dada gota permanece suspensa no ar e descreve uma trajetória aleatória, durante esse percurso há uma variação na temperatura e nos coeficientes de transferência de calor e massa da gota, além de uma redução do diâmetro da mesma, resultado da evaporação do líquido. O entendimento desse processo de transferência de calor e massa é de suma importância, pois ao dispersar gotas contendo concentrações de defensivos em um determinado ambiente, é de interesse da eficiência do processo que a integridade dessas gotas seja mantida durante o maior intervalo de tempo possível.

Conforme dito, partículas menores significam áreas superficiais maiores, contudo, o fato de reduzir o volume de uma gota também traz como consequência um aumento da taxa de evaporação de líquido da mesma, pois quanto maior a superfície global do sistema maior a taxa de evaporação. Esse aumento relativo de evaporação é também diretamente influenciado por fatores ambientais como temperatura, umidade relativa e velocidade do vento.

Um método prático de se avaliar o tempo de vida de uma gota, isto é, o intervalo de tempo que uma gota leva para se extinguir após ter sido gerada, é capturar uma gota da amostra pulverizada em uma fibra de sílica, anotando com o variar do tempo a redução decorrente no diâmetro da partícula. Para devida percepção e medida da variação de diâmetro, o experimento deve ser filmado em alta definição e com a maior taxa possível de quadros por segundo.

Em seu trabalho, Costa et al., fizeram um levantamento empírico do tempo de vida para diferentes tamanhos iniciais de gota de água e condições ambientais, de forma a facilitar a compreensão e visualização real do problema de evaporação de uma gota, conforme mostrado na Tab. (2.2). A escolha da água como fluido é completamente adequada, visto que é o principal veículo em misturas de defensivos pulverizados.

Tempo de vida de uma gota						
Temperatura (°C)	20			30		
Umidade relativa (%)	80			50		
Diâmetro inicial (µm)	50	100	200	50	100	200
Tempo até extinção (s)	14	57	227	4	16	65
Distância de queda (m)	0,127	6,7	81,7	0,032	1,8	21

Tabela 2.3 – Tempo de vida da gota de água e distância de queda (Costa *et al.*).

Supondo essas pequenas partículas suspensas como esferas lisas, com densidade constante e que a resistência à troca de calor no interior da gota é desprezível, é possível determinar a taxa de evaporação e a energia total trocada entre o ar e uma única gota e, conseqüentemente, de todo o líquido atomizado. Portanto, a taxa de evaporação e a energia total transferida para uma única gota, respectivamente, podem ser avaliadas e expressas pelas equações (Fortes et al., 2006):

$$\dot{m}_{ev} = h_m \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \frac{(x_0 - x_\infty)}{(1 - x_0)} \quad (2.18)$$

$$q_{sp} = \int_{t_i}^{t_f} \{h_c \cdot A \cdot \Delta T_L + \dot{m}_{ev} h_m\} dt. \quad (2.19)$$

em que h_m e h_c são os coeficientes de transferência de massa e calor, respectivamente, T_L é a temperatura da gota, x_0 a fração molar de vapor no ar junto à superfície da gota e x_∞ na corrente livre e A é a área superficial da gota. Os coeficientes de transferência de massa e calor podem ser obtidos empiricamente e descritos conforme as equações:

$$h_m = (2 + 0,6 \cdot Re^{1/2} \cdot Sc^{1/3}) \cdot \frac{w \cdot \rho_{Ar} \cdot d}{D} \quad (2.20)$$

$$h_c = (2 + 0,6 \cdot Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3}) \cdot \frac{k_{Ar}}{D} \quad (2.21)$$

onde k_{Ar} é a condutividade térmica do ar e w a umidade absoluta.

A partir dos princípios e considerações acerca da transferência de calor e massa envolvendo uma gota suspensa no ar, além da idealização de sua geometria esférica e constituição puramente líquida, Kajiyama & Park (2010) deduziram uma equação que descreve o tempo de evaporação de uma gota:

$$t_c = \frac{\rho_L \cdot \lambda_L \cdot D^2}{8 \cdot k_{Ar} \cdot (T_{Ar} - T_w)} \quad (2.22)$$

em que λ_L é o calor latente de vaporização do líquido com taxa constante, T_{Ar} e T_w as temperaturas do ar e de bulbo úmido.

As equações e unidades das propriedades termodinâmicas e térmicas para o ar úmido necessárias para os cálculos da modelagem supracitada podem ser encontrados no Anexo I deste relatório, tabela sintetizada por Fortes et al. (2006).

2.2.9 Diâmetro representativo de amostra

O processo de atomização é de natureza aleatória e, portanto, não resulta na formação de gotas com o mesmo tamanho, e sim em uma faixa de dimensões denominada espectro do diâmetro de gotas. O tamanho das gotas produzidas por um bico pulverizador é influenciado por diversos fatores, entre eles destacam-se os seguintes (WARD, 1985):

- *Tipo de bico*: em geral, os bicos de jato cônico produzem gotas com maiores diâmetros, seguidos pelos bicos de jato plano, defletor e leque, e pelos de jato vazio. Dentro desses tipos, ainda há uma diferenciação para cada modelo.
- *Vazão*: quanto maior a vazão no bico, considerando as mesmas condições de pressão, maior é o tamanho das gotas.
- *Pressão*: a pressão de pulverização exerce um efeito inversamente proporcional no tamanho das gotas atomizadas, isto é, quanto maior a pressão, menor o DMV.
- *Ângulo de jato*: considerando iguais valores de pressão e vazão, bicos com maiores ângulos de jato produzem gotas menores.
- *Propriedades do líquido*: quanto maior a viscosidade e a tensão superficial da mistura pulverizada, maior será a energia necessária para a desintegração do líquido e, conseqüentemente, maiores serão as gotas resultantes, mantidas as demais condições de atomização.

Dessa forma, podemos consolidar o resultado esperado para cada alteração dos parâmetros citados conforme a Tab. (2.4), onde os símbolos +, - e \emptyset significam um aumento, diminuição ou que não há efeito significativo, respectivamente. Alguns resultados dependem exclusivamente do fluido ou da geometria do fluido utilizado, esses foram preenchidos *, já a marcação feito no campo referente a alteração esperada no ângulo de spray devido ao aumento na pressão de operação significa que aumento a pressão o ângulo diminui até um certo ponto que começa a aumentar novamente.

Alteração dos parâmetros de aspersão

	Aumento de pressão	Aumento de viscosidade	Aumento da massa específica	Aumento de temperatura	Aumento de tensão superficial
Jato uniforme	+	*	-	+	0
Vazão	+	-	*	*	0
Ângulo do spray	+ → -	0	-	+	-
Velocidade de jato	+	-	-	*	0
Tamanho de gota	-	0	+	-	+
Desgaste do bico	+	0	-	*	0

Tabela 2.4 - Resultado esperado com a alteração dos parâmetros de aspersão (SCHICK, 2005).

Devido essa variação nas dimensões de cada gota produzida, a caracterização desse espectro é, usualmente, feita a partir de um diâmetro médio, ou mediano, volumétrico (DMV) expresso em micrometros (μm). Segundo a norma da Associação Brasileira de Normas e Técnicas, é possível classificar os tamanhos de gota em classes, conforme a tabela abaixo:

Classificação de pulverização segundo o DMV

Classes	Diâmetro mediano de volume - DMV (μm)
Aerossol fino	<25
Aerossol grosso	25 a 50
Pulverização muito fina (neblina)	51 a 100
Pulverização fina	101 a 200
Pulverização média	201 a 300
Pulverização grossa	>301

Tabela 2.5 - Classe de pulverização em função do DMV (ABNT, 1988).

O valor de DMV, também escrito por $D_{0,5}$, expressa uma média aritmética entre todas as partículas produzidas, ou seja, 50% do volume total pulverizado é formado de gotas com diâmetro menor que o DMV e 50% maior. Existem ainda outros valores percentuais de distribuição como $D_{0,1}$ e $D_{0,9}$, os quais informam que para um dado valor, 10% e 90% das gotas, respectivamente, têm diâmetros menores que o tomado por padrão, contudo, o mais disseminado, inclusive informado no catálogo de fabricantes de bicos, é o DMV.

2.2.10 Distribuição dos tamanhos de gota

Como dito, o processo de atomização é de natureza heterogênea e a previsão do resultado a ser obtido nem sempre pode ser feita com precisão, sendo estabelecido um valor médio para o espectro de gotas produzido. Outro fator importante é como os tamanhos de gota variam ao redor desse valor médio e, no intuito de estabelecer um padrão, são utilizadas funções matemáticas de distribuição matemáticas e empíricas.

Uma expressão matemática se apresenta adequada para uma dada distribuição do tamanho de gotas quando obedece a certos requisitos, como fornecer um ajuste satisfatório dos dados, permitir a extrapolação do tamanho de gota fora da faixa de valores medidos, possibilita o cálculo de parâmetros de interesse do escoamento e apresentar perspectivas dos mecanismos envolvidos nos processos de atomização.

Dentre as funções distribuição podemos indicar a função lognormal para a análise do produto da aspersão, uma vez que o espectro de gotas formado apresenta valores sempre positivos para as variáveis, tamanho das gotas. Essa distribuição, assim como a Weibull, é muito utilizada para caracterizar tempo de vida de produtos e materiais, incluindo fadiga de metais, semicondutores, diodos e isolamento elétrica.

Se a variável aleatória x tem distribuição lognormal, isto é, se os logaritmos dessa variável estão distribuídos de forma normal, a sua função densidade de probabilidade é dada por (SHIGLEY, 2005):

$$f(x) = \int \frac{1}{x \cdot \sigma_y \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(x) - \mu_y}{\sigma_y} \right)^2} ; \text{ para } x > 0. \quad (2.23)$$

onde μ_y é a média e σ_y é o desvio-padrão dos logaritmos naturais da variável x , que são obtidos segundo as equações:

$$\mu_y = \ln \mu_x - \ln \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma_x}{\mu_x} \right)^2}. \quad (2.24)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\ln \left[1 + \left(\frac{\sigma_x}{\mu_x} \right)^2 \right]}. \quad (2.25)$$

Para fins de cálculo de probabilidade e a partir das Eq. (2.24) e (2.25), pode-se transformar a variável x em uma outra padronizada, referenciada por Z , assim como na distribuição normal, e calculada por:

$$Z = \frac{x - \mu_y}{\sigma_y}. \quad (2.26)$$

A partir da transformação proposta pela Eq. (2.26), e de posse de uma tabela de distribuição normal padrão, conforme consta no Anexo II deste relatório, é possível calcular a probabilidade de ocorrência de um dado valor da variável x na população definida entre 0 e Z . Um gráfico representativo da função de densidade de uma distribuição lognormal pode ser visto na Fig. (2.7) abaixo, para diferentes valores de σ e $\mu = 0$:

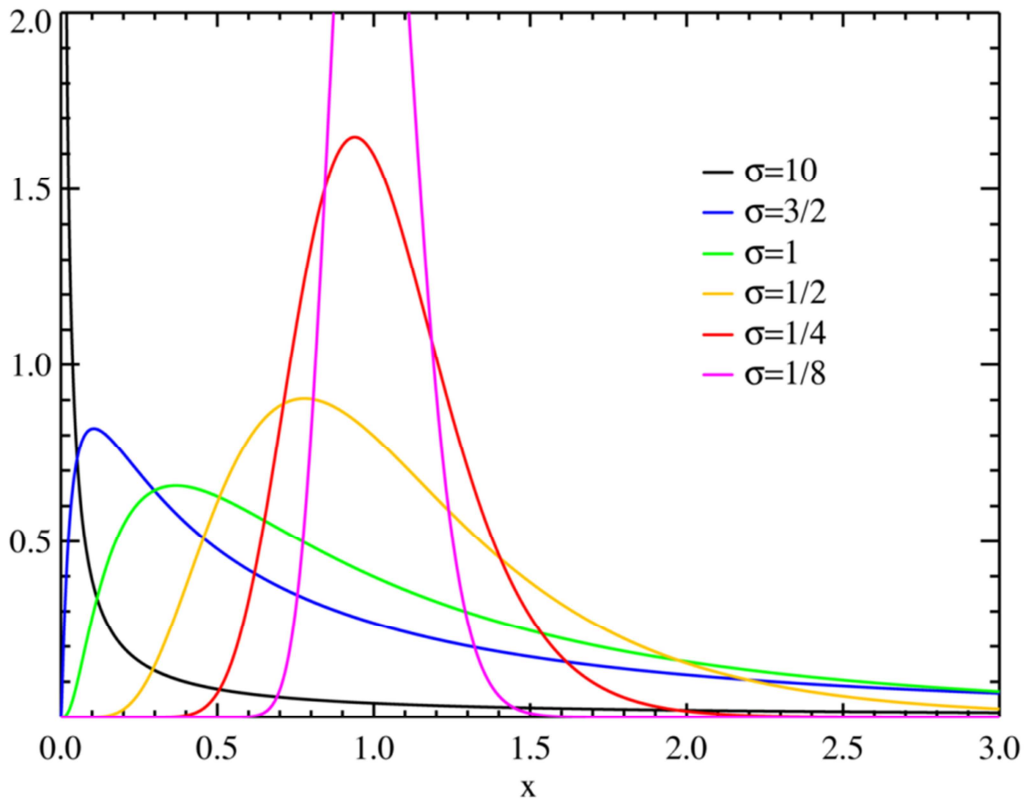


Figura 2.7 – Função densidade de uma distribuição lognormal.

2.3 BICOS ATOMIZADORES

Inegavelmente, os bicos são elementos essenciais aos pulverizadores de pressão e sua escolha ou projeto irregular pode prejudicar de forma muito significativa o processo de atomização do líquido. Um ponto fundamental na análise de um bico aspersor é a pressão de operação, pois além de atuar sobre a vazão, a pressão influencia indiretamente o tamanho das partículas geradas, quanto maior a pressão, menor são as gotas produzidas.

Contudo, pressões extremas podem causar efeitos indesejáveis no processo, ao passo que gotas muito pequenas apresentam, por consequência, pequenos pesos e podem não alcançar a distância desejada, não importando a força com que são lançadas pelo bico. A pressão também tem efeito sobre a vazão de líquido que, para a maioria dos bicos, se aproxima de uma relação diretamente proporcional à raiz quadrada da pressão.

O formato do bico e a maneira como o líquido passa através do mesmo, tem influência ainda sobre a faixa de deposição e sobre o espectro de gotas. Dessa forma, bicos com orifício circular apresentam jato cônico e deposição circular, já os bicos com orifício em forma de rasgo dão origem a jatos em forma de leque e apresentam deposição linear. É possível observar a diferença entre os tipos de aspersão em formato de cone oco (a), cone cheio (b) e leque conforme a Fig. (2.8) a seguir:

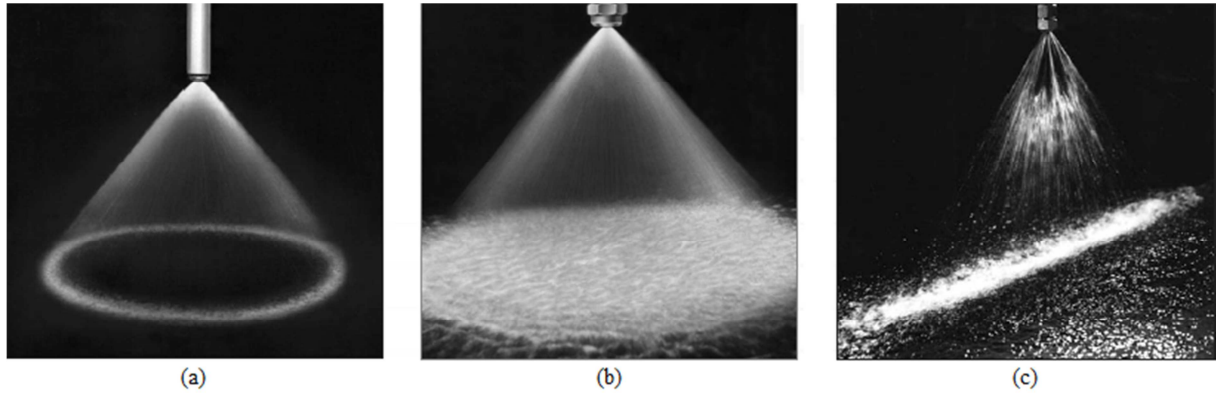


Figura 2.8 – Diferentes formatos de dispersão dos bicos atomizadores.

Existem diversos modelos e geometrias de bicos aspersores no mercado e a definição de qual usar deve vir das condições de projeto ou aplicação, alguns dos principais tipos de atomizadores são citados:

- *Orifício plano*: um orifício plano simples é usado para injetar um jato cilíndrico no ar ou no gás presente no ambiente de pulverização, atingindo uma atomização bastante fina a partir de pequenos orifícios. Contudo, a dificuldade de se obter líquidos livres de impurezas sólidas limita o tamanho do orifício.
- *Spray quadrado*: é essencialmente um atomizador de cone sólido, porém com seu orifício de saída especialmente desenhado para distorcer o cone em um padrão de formato quadrado. A qualidade de atomização não é tão alta quanto a do spray de cone convencional, mas quando usado em combinação com múltiplos atomizadores oferece uma ampla cobertura da área pulverizada.
- *Spray em leque*: existem diversos modos de se obter um spray em leque, mas o mais comum deles é aquele no qual o orifício de saída é formado pela intersecção de uma ranhura em “V” com uma cavidade hemisférica. Também pode ser obtido pelo impacto de um líquido em uma superfície curva defletora, contudo, nesse método não se obtém uma atomização muito fina.
- *Atomizadores rotativos*: compreende um disco em alta rotação e um líquido sendo injetado no centro do disco, com isso, o líquido escoar radialmente para a periferia do disco e é descarregado da mesma pela alta velocidade tangencial adquirida. Ao contrário dos atomizadores por pressão, esses discos permitem uma variação da vazão e da velocidade do disco de forma independente, o que dá uma maior flexibilidade de operação.
- *Sônicos*: um gás é acelerado dentro de um dispositivo até atingir velocidade sônica e então incide sobre uma placa ou cavidade, as ondas sonoras produzidas refletem-se na direção da trajetória de entrada do líquido e o desintegram. A frequência das ondas sonoras é de cerca de 20kHz e esse processo gera gotas com diâmetros menores que 50µm.

- *Eletrostáticos*: um jato líquido ou filme é exposto a uma pressão elétrica intensa que tende a expandir sua área, quando essa pressão se predomina sobre a tensão superficial do líquido as gotas são formadas. As baixas vazões associadas nesse processo limitam sua aplicação à pintura eletrostática e impressão sem impacto.

2.4 SISTEMAS DE LEITURA DE ESPECTRO

Apesar de não ser o foco principal deste trabalho, a caracterização e entendimento do espectro de gotas gerados em um sistema de aspersão é de fundamental importância para a quantificação da eficiência e adequação que um dado bico apresenta para cada aplicação desejada. A obtenção de dados do espectro de gotas de forma precisa e confiável tem sido um grande obstáculo no campo experimental, contudo, duas técnicas de alta tecnologia se destacam com esse objetivo, a leitura por meio da anemometria de fio quente e difração de raios laser.

2.4.1 Anemômetro de fio quente

De forma geral, sistemas de medição de escoamentos operam baseados em uma comparação quantitativa, de acordo com um princípio físico bem definido e adequado ao fluido de trabalho, objetivo de uma medição. Existem diversos tipos de instrumentos destinados a medir parâmetros de escoamentos, dentre eles os medidores do tipo térmicos destacam-se por apresentarem melhor precisão e podem ser diferenciados entre aqueles que trabalham a partir de um balanço de energia ou os chamados convectivos.

Os medidores que operam baseados no balanço de energia geralmente utilizam de um fino e longo tubo para assegurar a mínima perturbação no escoamento, medindo a temperatura em dois pontos distintos do escoamento. A diferença de temperatura observada é função do calor específico do fluido e do fluxo de massa, podendo ser calculado simplesmente pela primeira lei da termodinâmica. A utilização desses medidores é limitada a fluidos isentos de contaminação, com baixos gradientes de temperaturas e escoamentos laminares.

Já os medidores convectivos utilizam de um sensor aquecido introduzido no interior do escoamento e a consequente transferência de calor entre esse elemento e o meio fluido analisado define o fenômeno básico da anemometria de fio quente. Uma relação entre a velocidade do fluido e a taxa de transferência de calor dissipada pelo fio quente pode ser obtida através das propriedades do fluido e dos parâmetros do escoamento, portanto, um anemômetro de fio quente é basicamente um transdutor térmico, capaz de converter variações de temperatura em sinais elétricos.

Em geral, anemômetros de fio quente são utilizados para medir a velocidade instantânea de um dado escoamento e suas flutuações ou mesmo a variação de temperatura, contudo, a resposta em forma

de sinal elétrico, quantificada por meio de circuitos elétricos específicos, pode ser interpretada por programas computacionais e empregada em diversos campos da mecânica dos fluidos.

Um equipamento de referência baseado nesse conceito é o DC-III do fabricante KLD Labs, esse equipamento conta com uma sonda que pode ser imersa na neblina gerada e um programa computacional preparado para interpretar as leituras feitas pela sonda, tanto o tamanho das gotas quanto sua distribuição.

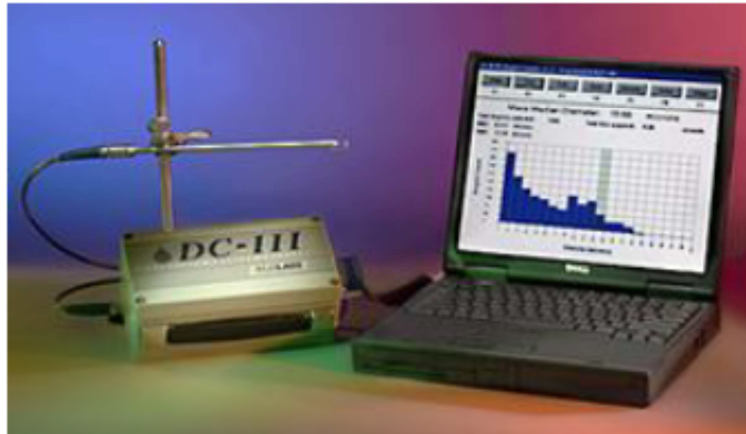


Figura 2.9 – DC-III, do fabricante KLD Labs (KLD Labs).

A sonda é submetida á uma corrente elétrica que acarreta em seu aquecimento, ao ser imersa em meio ao spray as gotas entram em contato com a superfície quente da sonda e trocam calor com a mesma. Essa alteração na temperatura da sonda provoca uma alteração na resistência elétrica da mesma, que por sua vez incita uma oscilação na corrente elétrica que passa pela sonda. Essa mudança na corrente é então sentida por um elemento transdutor e, levando em consideração a quantidade de energia que fora trocada na transferência e características do líquido atomizado, é possível determinar a massa líquida envolvida no processo e por consequência, o tamanho da gota.



Figura 2.10 – Sonda do DC-III imersa na neblina (KLD Labs).

Além disso, o programa computacional apresenta uma interface amigável dos resultados ao usuário, permitindo ainda que esses sejam armazenados digitalmente ou impressos. Esse aparato é capaz ainda de realizar automaticamente alguns cálculos para a aspersão de líquidos à base de água ou óleo, como a área e volume efetivos, densidade de dispersão, $D_{0,9}$ e $D_{0,5}$, entre outros parâmetros.

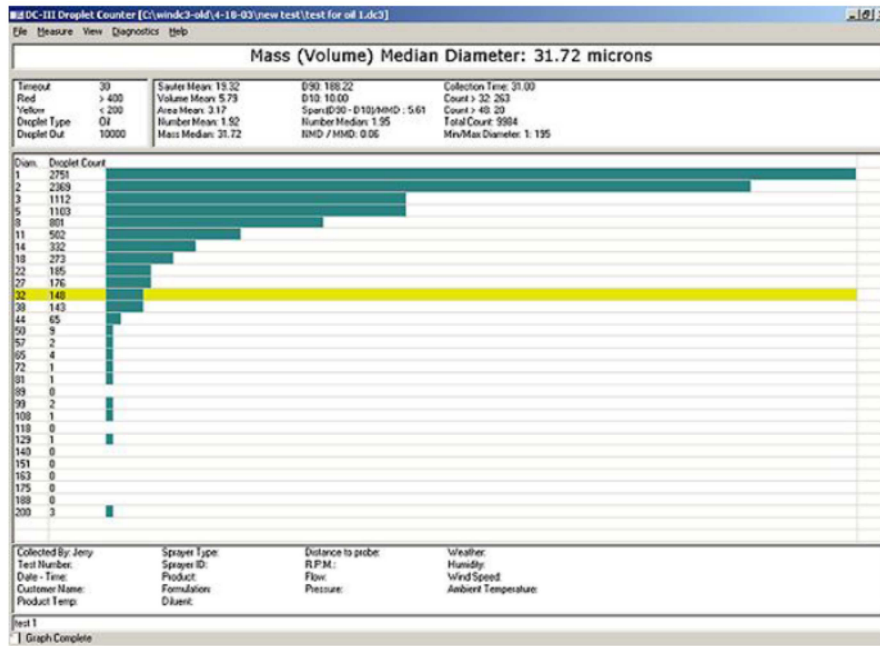


Figura 2.11 – Exemplo de resultado obtido com o DC-III (KLD Labs).

2.4.2 Difração de raios laser

Essa é uma técnica não muito difundida, devido o seu alto custo e necessidade de treinamento especializado para sua operação, contudo, é uma das mais precisas quando se pretende mensurar o tamanho de partículas de pequenas dimensões. O conceito dessa técnica é baseado na difração, ou espalhamento da luz, de modo que um feixe de luz ao incidir sobre uma partícula sofre uma alteração de direção e intensidade, que é então relacionada ao tamanho da partícula.

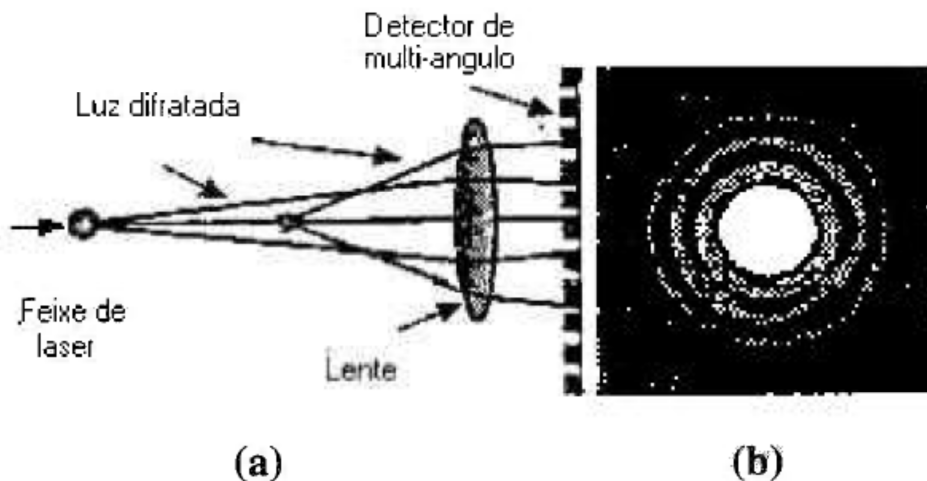


Figura 2.12 – Interação do raio de luz com uma partícula esférica, (a) ângulos difratados e (b) padrão de difração (Allen, 1997).

De forma mais detalhada, um feixe de luz monocromático, *laser*, é emitido de um lado do equipamento em direção ao meio onde se encontram as partículas a serem mensuradas e, ao incidir sobre a partícula, no caso específico desse trabalho a gota, o feixe de luz é alterado segundo quatro

fenômenos óticos, difração, refração, reflexão e absorção, formando um invólucro tridimensional de luz, conforme pode ser observado na Fig. (2.12) acima (Hildebrand, 1999).

Após interagir com as partículas o feixe de luz atinge sensores devidamente posicionados no lado oposto do aparato emissor, que então medem a intensidade e o ângulo do feixe de luz incidente e, a partir dessa leitura, são calculados o tamanho da partícula e sua distribuição por meio de algoritmos matemáticos. Assim como na análise feita por meio da técnica de anemometria de fio quente, para a análise por meio da difração de raios *laser* é necessário um conhecimento prévio das características físicas da partícula, no caso o líquido defensivo, pois essas características influenciam diretamente o índice de refração da partícula.

O menor tamanho de partícula passível de detecção deve ser pelo menos duas vezes o comprimento de onda do laser. A limitação do tamanho máximo surge do fato de que o ângulo do feixe difratado se torna muito próximo daquele de um feixe não espalhado. A faixa típica de trabalho vai de 0,1/1 a 200/300 μm , porém o seu uso é mais difundido para partículas maiores que 1 μm ou 2 μm (Jillavenkatesa *et al.*, 2001). Entre os diversos equipamentos disponíveis no mercado, o modelo Spraytec Optical System, do fabricante Malvern Instruments LTD, é indicado para análise do espectro de gotas nesse trabalho devido sua alta precisão, larga faixa de operação e por ser de fácil manuseio.



Figura 2.13 – Spraytec Optical System: (1) fonte de *laser* hélio-neon, (2) lente de colimação, (3) zona de medição, (4) lentes convexas, (5) conjunto detector de diodo de silício, (6) sistema de aquisição rápida de dados (Malvern, 2011).

As especificações técnicas do instrumento indicado para a leitura por meio de difração de raios *laser* é apresentada conforme Anexo III deste relatório.

3 EQUIPAMENTO DE ASPERSÃO UBV

Este capítulo apresenta de forma detalhada o equipamento tomado como referência para o desenvolvimento do bico aspersor.

3.1 NEBULIZADOR UBV MONTADO

Um aparelho atomizador do tipo UBV (ultrabaixo-volume), tem por característica fundamental a geração de uma névoa constituída de partículas muito pequenas na faixa de 10 a 15 μ m, conforme dito no item 2.1.2 deste relatório. Por apresentar constituição robusta, equipamentos de aspersão UBV pesados são instalados sobre veículos, geralmente caminhonetes, de onde vem o título montado. Dada a necessidade da aplicação, esses equipamentos podem ser operados da cabine do automóvel, pois contam, geralmente, com um controle remoto.

Neste trabalho em especial, o projeto do bico aspersor será desenvolvido baseado em um equipamento nebulizador modelo 1800E cedido pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA/MS), produzido pela divisão Lowndes Engineering da empresa Clarke. O propósito dessa escolha é desenvolver um bocal que seja facilmente adaptável em modelos já utilizados em campo, ou com estruturas semelhantes.

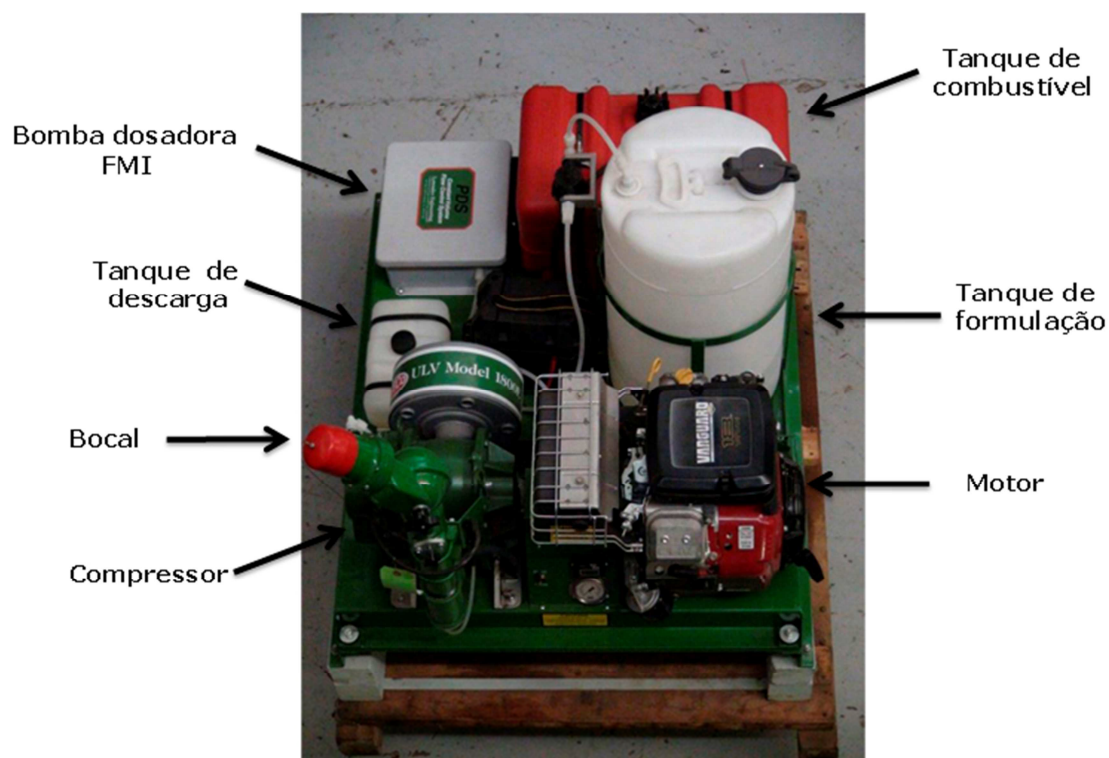


Figura 3.1 – Vista superior do nebulizador UBV pesado.

Atualmente, esses equipamentos não são produzidos no Brasil e, segundo dados obtidos junto à FUNASA, o custo de um nebulizador UBV pesado está na faixa de R\$25.000,00 a R\$30.000,00, uma quantia expressiva que justificaria a produção nacional do mesmo. O equipamento se encontra

atualmente no prédio do Bloco G da Faculdade de Tecnologia (FT) da Universidade de Brasília (UnB) e sua estrutura pode ser dividida em quatro partes principais: motor, soprador e bocal, bomba dosadora e reservatórios. Apesar do aparato apresentado já conter um bocal, esse não foi desenvolvido especificamente para o combate à dengue, além disso, o desenvolvimento de um novo bocal se justifica pela padronização de teste para todos os equipamentos aspersores em uma eventual licitação de compra pelo Ministério da Saúde.

3.1.1 Motor

A potência mecânica necessária para o funcionamento do soprador tem origem em um motor de combustão interna à gasolina Vanguard™ V-Twin 18HP, fabricado pela empresa Briggs & Stratton Corporation. A Fig. (3.2) ilustra em detalhe o motor instalado no equipamento.



Figura 3.2 – Motor Vanguard™ V-Twin 18HP.

As especificações técnicas do motor são dadas conforme a Tab. (3.1):

Especificações	
POTÊNCIA	18,0 HP
CILINDRADA	570 cc
CAPACIDADE DE ÓLEO	0,37 (1,4) gal (L)
LUBRIFICAÇÃO	Bomba e filtro de óleo
FILTRO DE AR	Dual-clean™
Nº DE CILINDROS	2
DIÂMETRO DO CILINDRO	2,83 (72,0) in (mm)
CURSO DO PISTÃO	2,75 (70,0) in (mm)
DIMENSÕES (L x C x A)	12,4x15,9x17,2 (31,4x40,4x43,8) in (cm)
PESO	74,1 (33,6) lb (kg)

Tabela 3.1 – Especificações técnicas do motor Vanguard™ V-Twin 18HP (Briggs & Stratton, 2008).

Segundo o fabricante, o torque máximo desse motor é de 20N.m e sua potência reduz em 3,5% para cada 300 metros acima do nível do mar e 1% para cada 5,6°C acima de 25°C, com ângulo ideal de operação de 15°. Na parte frontal do equipamento foram instalados, além de um manômetro, um display de LCD que mostra a rotação do motor instantânea e as horas decorridas de uso do motor, instrumentos que facilitam o processo de manutenção do motor.



Figura 3.3 – Manômetro, tacômetro e tempo de uso.

A bateria não é fornecida pelo fabricante, portanto, foi escolhida uma bateria automotiva de 12V com capacidade de 36Ah, modelo HL36JD do fabricante Heliar, para fornecer a energia elétrica necessária ao sistema, a qual é recarregada durante a operação por meio de um pequeno alternador.



Figura 3.4 – Bateria automotiva Heliar Free 12V HL36JD.

3.1.2 Soprador e bocal

O elemento soprador, da tradução de *blower*, é responsável pela compressão e consequente aumento da vazão de ar no tubo de aspersão, que por sua vez, provoca a desintegração do líquido defensivo. O compressor utilizado no sistema do equipamento 1800E é um soprador de lóbulos rotativo, também conhecido por soprador tipo ROOTS, e é composto por dois rotores montados em eixos paralelos, os quais giram em sentidos opostos dentro de uma carcaça.

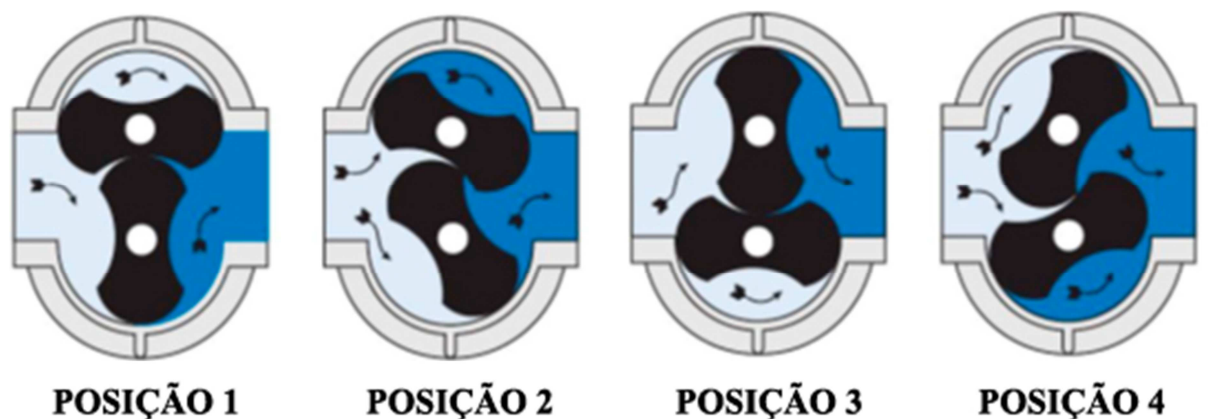


Figura 3.5 – Funcionamento de um soprador do tipo ROOTS (Dresser, Inc., 2010).

Ao girar, o rotor gera uma diferença de pressão entre a sucção e o interior da câmara, fazendo com que a pressão interna da câmara fique mais baixa que a externa e o ar entre na mesma. Ao entrar na câmara, essa massa de ar passa a ser comprimida pelo rotor até ser expulsa pelo flange de descarga fechando o ciclo, e assim ocorre continuamente.

O modelo instalado é um soprador RAI® Universal com um tamanho de frame de 45, o qual, segundo seu fabricante Dresser Inc., na condição de trabalho definida de 3600rpm gera um deslocamento de ar de 10,1 m³/min, um ganho na pressão de operação máximo de 68,9kPa e na pressão de vácuo de 50,8kPa. O compressor é movido por meio de um eixo acoplado ao motor.



Figura 3.6 – Soprador de lóbulos rotativo Dresser URAI 45 (Dresser, Inc., 2010).

Na admissão do compressor foi posicionado um filtro que impede a entrada de corpos estranhos que podem vir a estragar o compressor. Sendo assim, o ar é aspirado pelos lóbulos de entrada existentes na carcaça do filtro, conforme a Fig. (3.7) a seguir:

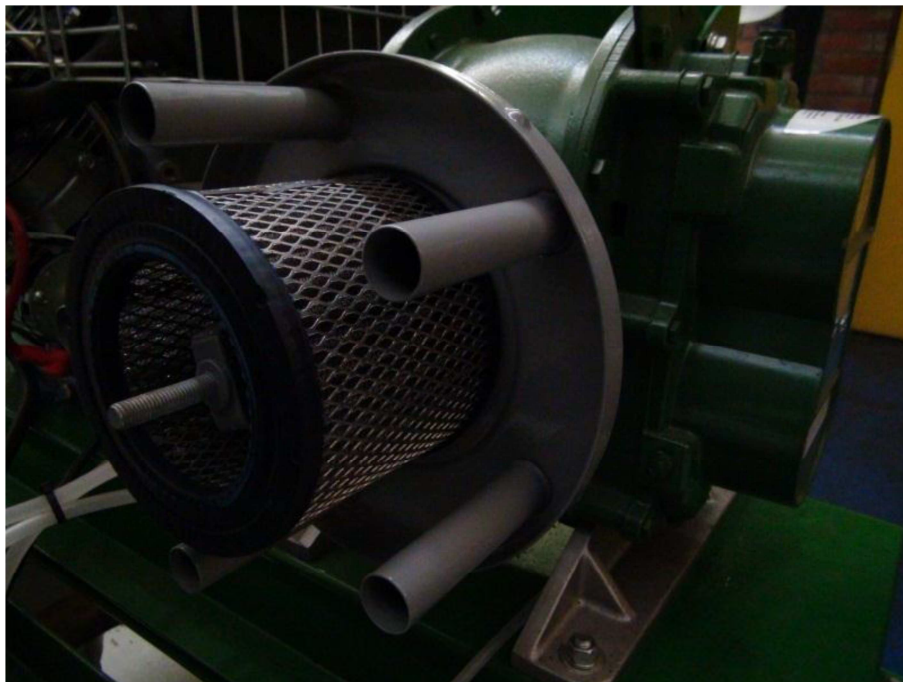


Figura 3.7 – Admissão de ar pelo compressor.

Na saída do compressor está conectado um cilindro que conduz o ar pressurizado até o bocal nebulizador e, simultaneamente, o inseticida é levado ao bocal por meio de tubos flexíveis de polietileno, visto em detalhe na Fig. (3.8), material resistente ao ataque químico da mistura. O bocal instalado no equipamento é do tipo vórtice e pode ser direcionado manualmente, nele que ocorre a desintegração do líquido formando a névoa desejada.



Figura 3.8 – Vista externa do bocal.

3.1.3 Bomba dosadora

As bombas dosadoras são utilizadas sempre que fluidos têm que ser dosados com o maior grau de precisão possível, com um volume específico e dentro de um período bem determinado. Para o sistema em questão, esse elemento é responsável por ajustar a vazão de inseticida conforme a necessidade de operação e, para tanto, é instalada na linha entre o tanque de armazenamento de inseticida e o bocal.

O bombeamento feito por esse tipo de bomba não necessita de válvulas e a vazão requerida é ajustada por meio da inclinação do próprio pistão de deslocamento. O pistão ao girar é deslocado para cima criando um vazio na parte inferior da câmara da bomba, simultaneamente, a existência de uma parte plana no pistão permite a entrada do fluido preenchendo esse espaço. Dando sequência em seu movimento giratório, o pistão desce comprimindo o fluido dentro da câmara e, dessa vez a superfície plana do eixo permite a saída do fluido, funcionamento esse ilustrado pela Fig. (3.9) a seguir.

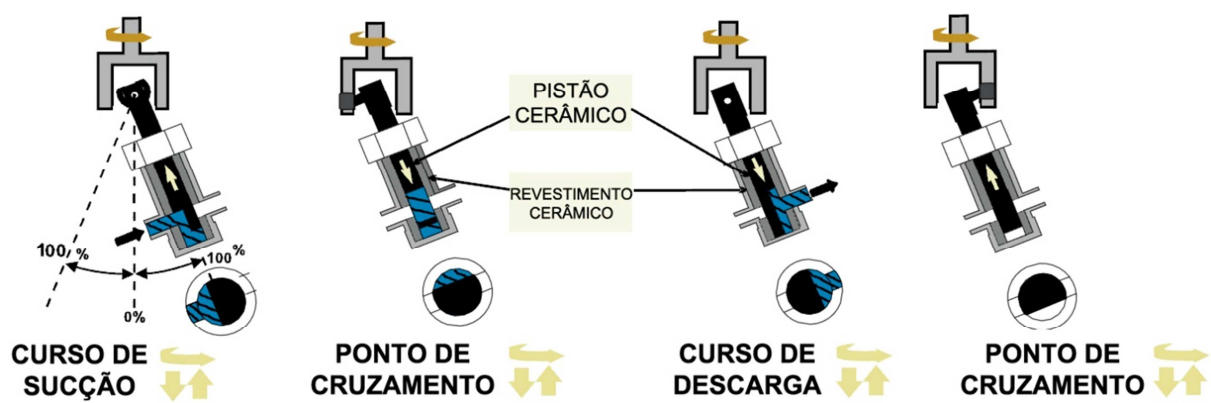


Figura 3.9 – Funcionamento de uma bomba dosadora (Fluid Metering Inc., 2009).

Está instalada no equipamento aspersor 1800E, em uma caixa metálica própria, uma bomba dosadora do fabricante Fluid Metering Inc., modelo Q1 CSC. Segundo a nomenclatura do fabricante, *Q* é o tipo da bomba, o número 1 corresponde ao diâmetro do pistão de 6,4mm, o primeiro *C* significa que o material constituinte do pistão é cerâmico, o *S* que o material que envolve a câmara da bomba é o aço inoxidável 316 e, por fim, o segundo *C* que a câmara é de material cerâmico.

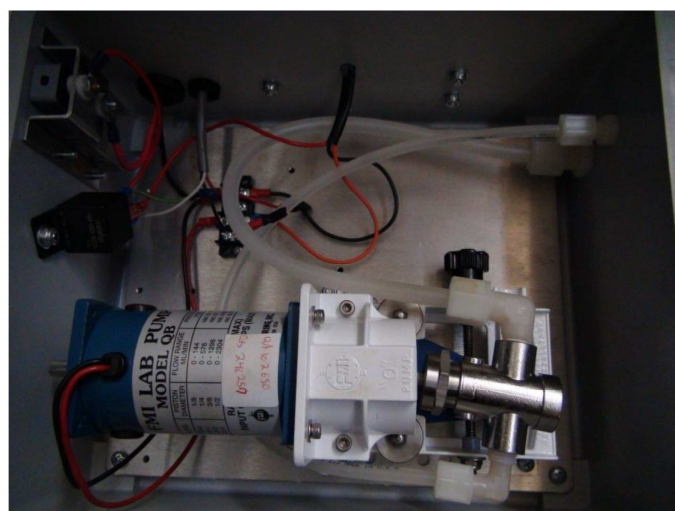


Figura 3.10 – Bomba dosadora FMI Q1 CSC (Fluid Metering Inc., 2009).

Conforme dados obtidos no manual técnico para essa bomba específica, a vazão máxima possível é de 576mL/min em uma pressão máxima de 4,38bar, ou aproximadamente 438kPa. A bomba é alimentada eletricamente pela bateria instalada no sistema.

3.1.4 Reservatórios

É possível notar na Fig. (3.1) a presença de três reservatórios de líquido, dois em formato retangular, um deles na cor vermelha e outro na cor branca, e um em formato cilíndrico. O único deles na cor vermelha, propositalmente assim para evitar erros de abastecimento, é destino a armazenar a gasolina necessária ao funcionamento do motor, e tem capacidade para 34L do combustível.

Já o maior deles, em formato cilíndrico, armazena o fluido defensivo a ser nebulizador pelo bico e tem capacidade para 56L do químico, resultando em uma autonomia de aproximadamente 1h 37min operando na vazão máxima da bomba dosadora. Os reservatórios de inseticida e combustível são ilustrados conforme:



Figura 3.11 – Reservatórios de combustível e defensivo.

Com o objetivo de eliminar impurezas indesejadas no bico atomizador, foi instalado um filtro no flexível que conduz o defensivo do reservatório ao bocal.



Figura 3.12 – Filtro na linha de defensivo.

O terceiro e menor dos reservatórios é responsável por armazenar um líquido de descarga do sistema, com capacidade de 4L para o mesmo. Esse sistema de descarga é acionado por meio de uma chave na parte frontal do conjunto 1800E, após o período de uso do equipamento, e tem por objetivo eliminar o químico atomizado de todo o sistema.



Figura 3.13 – Reservatório do fluido de descarga.

Essa técnica evita a exposição por tempos prolongados das partes integrantes do equipamento ao químico defensivo, além de evitar que em outra aplicação, em caso de mudança do inseticida, haja uma mistura entre eles.

4 PROJETO E SIMULAÇÕES

Neste capítulo são apresentados as condições de projeto, bem como o desenvolvimento detalhado do bocal e sua representação em CAD.

4.1 CARACTERÍSTICAS DE OPERAÇÃO

Como descrito nos capítulos anteriores, foi selecionado um equipamento atomizador UBV pesado como padrão e base de desenvolvimento do bocal a ser desenvolvido especificamente para o combate à dengue, modelo 1800E produzido pela divisão Lowndes Engineering da empresa Clarke. Ao sintetizar as características desse equipamento que influenciam diretamente o projeto do bocal, as condições máximas de operação são dadas conforme:

Quadro Resumo das Condições de Operação	
Pressão de ar	68,9kPa
Vazão de ar	10,1 m ³ /min
Pressão de defensivo	438kPa
Vazão de defensivo	0,576L/min

Tabela 4.1 – Quadro resumo das condições máximas de operação.

Além dos parâmetros apresentados, é importante destacar que o tubo flexível de polietileno responsável pela condução do defensivo ao bocal tem um diâmetro interno de 3mm, enquanto o tubo que conduz o ar pressurizado do soprador ao bocal nebulizador tem um diâmetro interno de 3”, ou aproximadamente 76,2mm.

Outro fator de grande importância a ser levado em consideração, senão o mais importante, é o tamanho das gotas pretendido, pois esse é o principal objetivo e motivação para o desenvolvimento e projeto de um bocal nebulizador adequado. Conforme apresentado no capítulo 1 deste relatório, e segundo orientações da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), é desejável que as gotas produzidas estejam em uma faixa de tamanho entre 10 e 15 μ m.

4.2 MATERIAIS

O material escolhido para o projeto e futura confecção do novo bocal deve atender algumas exigências peculiares às suas condições de operação, tais como alta resistência mecânica, baixa suscetibilidade à corrosão e melhor custo-benefício. Uma opção seria por utilizar aços de baixo teor de carbono, contudo, sua grande suscetibilidade à corrosão diminuiria a vida útil do bocal, tendo em vista a operação com fluidos de grande poder oxidante, ou ainda por aços inoxidáveis, mas sua difícil usinabilidade e alto custo apresentariam desvantagens na escolha.

Portanto, levando em conta as necessidades supracitadas, optou-se neste trabalho por usar um tarugo de alumínio 6061 de aproximadamente 5”, devido à sua grande ductilidade e baixa densidade, além de grande resistência à corrosão. Essa liga de alumínio apresenta uma composição de 1% de magnésio, 0,6% de silício, 0,3% de cobre e 0,2% de cromo, sendo ainda uma das que apresenta melhor custo-benefício entre as ligas de alumínio para a aplicação desejada (CALLISTER, 2002).

As características mecânicas desse material comparadas a outras ligas de alumínio podem ser observadas na Tab. (4.2) a seguir:

<i>Número da Associação do Alumínio</i>	<i>Limite de resistência à tração [MPa (ksi)]</i>	<i>Limite de escoamento [MPa (ksi)]</i>	<i>Ductibilidade [%AL em 50mm (2pol.)]</i>	<i>Aplicações típicas</i>
1100	90 (13)	35 (5)	35-45	Equipamentos para manuseio e armazenamento de alimentos e produtos químicos, trocadores de calor, refletores de luz.
2024	470 (68)	325 (47)	20	Estrutura de aeronaves, rebites, rodas de caminhão, produtos de máquinas de fazer parafusos.
6061	240 (35)	145 (21)	22-25	Caminhões, canoas, vagões de trem, mobílias, tubulações.
7075	570 (83)	505 (73)	11	Peças estruturais de aeronaves e outras aplicações submetidas a tensões elevadas.

Tabela 4.2 – Características mecânicas de ligas de alumínio (CALLISTER, 2002).

4.3 CONCEPÇÃO

Conforme foi apresentado no capítulo 3.1.2 deste relatório, esses equipamentos já contam com compressores de ar, possibilitando que os bocais trabalhem com sistemas de atomização por ar comprimido, o qual apresenta de forma geral resultados melhores quanto ao tamanho reduzido das gotas produzidas.

A fixação do bocal foi definida a partir do próprio equipamento, diâmetro interno de 3” segurado por quatro parafusos do tipo M6, os quais vem instalados originalmente no equipamento, igualmente separados radialmente, conforme ilustração a seguir:

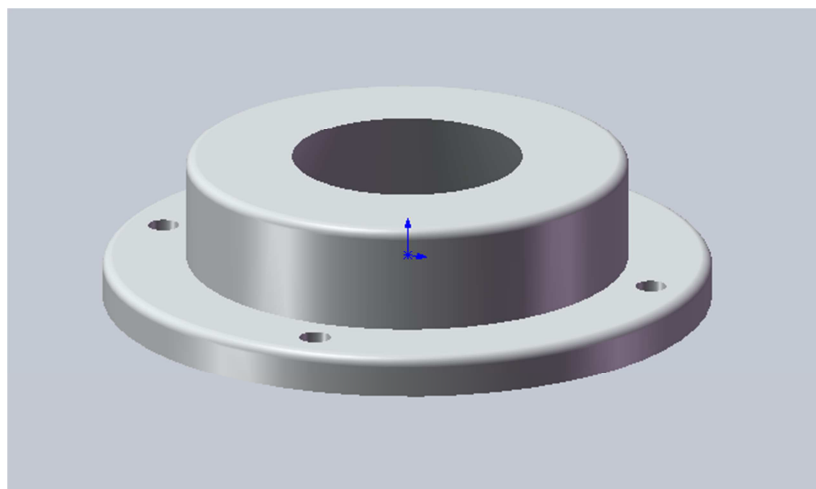


Figura 4.1 – Base de fixação do bocal.

Logo acima da base começa a ser formado o bico aspersor propriamente dito e a área de desintegração do defensivo, na Fig. (4.2) já é possível ver os orifícios de saída ao redor do centro do bico que funcionam como um atomizador do tipo orifício plano, cada furo possui diâmetro de 3mm, dimensionados de modo a evitar o entupimento dos mesmos. Ao centro, é possível observar o encaixe do eixo que tem por finalidade auxiliar na criação de um vórtice na saída do bico nebulizador e, na lateral, o canal por onde se conectará a mangueira de polietileno de 5mm de diâmetro externo condutora do defensivo, essa última será unida ao bocal por uma conexão rosqueável.

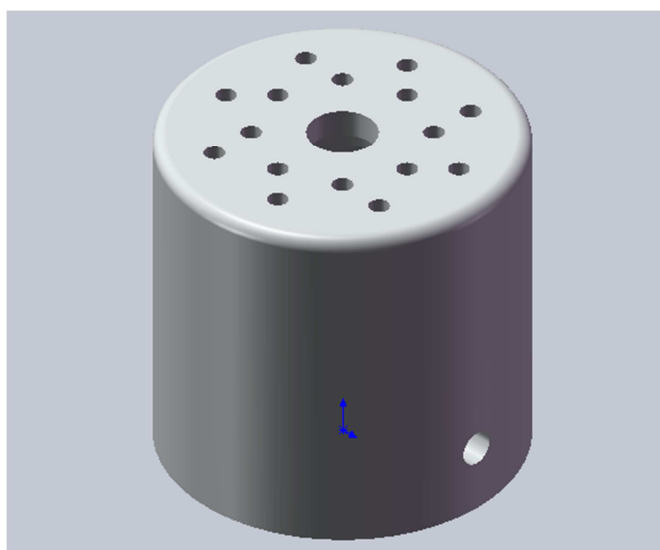


Figura 4.2 – Parte superior do bocal

O eixo central citado anteriormente é feito do mesmo material de todo o resto do bocal, liga de alumínio 6061, tem 10mm de diâmetro e conta com uma espiral em sua volta, conforme Fig. 4.3 (a) e detalhado nos desenhos técnicos apresentados na forma do Anexo V deste relatório. A fixação desse eixo é feita por meio de um anel de retenção em um rolamento devidamente dimensionado, modelo 61800 com diâmetro externo de 19mm, capacidade de carga dinâmica de 1,38kN e rotação máxima de 48.000rpm.

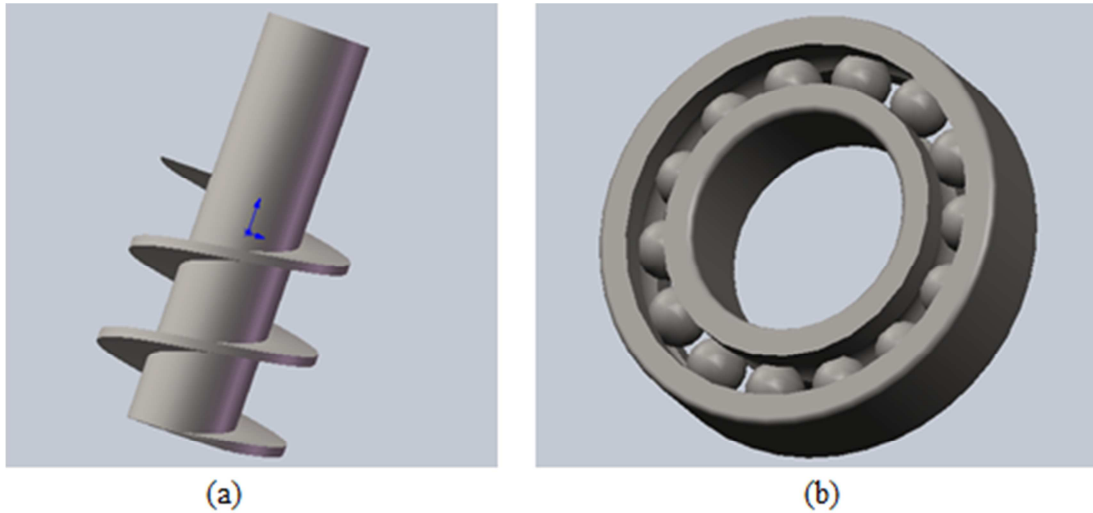


Figura 4.3 – Eixo central e rolamento.

O rolamento apresentado na Figura 4.3 (b) foi então fixado à parte superior do bocal e, devido ao alto grau da precisão de acabamento exigida nesse projeto, H7, não há risco de deslizamento do mesmo. Apesar de apresentado como elementos individuais o bocal foi projetado como peça única, inclusive no que tange os processos de fabricação, para evitar a necessidade de soldagem dos elementos, ou fixações não permanentes como parafusos.

Por ser constituído principalmente por retas e formas clássicas, a usinagem do bocal não deve representar grandes dificuldades no processo de fabricação do mesmo. Uma vista final e outra com corte do bocal projetado podem ser vistas abaixo:

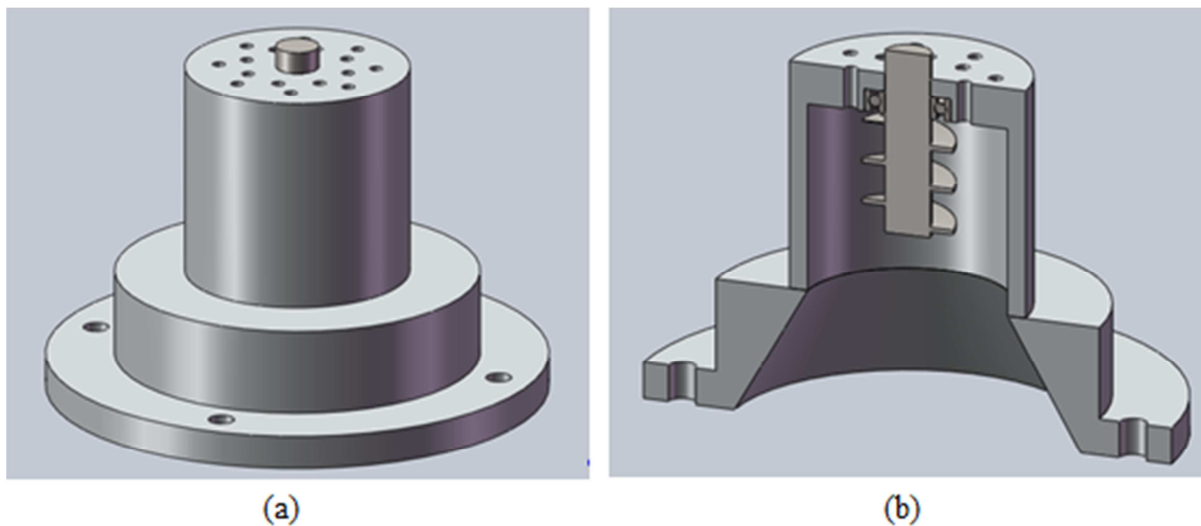


Figura 4.4 – Vista geral (a) e em corte (b) do bocal.

Como observado na figura anterior em corte, há uma redução na área do canal de entrada do ar comprimido de 3” para 1” e já na saída do bico uma nova redução nos orifícios de 3mm, de forma que a velocidade do fluxo de ar aumente juntamente com a pressão naqueles pontos de estrangulamento. A malha gerada, com 473.599 elementos, e a simulação dos esforços desse conjunto podem ser vistas segundo as Figs. (4.5) e (4.6), respectivamente:

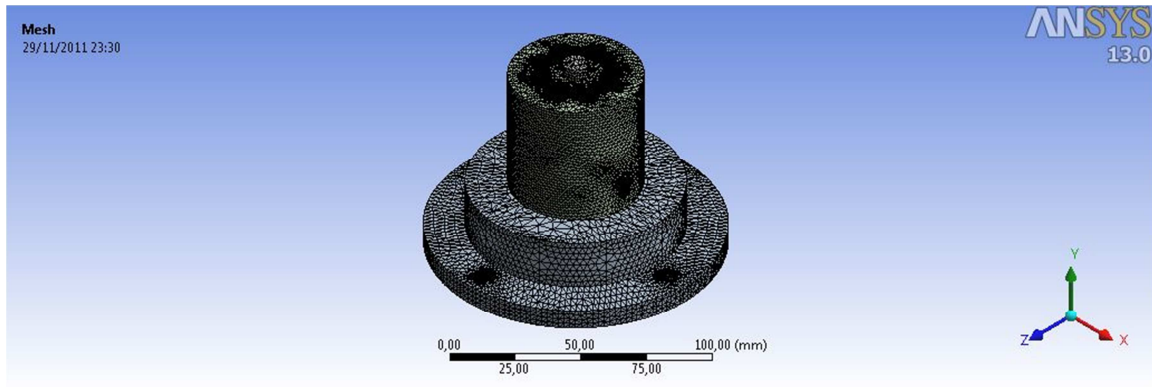


Figura 4.5 – Malha de elementos finitos para simulação.

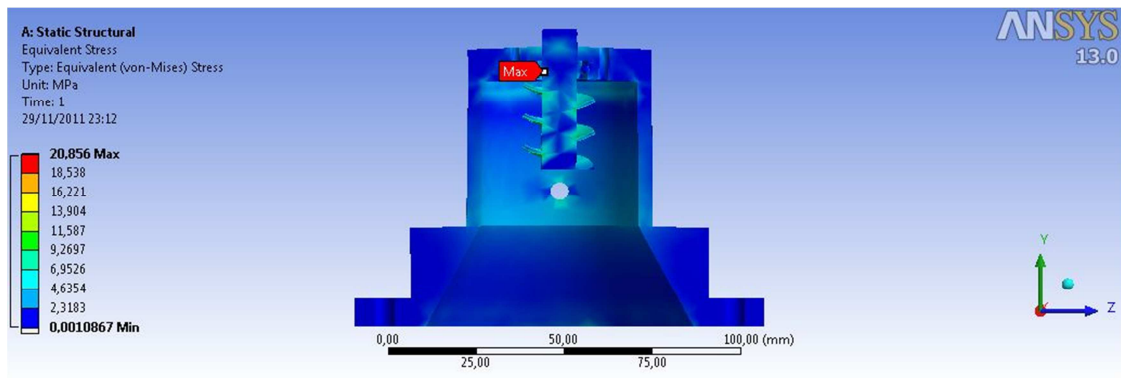


Figura 4.6 – Simulação de tensão distribuída.

A partir da simulação de tensão distribuída pela geometria, a máxima tensão obtida foi de aproximadamente 21Mpa no ponto indicado pela seta vermelha, na base do eixo central posicionado no ponto de contato entre o eixo e o rolamento. Como observado, essa tensão é perfeitamente suportada pela estrutura de alumínio 6061 que apresenta um limite de escoamento de 145MPa, conforme fora apresentado na Tab. (4.2) deste relatório. A seguir é apresentado o resultado referente a simulação quanto à deformação dos elementos do bocal:

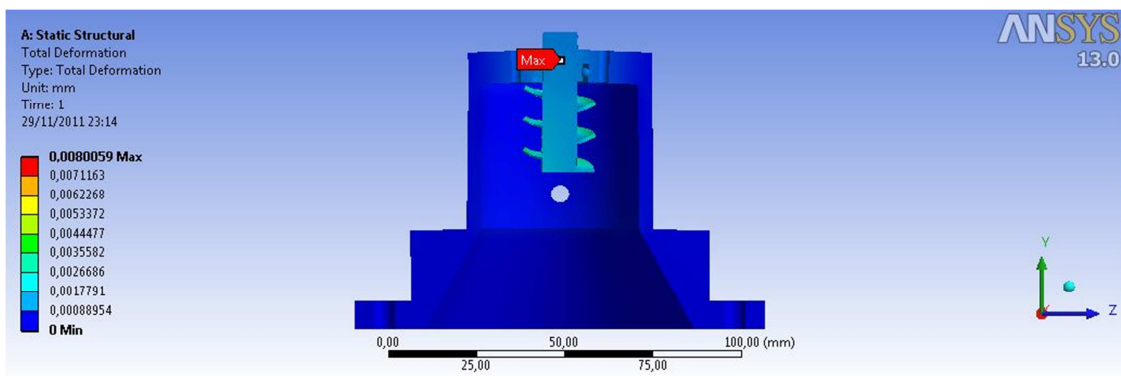


Figura 4.7 – Simulação de deformação.

Novamente os resultados obtidos não representam nenhum caso crítico, no que se refere à deformação esperada, o maior valor alcançado não ultrapassa a casa dos centésimos de milímetro,

sendo, portanto, um fator insignificante. Finalizando a análise estrutural do bocal projetado, foram levantados os dez primeiros modos naturais de vibração do bocal, de modo que devem ser evitados equipamentos com frequências iguais às obtidas para que não ocorra ressonância entre as estruturas.

Análise Modal	
Modo	Frequência [Hz]
1	5.117,0
2	5.123,8
3	6.563,6
4	6.576,8
5	9.994,8
6	10.441,0
7	11.619,0
8	11.851,0
9	11.853,0
10	13.854,0

Tabela 4.3 – Análise modal da estrutura.

De fato, os modos de vibração obtidos estão muito elevados e dificilmente serão alcançados por um equipamento de atomização UBV montado, contudo, futuras análises serão necessárias para cada equipamento que venha a utilizar o bocal projetado.

No intuito de alcançar gotas ainda menores, o meio a ser atomizado será submetido a múltiplos estágios de quebra de partículas, de forma que a desintegração das gotas seja auxiliada também pela criação de um vórtice na ponta do bocal. Esse processo de desintegração do fluido defensivo em diferentes estágios pode ser devidamente ilustrado como a seguir:

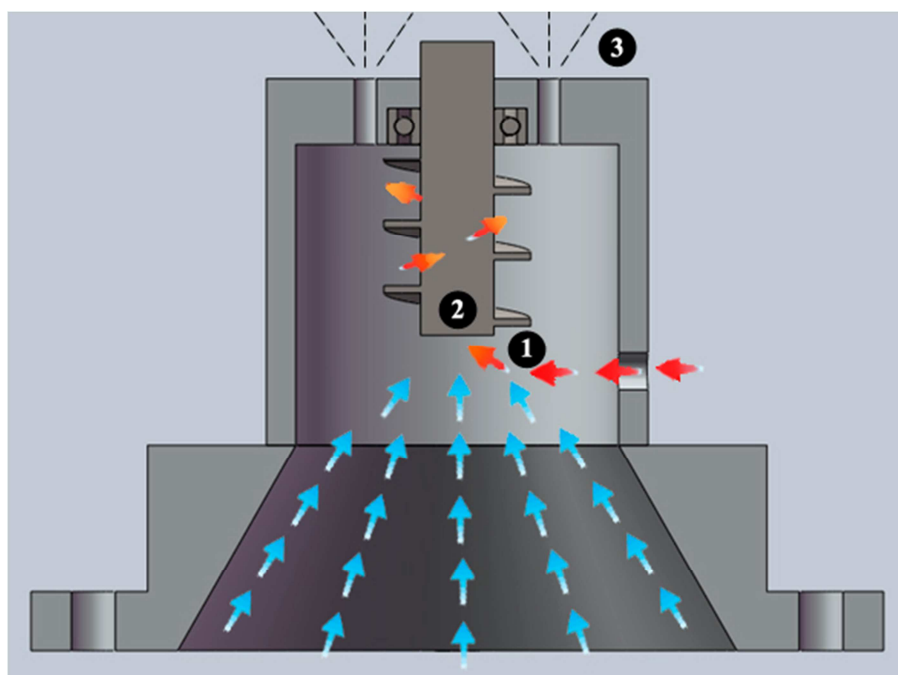


Figura 4.8 – Linhas de fluxo no interior do bocal.

É possível observar na figura anterior duas linhas de fluxo distintas, uma entrada de ar pela parte inferior, representada por setas azuis, e outra entrada pela lateral direita do fluido a ser atomizado, representado por setas vermelhas. Ao entrar no bocal, o defensivo encontra um fluxo de ar intenso imposto pelo soprador do equipamento, nesse momento ocorre o primeiro estágio de quebra de gotas, identificado na figura pelo número 1.

O fluido resultante é então direcionado pelo fluxo de ar de encontro ao eixo central presente no interior do bico, no momento do choque ocorre então o segundo estágio de quebra das partículas, número 2 da Fig. (4.8). Intuitivamente, espera-se que o eixo já se encontre em movimento de rotação e, com isso, as hélices presentes em sua superfície propiciem um fluxo circular no interior do bocal, aumentando assim a velocidade angular e as perturbações na superfície das gotas ali presentes, acentuando ainda mais o desequilíbrio entre a pressão interna e a pressão resultante da tensão superficial na gota.

Por fim, já no último estágio de atomização representado pelo número 3 da mesma figura anterior, as gotas são submetidas a uma redução de área na saída do bocal, são então expelidas em seu tamanho final através de 16 furos com 3mm de diâmetro cada. Os resultados esperados para as gotas produzidas por esse bocal a partir do equipamento utilizado supera a exigência de projeto, visto que na literatura sistemas de atomização ar-fluido atingem um DMV de $20\mu\text{m}$ trabalhando a cerca de 276kPa (SCHICK, 2005).

Foram feitas simulações computacionais na ferramenta FloXpress do SolidWorks a fim de corroborar as expectativas citadas, inicialmente foi simulado o fluxo de ar sozinho na câmara do bocal e, separadamente, o fluxo de defensivo ao entrar no bocal, conforme as figuras a seguir:

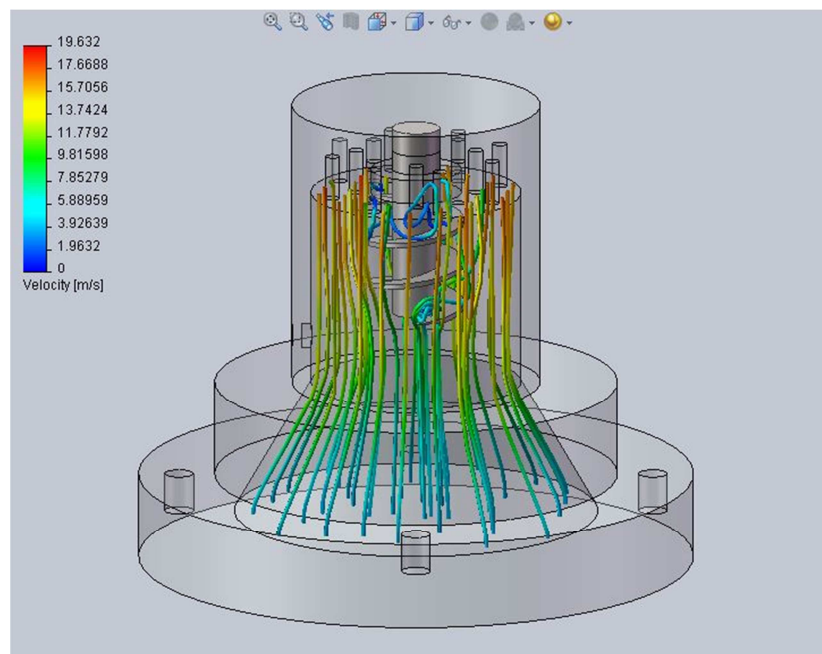


Figura 4.9 – Fluxo de ar no interior do bocal.

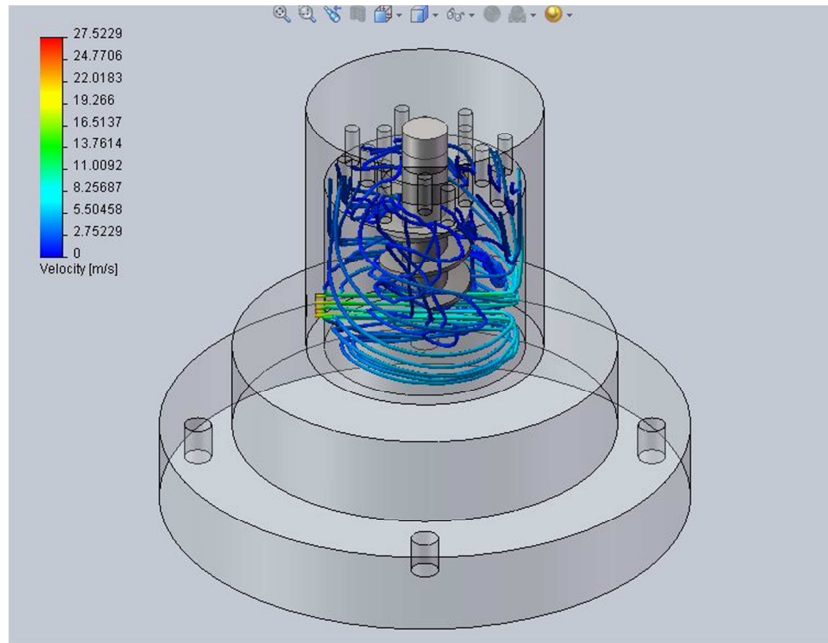


Figura 4.10 – Fluxo de defensivo no interior do bocal.

Estão representadas nas figuras acima as velocidades máximas indicadas de 19,6m/s e 27,5m/s para o ar e fluido defensivo, respectivamente. O relatório emitido pelo programa computacional utilizado da simulação feita para o escoamento de ar dentro do bocal é apresentado no Anexo IV deste relatório. Ademais, os desenhos técnicos necessários para a construção do bocal projetado foram elaborados e são apresentados na forma do Anexo V.

5 CONCLUSÃO

Este capítulo visa apresentar algumas notas e conclusões feitas pelo autor no decorrer do projeto realizado, além de indicações para trabalhos futuros.

No presente estudo buscou-se compreender a realidade dos programas de combate à dengue e do quadro de saúde nacional, assim como a importância do controle dessa doença. De fato, há um envolvimento de Prefeituras, Secretarias e da própria comunidade ao longo de todo o território brasileiro, organizados e, muitas vezes, custeados pelo Ministério da Saúde. Nos programas analisados nota-se um destaque ao combate do mosquito vetor da doença, o *Aedes aegypti*, desde suas formas imaturas até sua condição adulta.

Seguindo esse objetivo, alguns métodos e técnicas de prevenção e tratamento foram desenvolvidos com ênfase na pulverização de defensivos específicos em áreas povoadas, nas quais se observou a presença do inseto. Portanto, dada a importância que o processo de atomização de líquidos tem para o bom desempenho desses programas e o efetivo controle da praga, é de grande importância que os parâmetros de operação envolvidos sejam devidamente compreendidos.

Apresentado o problema, foi feito um levantamento dos elementos de um equipamento UBV pesado padrão, semelhante aos adquiridos e distribuídos pela Secretária de Vigilância em Saúde do Ministério da Saúde (SVS/MS). Então, conhecidas as condições padronizadas de pulverização dos defensivos, obtidas em manuais de operação, e das condições dos equipamentos, os requisitos para uma simulação dos trabalhos de campo estão satisfeitos.

Nos capítulos seguintes foi apresentado o projeto detalhado do bocal projetado bem como sua geometria por meio de desenhos CAD feitos no programa computacional SolidWorks, só então foi criada a malha de elementos finitos e feitas as simulações estáticas do conjunto aspersor, levando em conta parâmetros de tensão distribuída, deformação e modos de vibração. O bocal em sua versão final, produzido em liga de alumínio 6061, apresentou uma massa final de 465,82 gramas e volume de 159,96cm³ e não indicou falha mecânica estática ou de fadiga para nenhuma das simulações feitas, os desenhos técnicos com as dimensões detalhadas foram apresentados em anexo.

As simulações de fluxo feitas com a ferramenta computacional FloXpress se apresentaram satisfatórias quanto ao entendimento do escoamento no interior do bico, contudo, não apresenta resultados objetivos ou precisos ao quantificar tais escoamentos. Foram então levantadas algumas malhas bem detalhadas de elementos finitos para simulação no ANSYS CFX, com o objetivo de analisar também o escoamento após ser expelido pelo bocal, principalmente no que se refere ao tamanho de gotas e sua dispersão.

Para que fosse possível ter uma noção das partículas na saída do bico, foi criada uma malha muito fina, uma vez que o tamanho de gota esperado é da ordem de 15µm. No entanto, um escoamento

multifásico como o descrito na câmara de atomização do bico se apresentou muito complexo, são duas entradas de fluidos distintos em condições distintas e várias saídas, exigindo um elevado nível de processamento. Ao tentar simular a malha, o programa computacional travava após algumas horas de processamento.

Finalmente, conclui-se este projeto com o objeto de desenvolvimento de um bico atomizador, com geometria específica para equipamentos de aspersão UBV montados, concluído. Contudo, não foi possível, por limitação de recursos no processamento da máquina utilizada nas simulações, chegar a resultados mais precisos do produto da aspersão, as gotas. Fica ainda, como sugestão para trabalhos futuros, a simulação da geometria desenvolvida no ANSYS CFX juntamente com a construção do bico projetado nesse trabalho, para que os resultados obtidos nas simulações possam ser confrontados com os reais, esses que, por meio da parceria com a Secretária de Vigilância em Saúde, devem ser adquiridos a partir de um equipamento de leitura de espectro de gotas com precisão semelhante aos apresentados neste relatório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, T. **Particle Size Measurement**, 5ª Edição, Volume 1, Londres, Editora Chapman and Hall, 1997.
- ARAGÃO, M. B.; AMARAL, R. S.; LIMA, M. M. **Aplicação espacial de inseticida em saúde pública**. Cadernos de Saúde Pública, Volume 2, número 4, p. 147-166, abril/junho, 1988.
- ARAUJO, J. F. M. **Estudo dos modelos de quebra e coalescência para escoamentos polidispersos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), 184p. – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ:2006.
- BERNACKI, H.; HAMAN, J.; KANAFOJSKI, Cz. **Agricultural machines: theory and construction**. Warsaw: Central Institute of Scientific, Technical and Economic Information. Capítulo 15, p. 780-865, 1976.
- BRIGGS & STRATTON. **Operator's Manual**. Disponível em <<http://www.vanguardengines.com>>. Acesso em 25 de junho de 2011.
- CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5ª Edição. Editora LTC. 589p. SP: São Paulo, 2002.
- CARNEIRO, T. R. A. **Distribuição Normal Padrão**. 1p. Moema, SP. Disponível em <<http://www.aulasdematematica.com.br>>. Acesso em 22 de junho de 2011.
- CLARKE ENGINEERING TECHNOLOGIES INC. **LECO 1800E-OHV Specs Sheet**. Roselle, IL 60172 USA, 2p. Disponível em <<http://www.clarke.com>>. Acesso em 15 de junho de 2011.
- CONCEIÇÃO, M. A. F. **Simulação da Distribuição de Água em Microaspersores Sob Condições de Vento**. Dissertação (Doutorado em Agronomia), 121 p. - Universidade de São Paulo, São Paulo. Piracicaba, SP: 2002.
- DA COSTA, M. A. F. **Avaliação de desempenho operacional de um pulverizador pneumático costal motorizado utilizado no controle de mosquitos vetores de doenças**. Dissertação (Mestrado em Agronomia), 115 p. - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP: 2002.
- DA SILVA, M. B.; NETO, A. S. **Metodologia para estudo de sistemas aspersores comerciais**. XXVI ENEGEP, 8p. Fortaleza, CE: 2006.
- DRESSER, INC. **ROOTS™ Universal RAI® Rotary Positive Displacement Blowers Specifications**. Disponível em <<http://www.dresserroots.com>>. Acesso em 25 de junho de 2011.
- EGUTI, C. C. A. **Desenvolvimento de um circuito eletrônico experimental de anemômetro de fio quente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), 204p – Faculdade de Engenharia Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, SP: 2005.
- EL AWADY, M. N. **An atomization theory for swirl nozzles**. Transactions of the SAE, Volume 21, número 1, p. 70-74, janeiro/fevereiro, 1978.
- ESCOLA DE COMBUSTÃO DE FLORIANÓPOLIS. **Curso de Atomização e Spray**. 79p. Florianópolis, SC: 2007.
- ESTEVES, B. N. **Influência do processo de secagem por pulverização mecânica (spray dryer) no tamanho de partícula e densidade aparente do café solúvel**. Dissertação (Mestrado em

- Engenharia Química), 86p. - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP: 2006.
- FERREIRA, M. C.; COSTA, G. M.; SILVA, A. R.; TAGLIARI, S. R. A. **Fatores qualitativos da ponta de energia hidráulica ADGA 110015 para pulverização agrícola.** 8p. Jaboticabal, SP: 2007.
- FLUID METERING, INC. **Valveless Metering Pumps & Dispensers.** Syosset. NY 11791 USA, 32p. Disponível em <<http://www.fmipump.com>>. Acesso em 24 de junho de 2011.
- FORTES, M.; FERREIRA, D. A.; FERREIRA, W. R.; SOUZA, A. C. **Modelagem de um condicionador de ar de alta precisão para uso em processamento agrícola.** 12p. Jaboticabal, SP: 2006.
- FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Dengue. Instruções para Pessoal de Combate ao Vetor.** Manual de Normas Técnicas. 3ª Edição, 75p. Brasília, DF: 2001. 49
- HILDEBRAND, H. **Refractive Index Considerations in Light Scattering Particle Size Measurements in Advances in Process Control Measurements for the Ceramic Industry.** American Ceramic Society p. 379, Westerville, 1999.
- JILLAVENKATESA, A.; DAPKUNAS, S. J.; LUM, L. H.; GOETZEL, G. C. **Particle Size Characterization.** NIST Recommended Practice Guide – Special Publication 960-1, Washington, 2001.
- KAJIYAMA, T.; PARK, K. J. **Influência do tamanho de gota e do teor de água final no tempo de secagem em secador atomizador.** Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, 8p. Campina Grande, PB: 2010.
- KLD LABS, INC. **Droplet Measurement Technology.** NY 11746 USA. Disponível em <<http://www.kldlabs.com>>. Acesso em 15 de abril de 2011.
- LAUDA, D. P.; ROCCO, J. A. F. F. **Estudo de um sistema de injeção bi-propelente do tipo Swirl usando querosene e peróxido de hidrogênio como oxidante.** Anais do 13º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA, 10 p. São José dos Campos, SP: 2007.
- LAUREANO, G. J. **Projeto de um gerador de gotas tipo micronair para os atomizadores costais motorizados.** Dissertação (Mestrado), 147p. – Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP: 1983.
- MALVERN INSTRUMENTS LTD. **Spraytec: Accurate particle sizing of aerosols and spray.** 8p. Disponível em <<http://www.malvern.com>>. Acesso em 18 de outubro de 2011.
- MARER, P. J. **The safe and effective use of pesticides.** Davis: Division of Agriculture and Natural Resources, 356p. 1988.
- MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods.** Editora Longman, 2ª Edição, 405p. New York, 1992.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Doenças infecciosas e parasitárias.** Guia de Bolso. 6ª Edição, 322p. Brasília, DF: 2006.
- MONTEBELLER, C. A.; CARVALHO, D. F.; SOBRINHO, T. A.; NUNES, A. C. S.; RUBIO, E. **Avaliação hidráulica de um simulador de chuvas pendular.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 5 p. Campina Grande, PB: 2001.

- MORAES, M. S.; LIMA, J. R. B; MORAES Jr., D.; LIA, L. R. B; PIZZO, S. M. **Experimento para quantificar a eficiência de aspersão de líquidos: aplicação em distribuidores espinha de peixe.** Revista Escola de Minas, Volume 61, número 1, p. 25-28, março, 2008.
- MUNSON, B. R.; YOUNG, D.F.; OKIISHI, T. H. **Fundamentos da Mecânica dos Fluidos.** Editora Edgar Blücher Ltda, São Paulo, 2004.
- NEGREIROS, M. J.; XAVIER, A. F. S.; LIMA, J. W. O.; XAVIER, A. E.; MACULAN, N.; MICHELON, P. **Integração de sistemas computacionais e modelos logísticos de otimização para prevenção e combate à dengue.** 27p. Pesquisa Operacional: 2008.
- NETO, F. P. C.; MAINIER, F. B. **Tecnologia de água atomizada (water mist) como agente extintor de incêndio em instalações offshore.** 22º Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore, 13p. Sobena, RJ: 2008.
- SAMPAIO, C. A. P.; PASSOS, E. F.; DIAS, G. P.; CORREA, P.C. **Desenvolvimento e Avaliação de um Anemômetro de Fio Quente Operando à Temperatura Constante.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 6 p. Campina Grande, PB: 1998.
- SCHICK, C. P. R. **Maximize the Performance of Spray Nozzle Systems.** Equipment Maintenance. CEP Magazine. 7p. Dezembro, 2005.
- SCIANI, D. C. **Caracterização tecnológica de nebulizadores UBV.** Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica), 66p. – Universidade de Brasília. Brasília, DF: 2005.
- SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE. **Balança Dengue Janeiro a Julho de 2007.** 9p. Disponível em <<http://www.saude.gov.br>>. Acesso em 24 de março de 2011.
- SECRETARIA ESTADUAL DE SAÚDE DE SÃO PAULO. **Casos de Dengue. Brasil, Grandes Regiões e Unidades Federadas. 1997 a 2009.** 1p. Disponível em <<http://www.saude.sp.gov.br>>. Acesso em 11 de abril de 2011.
- SHIGLEY, E. J.; MISCHKE, C. R.; BUDYNAS, R. G. **Projeto de Engenharia Mecânica.** Editora Bookman, 7ª Edição, 960p., 2005.
- SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE AGRAVOS DE NOTIFICAÇÃO. **Casos confirmados de FHD, segundo ano de confirmação. Brasil, Grandes Regiões e Unidades Federadas. 1990-1991, 1994-2009.** 1p. Disponível em <<http://www.saude.gov.br>>. Acesso em 11 de abril de 2011.
- SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE AGRAVOS DE NOTIFICAÇÃO. **Óbitos por Dengue com Complicações. Brasil, Grandes Regiões e Unidades Federadas. 2001-2009.** 1p. Disponível em <<http://www.saude.gov.br>>. Acesso em 11 de abril de 2011.
- TAUIL, P. L. **Urbanização e ecologia do dengue.** Cad. Saúde Pública, 4p. Rio de Janeiro, RJ: 2001. 50
- VARELLA, D. **Aedes aegypti.** Estação Saúde – Educação e Cultura LTDA. Bela Vista, SP. Disponível em <<http://www.drauziovarella.com.br>>. Acesso em 25 de maio de 2011.
- WARD, S. M. **Spray characteristics of a rotary atomizer.** Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. Volume 16, número 4, p. 30-32, 1985.
- WIKIPEDIA. **Aedes aegypti.** Disponível em <<http://pt.wikipedia.org>>. Acesso em 25 de maio de 2011.

ANEXOS

		Pág.
Anexo I	Equações de propriedades termodinâmicas e térmicas para o ar úmido, onde T é a temperatura em K e T_c em °C	55
Anexo II	Tabela de distribuição normal padronizada (Z).	56
Anexo III	Especificações técnicas do equipamento de leitura por difração a <i>laser</i>.	57
Anexo IV	Relatório de simulação emitido pelo FloXpress para o escoamento de ar no interior do bocal.	58
Anexo V	Desenhos técnicos.	59

ANEXO I: Equações de propriedades termodinâmicas e térmicas para o ar úmido, onde T é a temperatura em K e T_c em °C (Fortes *et al.*, 2006).

Propriedade	Equação	Validade Erro (%)
Pressão de vapor d'água saturado (kPa)	$P_s = \exp(25,53/T)/1000$	7<T _c <80 0,03
Umidade absoluta (kg/kg)	$w = 0,62192.P_s.\phi.(P-P_s.\phi)$, em que P é a pressão total e ϕ é a umidade relativa do ar	-
Constante do ar úmido, como gás perfeito	$R_a = [R_u/(1+w)].(1/28,97+w/18,16)$, em que R _u é a constante universal dos gases	-
Calor específico do ar seco (kJ/kg.K)	$C_{ps} = 1,003 + 9,891.10^{-5}.T$	5<T _c <80 0,3
Calor específico do ar úmido (kJ/kg.K)	$C_{pa} = C_{ps}+w.C_{pc}$, em que C _{pv} é o calor específico do vapor d'água	-
Viscosidade dinâmica do ar úmido (kPa.s)	$\mu = 4,67.10^{-8}.T+4,53.10^{-6}$	4<T _c <80 0,4
Vazão mássica de ar seco (kg/s)	$\dot{m}_{as} = \dot{m}_a/(1+w)$, em que \dot{m}_a é a vazão mássica de ar úmido	-
Entalpia do vapor d'água (kJ/kg)	$H_v = 2501,84 + 1,81334.(T-273,15)$	4<T _c <80 0,6
Entalpia da água líquida (kJ/kg)	$H_L = 0,1942 + 4,181.(T-273,15)$	4<T _c <80 0,57
Entalpia do ar úmido (kJ/kg)	$H_a = C_{ps}.(T-273,15) + w.H_v$	-
Condutividade térmica do ar úmido (W/m.K)	$k_a = (7,331.10^{-5}.T + 0,004071)/1000$	4<T _c <80 0,4
Condutividade térmica da água (W/m.K)	$k_L = 0,5630 + 0,001530.(T-273,15)$	4<T _c <60 0,87
Difusividade de massa na superfície molhada (m ² /s)	$d_L = (22,29+0,07435.T+0,00332203.T^{0,2}-4,021.10^{-5}.T^{0,3}+2,634.10^{-7}.T^{0,4}).10^{-6}$	4<T _c <80 0,67
Difusividade de massa da água no spray (m ² /s)	$d_2 = (4,53.10^{-7}.T^{2,334}).10^{-4}$	-
Coefficiente convectivo entre a gota d'água e o ar úmido (kW/m ² .K)	$h_g = [2+0,6.(\phi_g.v_g.\rho_g/\mu)^{1/2}.(C_p.\mu/k_a)^{1/3}].(k_L/\phi)$	-
Coefficiente de transferência de massa entre a gota e o ar úmido (kg/m ² .s)	$h_m = [2+0,6.(\phi_g.v_g.\rho_g/\mu)^{1/2}.(mu/rho.d_2)^{1/3}].(k_L.d_2/\phi)$	-

ANEXO II: Tabela de distribuição normal padronizada (Z).

	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120	0.0160	0.0199	0.0239	0.0279	0.0319	0.0359
0.1	0.0398	0.0438	0.0478	0.0517	0.0557	0.0596	0.0636	0.0675	0.0714	0.0753
0.2	0.0793	0.0832	0.0871	0.0910	0.0948	0.0987	0.1026	0.1064	0.1103	0.1141
0.3	0.1179	0.1217	0.1255	0.1293	0.1331	0.1368	0.1406	0.1443	0.1480	0.1517
0.4	0.1554	0.1591	0.1628	0.1664	0.1700	0.1736	0.1772	0.1808	0.1844	0.1879
0.5	0.1915	0.1950	0.1985	0.2019	0.2054	0.2088	0.2123	0.2157	0.2190	0.2224
0.6	0.2257	0.2291	0.2324	0.2357	0.2389	0.2422	0.2454	0.2486	0.2517	0.2549
0.7	0.2580	0.2611	0.2642	0.2673	0.2704	0.2734	0.2764	0.2794	0.2823	0.2852
0.8	0.2881	0.2910	0.2939	0.2967	0.2995	0.3023	0.3051	0.3078	0.3106	0.3133
0.9	0.3159	0.3186	0.3212	0.3238	0.3264	0.3289	0.3315	0.3340	0.3365	0.3389
1.0	0.3413	0.3438	0.3461	0.3485	0.3508	0.3531	0.3554	0.3577	0.3599	0.3621
1.1	0.3643	0.3665	0.3686	0.3708	0.3729	0.3749	0.3770	0.3790	0.3810	0.3830
1.2	0.3849	0.3869	0.3888	0.3907	0.3925	0.3944	0.3962	0.3980	0.3997	0.4015
1.3	0.4032	0.4049	0.4066	0.4082	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4162	0.4177
1.4	0.4192	0.4207	0.4222	0.4236	0.4251	0.4265	0.4279	0.4292	0.4306	0.4319
1.5	0.4332	0.4345	0.4357	0.4370	0.4382	0.4394	0.4406	0.4418	0.4429	0.4441
1.6	0.4452	0.4463	0.4474	0.4484	0.4495	0.4505	0.4515	0.4525	0.4535	0.4545
1.7	0.4554	0.4564	0.4573	0.4582	0.4591	0.4599	0.4608	0.4616	0.4625	0.4633
1.8	0.4641	0.4649	0.4656	0.4664	0.4671	0.4678	0.4686	0.4693	0.4699	0.4706
1.9	0.4713	0.4719	0.4726	0.4732	0.4738	0.4744	0.4750	0.4756	0.4761	0.4767
2.0	0.4772	0.4778	0.4783	0.4788	0.4793	0.4798	0.4803	0.4808	0.4812	0.4817
2.1	0.4821	0.4826	0.4830	0.4834	0.4838	0.4842	0.4846	0.4850	0.4854	0.4857
2.2	0.4861	0.4864	0.4868	0.4871	0.4875	0.4878	0.4881	0.4884	0.4887	0.4890
2.3	0.4893	0.4896	0.4898	0.4901	0.4904	0.4906	0.4909	0.4911	0.4913	0.4916
2.4	0.4918	0.4920	0.4922	0.4925	0.4927	0.4929	0.4931	0.4932	0.4934	0.4936
2.5	0.4938	0.4940	0.4941	0.4943	0.4945	0.4946	0.4948	0.4949	0.4951	0.4952
2.6	0.4953	0.4955	0.4956	0.4957	0.4959	0.4960	0.4961	0.4962	0.4963	0.4964
2.7	0.4965	0.4966	0.4967	0.4968	0.4969	0.4970	0.4971	0.4972	0.4973	0.4974
2.8	0.4974	0.4975	0.4976	0.4977	0.4977	0.4978	0.4979	0.4979	0.4980	0.4981
2.9	0.4981	0.4982	0.4982	0.4983	0.4984	0.4984	0.4985	0.4985	0.4986	0.4986
3.0	0.4987	0.4987	0.4987	0.4988	0.4988	0.4989	0.4989	0.4989	0.4990	0.4990

ANEXO III: Especificações técnicas do equipamento de leitura por difração de *laser*.

Especificações técnicas - Spraytec

Unidade ótica

Princípio de medição	difração de raio <i>laser</i>
Faixa de leitura	0,1 - 2.000mm
Modelamento ótico	Teoria de Mie e Aproximação de Fraunhofer, incluindo correção de múltiplo espalhamento patenteada
Lentes	300mm: 0,1 - 900mm (Dv50:0,5 - 600mm) 750mm: 2,0 - 2.000mm (Dv50:5 - 1.600mm)
Faixa de trabalho	150mm a 0,5mm expansível até >1m a 5mm
Faixa de concentração	mínima: 5% (dependendo do tamanho das partículas)
Sistema de detecção	conjunto detector de diodo de silício com 36 elementos
Fonte de <i>laser</i>	632,8nm, 5mW hélio-neon <i>laser</i>
Classe do <i>laser</i>	classe 3R
Sistema de alinhamento	sistema de alinhamento rápido automático
Máxima taxa de aquisição	modo contínuo: 1Hz modo rápido: 2,5kHz como padrão, 10kHz com <i>software</i> adicional
Precisão	melhor que +/- 1% no Dv50 para NIST (látex padrão rastreável)
Repetibilidade	melhor que +/- 1% COV no Dv50 para NIST (látex padrão rastreável)
Reprodutibilidade entre equipamentos	melhor que +/- 1% COV no Dv50 para NIST (látex padrão rastreável)

Disparo

Sistema de disparo	interno: baseado na transmissão ou níveis de espalhamento de luz externo: baseado na entrada TTL ou interruptor simples
Dispositivo externo de sincronização	duas saídas TTL de disparo

Programa computacional

Especificação mínima de sistema (fornecido junto com o sistema)	DELL Mini Tower PC, processador Intel Pentium IV 2,8GHz, 512Gb RAM, 160Gb-HDD, CD-RW, completo com <i>mouse</i> , teclado e monitor de 17". Para atuadores de <i>spray</i> nasal são requeridos uma conexão de PCI e uma COM livres.
Plataforma de operação	Windows XP Profissional (Pacote de serviços 2 ou superior)
Observância 21CFR11	conformidade técnica fornecida através do sistema de segurança em camadas de acesso, trilhas de auditoria e links para o Adobe Acrobat para assinaturas eletrônicas

Ambiente operacional

Classificação de gabinete	classificação IP65 para o transmissor principal e módulos receptores em uso normal
Temperatura	15 - 40°C
Umidade	35 - 80%, sem condensação

Peso e dimensões	Largura da zona de medição (mm)	Peso montado (kg)	Dimensões (CxLxA em mm)
Sistemas de laboratório	300mm	36kg	950x550x610
	750mm	37kg	1400x550x610
Sistemas de pulverização	300mm	36kg	950x550x650
	750mm	37kg	1400x550x650

ANEXO IV: Relatório de simulação emitido pelo FloXpress para o escoamento de ar no interior do bocal.

SolidWorks FloXpress Report

SolidWorks FloXpress is a first pass qualitative flow analysis tool which gives insight into water or air flow inside your SolidWorks model. To get more quantitative results like pressure drop, flow rate etc you will have to use Flow Simulation. Please visit www.solidworks.com to learn more about the capabilities of Flow Simulation.

Model

Model Name: E:\My Dropbox\Projeto-PSM\Nelson\PG\montagem_bico.SLDASM

Smallest Flow Passage

Smallest flow passage: 0.0163006 m

Fluid

Air

Inlet Volume Flow 1

Type	Volume Flow Rate
Faces	<1 corpo_bico-1@>
Value	Volume Flow Rate: 0.0168 m ³ /s Temperature: 293.2 K

Environment Pressure 1

Type	Environment Pressure
Faces	<1 Tampa_bico-1@>
Value	Environment Pressure: 68900 Pa Temperature: 293.2 K

Results

Name	Unit	Value
Maximum Velocity	m/s	19.632