

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DE UM TÚNEL DE VENTO PARA ENSAIOS DE
ESTIMATIVA DA DERIVA EM PULVERIZAÇÕES AGRÍCOLAS**

ORLANDO MOREIRA JUNIOR

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em Agronomia
(Energia na Agricultura).

BOTUCATU - SP
OUTUBRO – 2009

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DE UM TÚNEL DE VENTO PARA ENSAIOS DE
ESTIMATIVA DA DERIVA EM PULVERIZAÇÕES AGRÍCOLAS**

ORLANDO MOREIRA JUNIOR

Bacharel em Física, Licenciado em Matemática e Mestre em
Aerodinâmica, Propulsão e Energia

Orientador: Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para
obtenção do título de Doutor em
Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU - SP
OUTUBRO – 2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M838c Moreira Junior, Orlando, 1969-
Construção e validação de um túnel de vento para ensaios de estimativa da deriva em pulverizações agrícolas/
Orlando Moreira Junior. - Botucatu : [s.n.], 2009.
v, 72 f. : fotos color., gráfs., il., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2009
Orientador: Ulisses Rocha Antuniassi
Inclui bibliografia.

1. Tecnologia de aplicação. 2. Espectrofotômetro. 3. Gotas. 4. Escoamento. 5. Análise experimental. I. Antuniassi, Ulisses Rocha. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.


UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DE UM TÚNEL DE VENTO PARA ENSAIOS
DE ESTIMATIVA DE DERIVA EM PULVERIZAÇÕES AGRÍCOLAS"

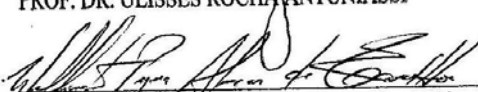
ALUNO: ORLANDO MOREIRA JUNIOR

ORIENTADOR: PROF. DR. ULISSES ROCHA ANTUNIASI

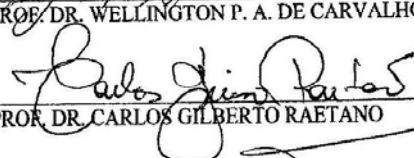
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. ULISSES ROCHA ANTUNIASI



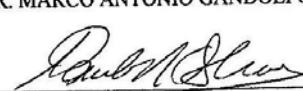
PROF. DR. WELLINGTON P. A. DE CARVALHO



PROF. DR. CARLOS GILBERTO RAETANO



PROF. DR. MARCO ANTONIO GANDOLFO



PROF. DR. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA

Data da Realização: 09 de outubro de 2009.

DEDICO,

À minha esposa, Meire Regina dos Santos Moreira por todo o amor, carinho, compreensão e a alegria de viver, sempre presentes, pelos filhos que me destes e também, especialmente, pelo apoio, companheirismo e perseverança durante todo o tempo de realização deste trabalho, dedico.

*Ao meu pai, Orlando Rodrigues Moreira
à minha mãe, Juramir Cabelo Moreira
aos meus irmãos e minha irmã,
por todo o eterno amor, carinho e incentivo, além dos ensinamentos, exemplos de caráter e dos inesquecíveis momentos de minha infância, ofereço.*

AGRADECIMENTOS

A DEUS por minha saúde e pelas pessoas que ele colocou em meu caminho.

Agradeço ao professor Ulisses Rocha Antuniassi orientador deste trabalho, pela dedicação e amizade durante o período de desenvolvimento das atividades.

Agradeço aos colegas de Doutorado do Laboratório de Máquinas para Pulverização do Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais (NEMPA) da FCA/UNESP - Departamento de Engenharia Rural, pela amizade, apoio e contribuição na realização dos ensaios.

Agradeço em especial aos meus amigos Rone Batista, Silva e Alisson pelas contribuições durante a realização desse trabalho.

Agradeço à minha família pelo apoio e compreensão durante os meus períodos de ausência...

Agradeço também a todos aqueles que acreditam em nós, mesmo quando parecemos ousados em nossas buscas...

**As vezes ouço passar o vento;
e só de ouvir o vento passar,
vale a pena ter nascido.**

Fernando Pessoa.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	1
SUMMARY.....	3
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1 Fluidos, escoamento e túneis de vento.....	7
2.2 Modelos de túnel de vento.....	10
2.3 Importância da deriva dos agrotóxicos por meio de pontas de pulverização e adjuvantes.....	19
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 Projeto e construção do túnel de vento	23
3.2 Ensaio preliminares para desenvolvimento do túnel de vento.....	28
3.2.1 Velocidade e qualidade do fluxo de ar.....	29
3.2.2 Posicionamento das telas e da colméia.....	30
3.3 Ensaio de validação.....	31
3.3.1 Seleção das tecnologias de aplicação e tratamentos.....	31
3.3.2 Sistema de pulverização.....	33
3.3.3 Preparo das caldas de aplicação.....	34
3.3.4 Coleta de dados.....	35
3.3.5 Lavagem dos fios coletores e análise das amostras.....	38
3.4 Delineamento estatístico	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1 Túnel de vento.....	40
4.2 Ensaio no túnel de vento.....	53
4.3 Comparação entre os tratamentos.....	55
4.4 Considerações finais.....	62
5 CONCLUSÕES	64
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo a construção de um túnel de vento em escala reduzida e de baixo custo para utilização em estudos de tecnologia de aplicação de agrotóxicos, com posterior validação através da avaliação dos efeitos de diferentes adjuvantes pulverizados por uma ponta na intensidade do processo de deriva. Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Máquinas para Pulverização do Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais (NEMPA) da FCA/UNESP - Departamento de Engenharia Rural, localizado no campus da UNESP da cidade de Botucatu. O túnel de vento construído teve como principais características ser de circuito aberto e seção de teste fechada, com o sistema acionador (motor) abastecendo o circuito e agindo como soprador. Logo após o motor foram colocadas duas telas e uma colméia, com a finalidade de uniformizar o fluxo de ar que se desloca para a seção de testes onde são feitas as medidas. O túnel de vento foi confeccionado com chapas de fibras de eucalipto de espessura 3,0 mm e face superior lisa e face inferior corrugada, tendo comprimento total de 4,80 m, uma seção de testes quadrada de 56 cm x 56 cm e área útil de aproximadamente 0,31 m² e 2,5 m de comprimento. Para o acionamento do túnel utilizou-se um ventilador de 5 velocidades e 180 W de potência. Todo sistema foi dimensionado para fornecer fluxo laminar de ar a uma velocidade de 2,0 m.s⁻¹. Os ensaios de validação foram realizados com uma ponta de pulverização XR8003 (jato plano convencional de uso amplo) a uma pressão de 2 bar, produzindo um espectro de gotas médias, utilizada para aplicação de caldas (soluções em água) contendo o corante Azul Brilhante a 0,6% v/v em

mistura ou não com dois adjuvantes. Os primeiro adjuvante é um redutor de deriva a base de polímeros, utilizado na concentração de 0,06% m/v, e o segundo um surfactante a base de nonilfenol, utilizado na concentração de 0,2% v/v. Cada pulverização foi realizada por 10 segundos e a deriva foi coletada através de fios de polietileno posicionados transversalmente ao fluxo de ar a diferentes distâncias da ponta e alturas do piso túnel. Os percentuais de depósitos nos coletores foram analisados por espectrofotometria no laboratório do Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM), pertencente ao Departamento de Produção Vegetal / Agricultura da UNESP/FCA – campus de Botucatu – SP. Os resultados mostraram que o túnel de vento construído conseguiu medir variações de intensidade de depósito de deriva para as diferentes caldas avaliadas nesse trabalho, demonstrando potencial de uso para ensaios de avaliação do potencial de risco de deriva de diferentes tecnologias de aplicação. Comparando-se com a calda padrão que continha apenas corante e água, o uso do adjuvante a base de polímero reduziu o risco de deriva quando comparado ao surfactante, com diferenças significativas pela análise do Intervalo de Confiança ao nível de 95% de probabilidade.

Palavras-chave: Tecnologia de aplicação, espectrofotômetro, gotas, escoamento.

CONSTRUCTION AND VALIDATION OF A WIND TUNNEL FOR DRIFT EVALUATION ON PESTICIDE APPLICATIONS. Botucatu, 2009.

Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ORLANDO MOREIRA JÚNIOR

Adviser: ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

SUMMARY

The aim of this study was to build a low cost reduced-scale wind tunnel for drift evaluation on pesticide application technology. Validation studies were undertaken by evaluating the effect of different adjuvants on the drift caused by the spray of a single nozzle. The work was carried out at the NEMPA - Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais (NEMPA), FCA/UNESP, Departamento de Engenharia Rural, Botucatu/SP, Brazil. The wind tunnel main characteristics were an open circuit and a closed working section with a fan blowing air into the tunnel. Screens were fitted downstream after the fan in order to stabilize the air flow on the working section. The tunnel was built with 3.0 mm eucalyptus hardboard, with a total length of 4.8 m and a squared section of 0.56 m. The working section had 0.31 m², with a total length of 2,5 m. The air flow was provided by a 180 W axial fan. The system was adjusted and calibrated to provide a laminar and stable flow at 2.0 m s⁻¹. Validation studies were carried out by using a XR 8003 flat fan nozzle at 2 bar (medium droplets) that was used to spray solutions containing water plus a food dye (Blue FDC) at 0,6% v/v mixed with the following adjuvants: a polymer based anti drift formulation at 0,06% m/v and a nonylphenol based surfactant at 0,2% v/v. After a 10-second application drift was collected on nylon strips transversally fixed along the tunnel at different distances from the

nozzle and different high from the bottom part of the tunnel. Drift deposits were evaluated by spectrophotometry at the NUPAM (Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia), Departamento de Produção Vegetal/UNESP/FCA, Botucatu, SP, Brazil. The results showed that the tunnel was effective to enable comparative drift measurements on the spray solution used in this work making possible the evaluation of drift risk under those spray technologies. Based on the comparison with a control solution with only water and dye, the polymer reduced the amount of drift and the surfactant increased drift with significant differences by the analysis of the Confidence Interval at 95% probability.

Keywords: Application technology, spectrophotometer, droplets, drainage.

1 INTRODUÇÃO

O estudo da deriva tem se tornado uma importante ferramenta para minimizar a contaminação ambiental causada pelo uso de agrotóxicos e que tem gerado preocupações quanto ao uso inadequado desses compostos.

Para o estudo da deriva, muitas pesquisas têm sido feitas usando túneis de vento (COSTA, 2006 e LEON et al, 1998). Esse tipo de estudo possibilita o diagnóstico, em condições controladas, de variáveis envolvidas no processo, como a pressão de pulverização, tipo de ponta, componentes da calda, entre outras.

De forma geral, o túnel de vento é uma instalação destinada a produzir, de forma regular e controlada, uma corrente de ar com o objetivo de determinarem-se experimentalmente as condições do escoamento e de medir distribuições de esforços, de temperaturas e acompanhamento de partículas, além de outros elementos relevantes do estudo.

Quando acontece a pulverização em uma área agrícola, deseja-se que o produto aplicado atinja o alvo. Mas uma parte desse produto sofre um desvio de trajetória e essas partículas (gotículas formadas durante a pulverização que não atingem o alvo) constituem uma das principais causas de perdas de agrotóxicos, conhecida como deriva, resultando em potencial de danos a culturas sensíveis adjacentes; contaminação de alimentos; contaminação do ar e da água; efeitos prejudiciais à saúde e segurança do ser humano, dos rebanhos bovinos e de outras criações.

O custo dos agrotóxicos, da mão de obra e da energia necessária para sua aplicação e a preocupação crescente em relação à poluição ambiental tem aumentado a necessidade de uma tecnologia mais acurada para a aplicação desses produtos químicos no alvo desejado, ou seja, diminuindo a deriva.

A utilização de técnicas corretas de aplicação pode efetivamente reduzir o risco ou a quantidade de deriva produzida nas aplicações de agrotóxicos. A seleção de pontas de pulverização e adjuvantes adequados pode ser uma medida eficiente, pelo uso das gotas pulverizadas de maior tamanho e alterações nas propriedades físicas e químicas na calda de aplicação, assim consegue-se diminuir a deriva e conseqüentemente a ineficiência da aplicação e a contaminação ambiental.

Existem túneis de vento utilizados para se fazer estudos de deriva fora do Brasil (COSTA, 2006). Muitos destes têm a possibilidade de controle de temperatura e umidade do ar, apresentam grande área de seção de teste e sistemas automatizados. Entretanto, sua construção e manutenção apresentam um custo muito alto, além de exigir a construção de prédios específicos para abrigá-los.

Este trabalho objetivou a construção de um túnel de vento em escala reduzida, de baixo custo e sua posterior validação através de ensaios de determinação da deriva em diferentes caldas pulverizadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fluidos, escoamentos e túneis de vento

A partir do século XX no estudo da mecânica dos fluidos foram estabelecidas uma série de teorias e experimentos abrangentes, por Prandtl e seus dois principais competidores e colegas, Theodore Von Kármán (1881-1963) e Sir Geoffrev I. Taylor (1886-1975). Theodore Von Kármán, nascido na Hungria e falecido nos EUA, foi um grande especialista em mecânica dos fluidos e, em aerodinâmica, em particular. À partir dos resultados obtidos de seus experimentos e graças à evolução de técnicas e, sobretudo, aos notáveis avanços na velocidade e na capacidade de armazenamento dos computadores modernos, os programas elaborados para simular escoamentos geofísicos e industriais multiplicam-se, constituindo importante ferramenta de análise de escoamentos (HUGHES, BRIGHTON, 1979).

Pode-se definir fluido como uma substância que não pode resistir a uma força de cisalhamento ou a uma tensão sem se mover e tensão de cisalhamento pode ser definida como o valor da força tangencial sob um fluido dividido por sua área. Escoamento é a capacidade que um fluido tem de escoar e viscosidade refere-se à resistência que um fluido oferece ao escoamento e que se deve ao movimento relativo entre suas partes (FOX, McDONALD, 1998).

Há muitas maneiras de se classificar escoamentos, conforme a categorização física é possível classificá-los em grupos. Fundamentalmente, existem dois tipos de escoamento ou regiões espaciais ocupadas por um fluido: são escoamentos externos e internos. No escoamento externo o fluido está em torno de um objeto, como na aerodinâmica. A região de escoamento em torno deste objeto pode ser dividida em três sub-regiões. O escoamento que é afastado do corpo é ideal, não tendo importância o atrito. Próximo ao corpo o fluido desenvolve uma camada onde a viscosidade e/ou a turbulência são importantes, essa região é chamada de camada limite e pode ser laminar ou turbulenta. Uma terceira região ocorre por trás do corpo, chamada de esteira, geralmente uma região de alta turbulência e baixa pressão (FOX, McDONALD, 1998).

É possível distinguir o tipo de escoamento no túnel de vento através do cálculo do número de Reynolds. Através desse número, pode-se definir se um determinado fluido está em regime laminar, turbulento, ou na transição entre esses regimes (FOX, McDONALD, 1998). Além da velocidade e da viscosidade cinemática do fluido, o número de Reynolds leva em conta uma dimensão linear característica do corpo em estudo. Quanto mais rugosa for sua superfície, maior será o número de Reynolds. A superfície de bolas usadas em alguns esportes são intencionalmente rugosas. Bolas de golfe possuem relevos, bolas de tênis possuem ar, etc. Isto aumenta o número de Reynolds, de modo que se ele pode ser maior do que 100000, mesmo a pequenas velocidades. Deste modo, a pressão de arraste pode ser grandemente eliminada, e somente o arraste de viscosidade age sobre a bola. Na literatura (FOX, McDONALD, 1998), é possível encontrar dados que mostram que resultados experimentais se ajustam muito bem com as previsões do fluxo laminar para valores baixos do número de Reynolds Re , até aproximadamente 3000, e se ajustam às previsões do fluxo turbulento para valores de Re maiores que 4400 aproximadamente. Entretanto os valores intermediários de Re cobrem uma ampla região na qual é produzida a transição de fluxo e nenhuma das duas teorias reproduz satisfatoriamente os resultados experimentais.

Escoamento laminar (Figura 1.a) é definido como aquele no qual o fluido se move em camadas, ou lâminas, uma camada escorregando sobre a adjacente havendo somente troca de quantidade de movimento molecular. Qualquer tendência para instabilidade e turbulência é amortecida por forças viscosas de cisalhamento que dificultam o movimento relativo entre as camadas adjacentes do fluido. Pode-se estabelecer que se um fluido escoar em

regime estacionário ou laminar, então, em cada ponto do espaço, ele tem sempre as mesmas velocidade e pressão (FOX, McDONALD, 1998).

Considerando-se um fluido de densidade ρ em escoamento estacionário numa tubulação sem derivações (Figura 2). As massas de fluido que escoam através das seções 1 e 2, de áreas A_1 e A_2 , durante o intervalo de tempo Δt são (HUGHES, BRIGHTON, 1979):

$$m_1 = \rho A_1 v_1 \Delta t \quad \text{e} \quad m_2 = \rho A_2 v_2 \Delta t \quad (1)$$

onde v_1 e v_2 são os módulos das velocidades nas seções 1 e 2, respectivamente. Como não existem derivações, $m_1 = m_2$, de modo que:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (2)$$

ou

$$Av = \text{constante} \quad (3)$$

Esta é a equação da continuidade e expressa o princípio de conservação da massa. A quantidade $Q \equiv Av = V/\Delta t$ é chamada *vazão* e representa o volume de fluido que escoam através de uma seção reta por unidade de tempo (HUGHES, BRIGHTON, 1979).

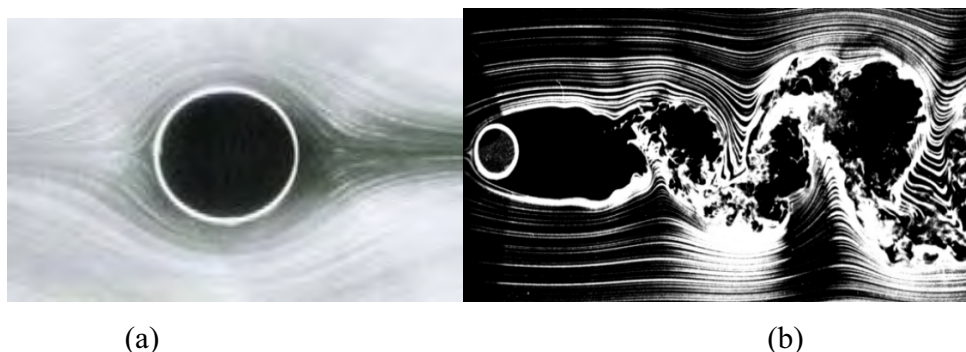


Figura 1: (a) Escoamento Laminar sobre um cilindro $Re \approx 1.10^1$.(b) escoamento turbulento sobre um cilindro $Re \approx 1.10^5$ (<http://www.efluids.com/efluids/pages/gallery.htm>), (SCHLICHTING, H., 1979).

Escoamento turbulento (Figura 1.b) é aquele no qual as partículas apresentam movimento caótico macroscópico, isto é, a velocidade apresenta componentes transversais ao movimento geral do conjunto do fluido. O escoamento turbulento apresenta

também as seguintes características importantes: Irregularidade, difusividade, altos números de Reynolds, flutuações tridimensionais (vorticidade) e alta dissipação de energia (FOX, McDONALD, 1998).

Escoamento em Regime Permanente e Transiente: Se as propriedades do fluido em um ponto do campo não mudam com o tempo o escoamento é denominado escoamento em regime permanente. Neste tipo de escoamento, as propriedades podem variar de ponto para ponto no campo, mas devem permanecer constante em relação ao tempo para um dado ponto qualquer. Se as propriedades do fluido em um ponto do campo variam com o tempo, o escoamento é dito não permanente ou transiente (FOX, McDONALD, 1998).

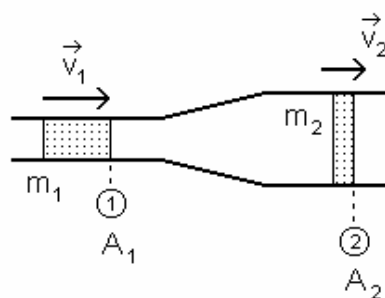


Figura 2: Vazão em função da área e da velocidade (HUGHES & BRIGHTON, 1979).

2.2 Modelos de túnel de vento

O primeiro túnel de vento que se tem notícia, acionado por uma máquina a vapor, foi construído na Inglaterra em 1871, para a “Aeronautical Society of Great Britain”, por um dos fundadores dessa associação, Frank H. Wenham (GORECKI, 1988).

Desde esta época até os dias atuais, muitos aspectos evoluíram, o que influenciou diretamente na qualidade do escoamento e das medidas, preocupação sempre presente nos estudos e desenvolvimentos de produtos e técnicas. Segundo Pope (1966) e Barlow et al (1999), os principais objetivos para garantir a qualidade do escoamento são: Uniformidade espacial na seção de testes, da velocidade, da pressão e da temperatura, ausência de rotação e de velocidades transversais, de vorticidade, uniformidade temporal, ausências de

oscilações periódicas ou de pulsações e de flutuações aleatórias, da velocidade, temperatura e pressão (ondas acústicas e turbulência).

Para garantir esses aspectos citados anteriormente, muitas vezes, torna-se necessário a utilização de alguns meios, como: Grandes razões de contração, colméias retificadoras e telas, cuidados para evitar descolamentos, nos difusores, esquinas, ou em qualquer parte do circuito, como a colocação de aletas e direcionadores de fluxo.

Segundo Gorecki (1988), dentre as várias características apresentadas pelos túneis de vento, destacam-se as que podem ser classificadas em função da posição de construção (verticais ou horizontais), do tipo da câmara (aberta ou fechada) e da velocidade do fluido (de subsônicos a hipersônicos).

Quanto à construção, os modelos horizontais são os mais usuais, pela sua praticidade e menor custo de construção. O uso de câmara aberta ou fechada vai depender do tipo de estudo que será realizado, assim como a velocidade do fluido e o tamanho do corpo que se deseja ensaiar (BARLOW et al, 1999).

Na grande maioria dos túneis de vento, usa-se o ar como fluido. Os gases são compressíveis e sua massa específica varia com a temperatura e a pressão, mas em muitos casos pode-se considerar sua massa específica constante, o que facilita os cálculos e fornece bons resultados (BARLOW et al, 1999).

Existe uma grande distinção entre os escoamentos com velocidades inferiores à sônica (subsônicos) e os com velocidades superiores à sônica (supersônico). Lembrando que a velocidade do som no ar nas CNTP (Condições Normais de Temperatura e Pressão) é cerca de 810 milhas.s⁻¹, 1190 Km.h⁻¹ ou 330 m.s⁻¹. O número de Mach, *M*, é uma medida de velocidade relativa e é definido pela relação entre as velocidades do fluido e do som no local onde **V** é a velocidade do fluido e **a** a velocidade local do som (HUGHES, BRIGHTON, 1979).

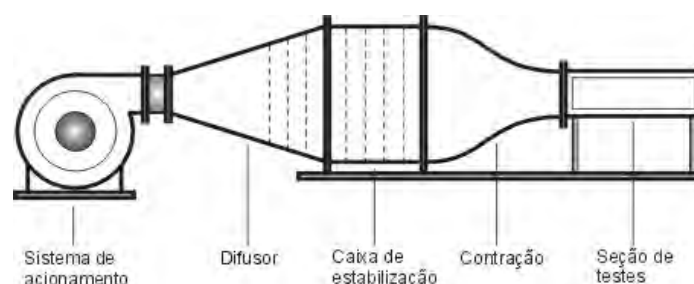
$$Mach = M = \frac{V}{a} \quad (4)$$

para $M < 1$, o escoamento é subsônico e quando $M > 1$, é supersônico (HUGHES & BRIGHTON, 1979).

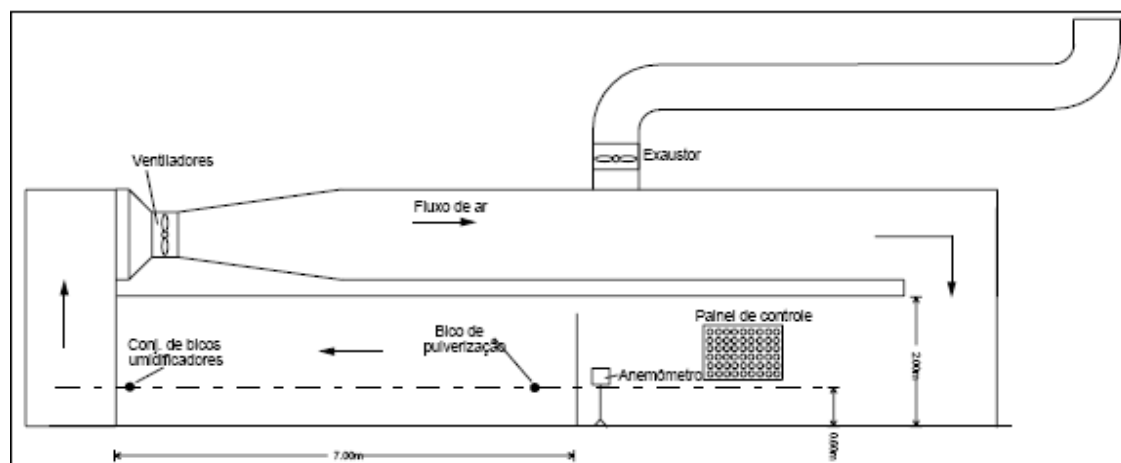
Dentre as várias características que um túnel de vento pode apresentar, destacam-se algumas estudadas para a realização deste trabalho (GORECKI, 1988), dentro das

características dos túneis subsônicos: Túnel de vento de circuito aberto e seção de teste fechada – neste caso, o sistema acionador (motor) abastece o circuito e age como soprador. O circuito é composto além do motor, por uma conexão flexível ou por aparato que realize o seu papel (amortecer as vibrações), um difusor, onde são colocadas as telas, uma caixa de estabilização, onde é colocada a colméia, uma contração, para uniformizar o fluxo de ar e a seção de testes onde são feitas as medidas. Esta configuração apresenta como principais vantagens: Facilidade de montagem e limpeza. Como o motor, telas e colméia são instalados antes da seção de ensaio, não necessitam de materiais e projetos especiais anti-corrosão e de selagem além de ter um custo mais baixo.

Ainda segundo Gorecki (1988) um túnel de vento subsônico pode ser de circuito fechado, figura4: este modelo apresenta as mesmas partes descritas anteriormente para o túnel de vento de circuito aberto, acrescentando os defletores nas esquinas e o exaustor. Esta configuração apresenta algumas vantagens em relação a anterior, como: possibilidade de controle de temperatura e umidade do ar. Mas por outro lado, apresenta uma série de desvantagens: maior dificuldade de montagem, as partes críticas, como motor, ventilador, telas, colméia, defletores e exaustor, devem ser feitas com materiais de maior resistência à corrosão e devem ser bem seladas. Também oferecem maior dificuldade de limpeza dessas partes, sendo que todo túnel deve ser purgado e lavado após os ensaios, além de ter maior custo na sua construção e ocupar maior espaço.



(a)

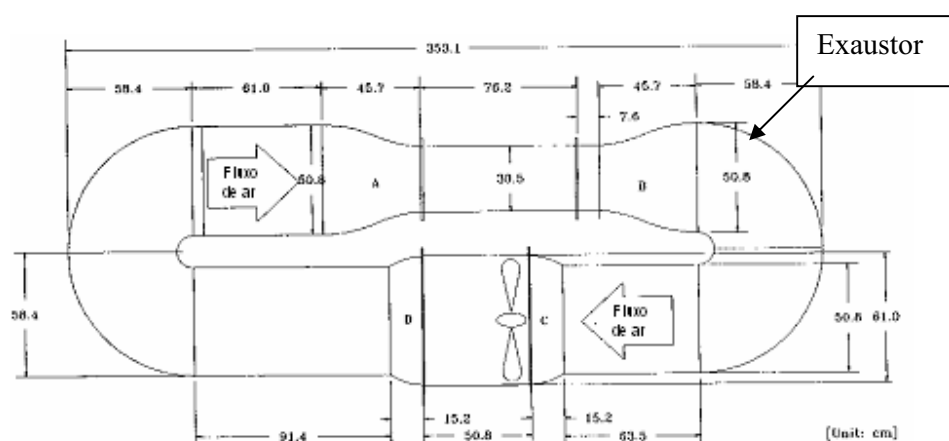


(b)

Figura 3 : (a) Túnel de vento de circuito aberto e seção de testes fechada (LIMA, 2004)

(b) Túnel de vento de circuito fechado (COSTA, 2006a).

Costa (2006a) realizou experimentos no túnel de vento, figura 3 (b), pertencente ao laboratório do Silsoe Research Institute, Inglaterra, para análise de deriva em diferentes pontas de pulverização, diferentes pressões de trabalho e para diferentes adjuvantes. O autor concluiu que o processo de deriva depende do tipo de ponta utilizada na pulverização da pressão e do adjuvante pulverizado, pois esses elementos influem no tamanho da gota pulverizada. Esse túnel de vento contava com sistema de aquisição de dados automatizado, umidificador de ar, controlador de temperatura e sistema de exaustão de gases.



(a)

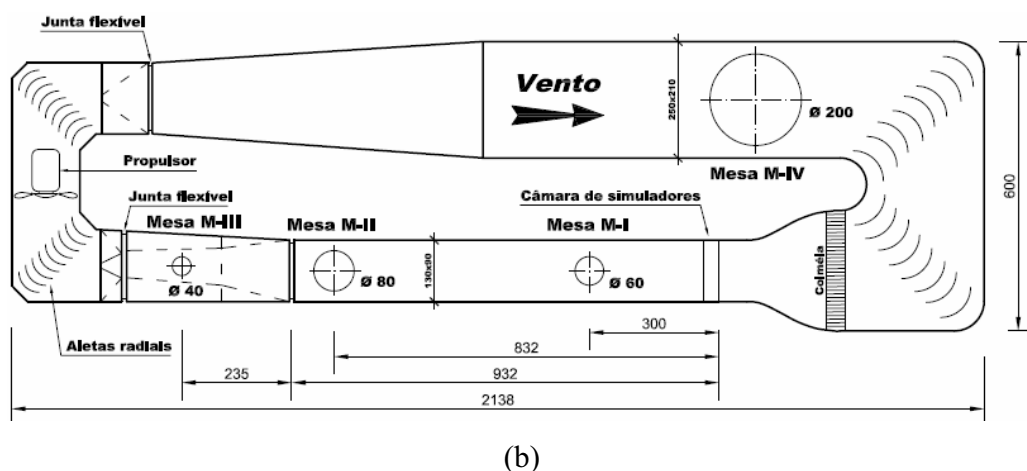


Figura 4: Esquemas de túnel de vento de circuito fechado: a) (LEON et al, 1998) e b) (GORECKI, 1988).

Ainda segundo Costa (2006a), a área experimental efetiva para aplicação e coleta de deriva dentro do túnel de vento, utilizado em seu trabalho, possuía $2 \times 7 \times 2$ m (largura x comprimento x altura), a velocidade do fluxo de ar utilizada foi de $2,0 \text{ m.s}^{-1}$ e foi monitorado por um anemômetro tri-dimensional. Cada aplicação foi realizada durante 10 s e os coletores de deriva utilizados foram fios de polietileno com 1,98 mm de diâmetro, utilizando dez fios coletores em cada repetição.

Leon et al (1998) projetaram e construíram um túnel de vento de circuito fechado, compacto de baixa velocidade, podendo variar de 0 a 10 m.s^{-1} com controle de umidade relativa do ar e temperatura, para ser utilizado em experimentos na área agrícola, figura 5. Os resultados obtidos mostraram que houve bom desempenho do túnel que manteve boa uniformidade do fluxo de ar na seção de ensaios, através de ensaios de medidas do perfil de velocidade, porém a área de seção de ensaio ficou com cerca de $0,09 \text{ m}^2$, o que trouxe uma série de limitações nos experimentos devido a pequena área de seção de testes útil e seu comprimento limitado.

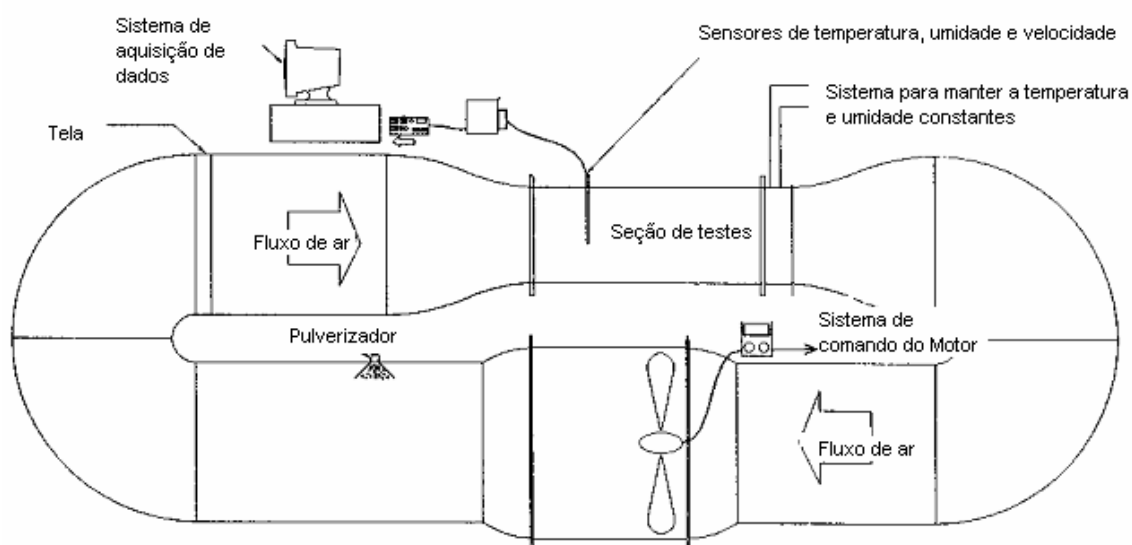


Figura 5: Túnel de vento construído por Leon et al (1998).

Outro túnel de vento construído especificamente para ensaios na agricultura foi descrito por Fietsam et al (2004), figura 6. Trata-se de um túnel de circuito aberto com área de seção de ensaio de $1,44 \text{ m}^2$ e $4,9 \text{ m}$ de comprimento útil e impulsionado por um motor elétrico de 5HP de potência. Nos ensaios descritos, a ponta de pulverização ficou a 46 cm do piso do túnel de vento. Durante os ensaios eles utilizaram velocidades de vento de $4,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e temperaturas variando de 28 a 32°C e umidade relativa variando de 39 a 57% . Segundo os autores, os resultados dos experimentos realizados no túnel de vento mostram que a deriva está diretamente relacionada com o tipo de ponta utilizado na pulverização, em todas as caldas pulverizadas.

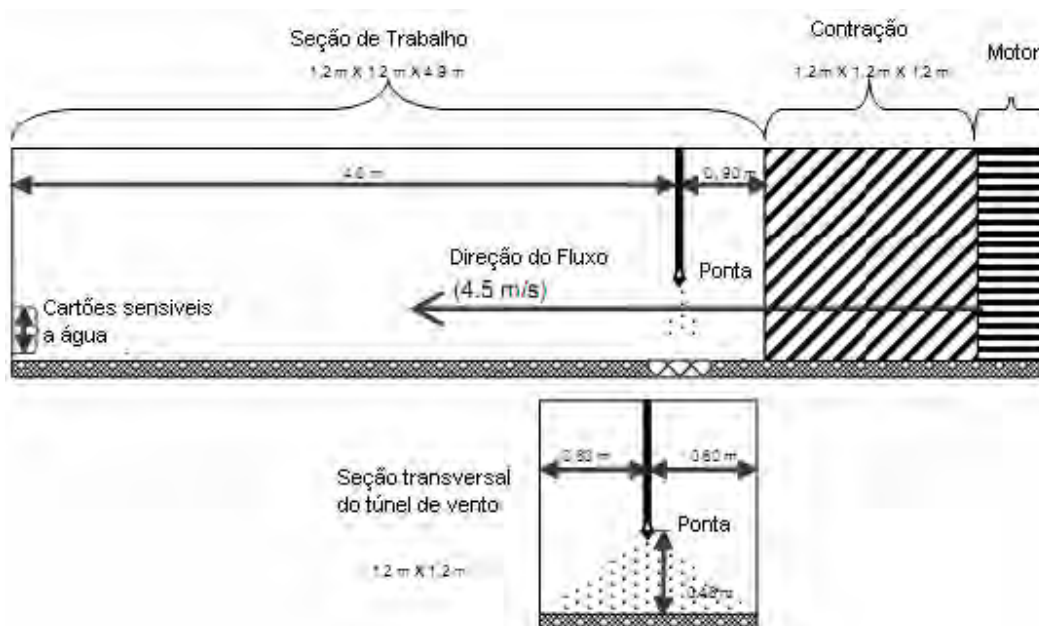


Figura 6: Túnel de vento construído por Fietsam et al (2004).

Ensaaios de deriva realizados em um túnel de vento de 32m de comprimento e circuito fechado por Herbst (2001), na Alemanha, figura 7, analisaram a interferência no processo de deriva para diferentes pontas de pulverização, diferentes valores de pressão para as caldas e diferentes valores de temperatura e umidade relativa do ar. Os ensaios ocorreram com velocidade do vento de $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ e foi traçado um perfil da velocidade das gotas a 2 m de distância da ponta de pulverização. O autor mostra a importância de ensaios em túnel de vento para gerar dados confiáveis e assim poder determinar zonas de proteção “Buffer Zone”, evitando a contaminação ambiental pelo fenômeno da deriva.

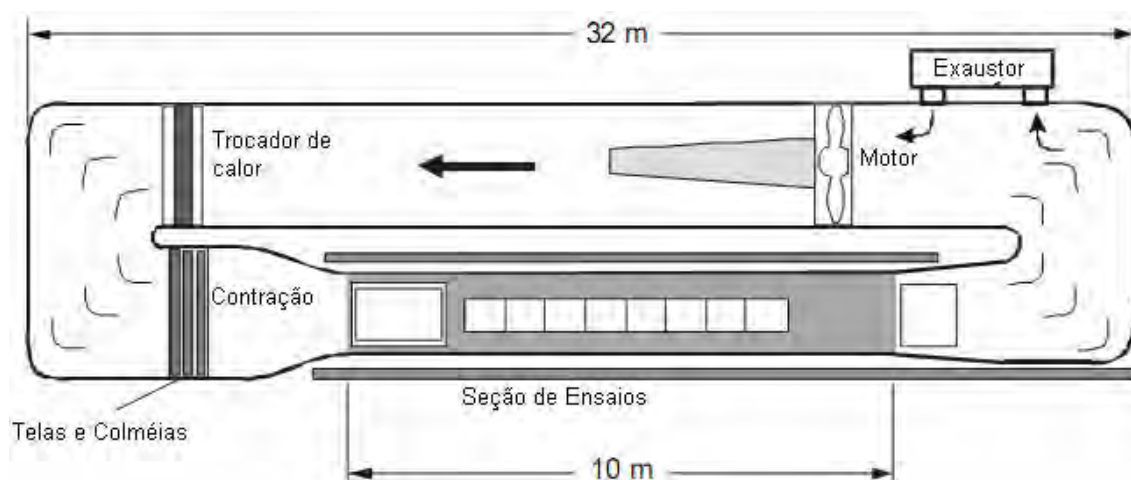


Figura 7: Túnel de vento construído por Herbst (2001).

Ensaios realizados em um túnel de vento de circuito aberto por Derksen et al. (1999), figura 8, concluíram que as pontas do tipo TD e TT produziram menor quantidade de deriva, quando comparados com as pontas padrão XR, nas mesmas condições de ensaio. Nesse trabalho, foram usados três meios diferentes para coleta da calda pulverizada e análise do potencial de deriva, bandejas coletoras (alvo) logo abaixo da ponta de pulverização, um carpete que absorvia as gotas que não atingiam o alvo e os fios de nylon que formavam uma tela localizada a 2,2 m da ponta de pulverização.

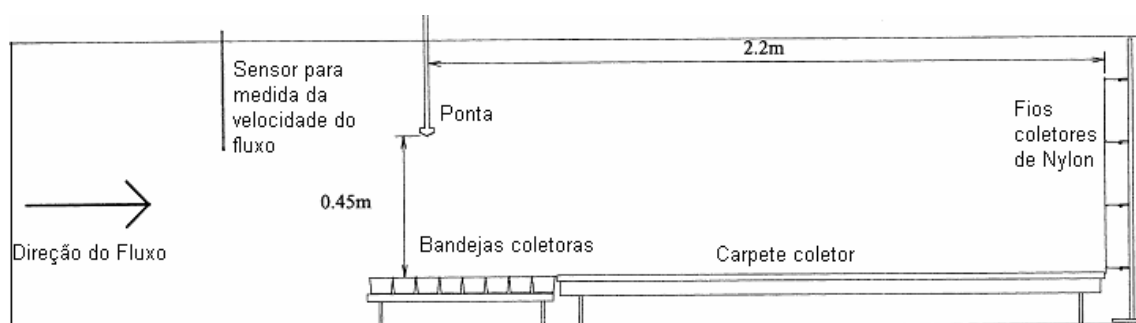


Figura 8: Túnel de vento construído por Derksen et al. (1999).

Na Coreia, Lee et al. (2003) realizaram ensaios para simulação de ventilação em instalações agrícolas, em um túnel de vento de circuito aberto de 28,5 m de comprimento total, tendo uma área útil de seção de ensaios de 3,4 m² e comprimento igual a 15 m, figura 9. O autor cita neste trabalho outras situações onde o túnel de vento também é usado: Estudo no

desenho de estruturas típicas usadas na agricultura (construção civil), estudo de sistemas de exaustores, estudos relacionados ao aproveitamento do vento na agricultura (energia eólica) e eficiência da aplicação de agrotóxicos (ex.: estudo da deriva).

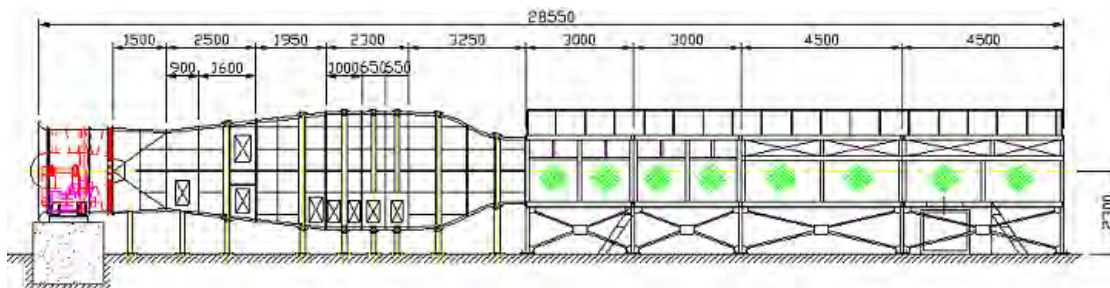


Figura 9: Túnel de vento utilizado no trabalho de Lee et al. (2003).

Guler et al. (2006) realizaram estudo sobre deriva em um túnel de vento de 3,7 m de comprimento 0,61m de largura e 0,91 m de altura, figura 10. Os ensaios foram realizados com duas velocidades no túnel de vento, $2,5 \text{ m.s}^{-1}$ e 5 m.s^{-1} . As velocidades foram medidas por um anemômetro de fio quente, e a ponta de pulverização ficou a 0,67m acima do piso do túnel de vento. Para medir a deriva, foram coletadas gotas no piso do túnel de vento através de papel sensível. Foram realizadas pulverizações com três tipos de pontas de pulverização.

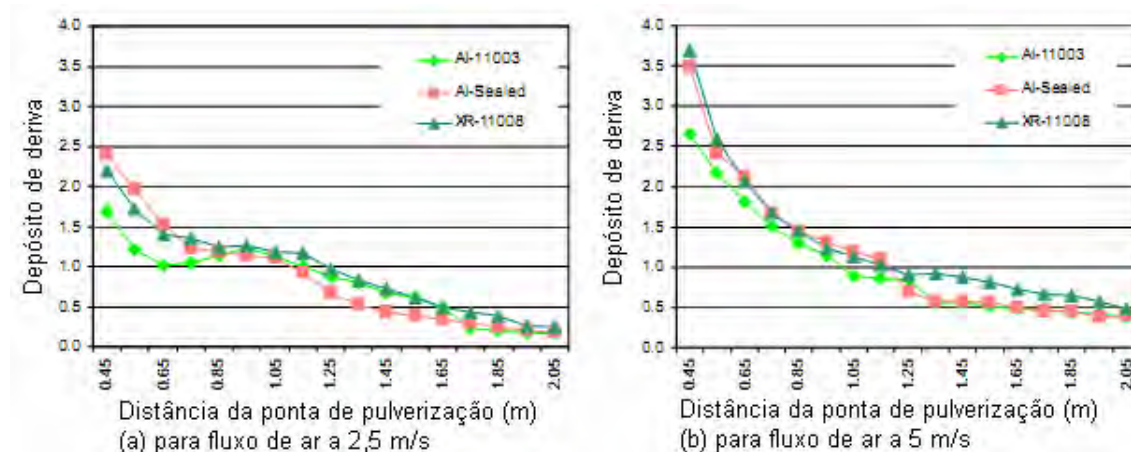


Figura 10: Depósito horizontal de gotas em $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ entre 0,4 e 2,1m da ponta de pulverização no piso do túnel de vento para duas velocidades e as três pontas de pulverização (GULER, H. ET AL., 2006).

Segundo Guler, H. et al. (2006) um dos resultados deste trabalho foi a constatação da maior quantidade de deriva resultante da maior velocidade dentro do túnel de vento, para as três pontas de pulverização ensaiadas.

2.3 Importância do estudo da deriva dos agrotóxicos por meio de pontas de pulverização e adjuvantes

Há uma crescente preocupação com o uso inadequado de agrotóxicos no meio rural. Eles desempenham papel fundamental na produção agrícola, mas quando usados de maneira inadequada, em doses erradas, oferecem grande risco ambiental (BARCELLOS ET al., 1998). Outros estudos mostram que pode haver contaminação da água, afetando organismos aquáticos, devido à contaminação causada por esses compostos. No entanto, o uso de agrotóxicos tem contribuído para redução dos custos, aumento na produção e qualidade dos produtos agrícolas. Mas para que isto ocorra é necessário que sejam aplicados de maneira racional, dentro do contexto mais amplo da proteção integrada de plantas, evitando-se assim, a contaminação do solo e da água, os danos à saúde humana e animal e o surgimento de pragas, plantas e patógenos resistentes (CUNHA et al., 2003).

Segundo Cunha et al. (2004), exige-se cada vez mais do produtor rural a utilização correta e criteriosa desses insumos. Entretanto, o que se observa no campo é a falta de informação a respeito da tecnologia de aplicação. As aplicações podem, muitas vezes, produzirem o efeito desejado, porém de forma ineficiente, porque não se utilizou a técnica ou equipamento mais adequado, o que poderia implicar no uso de menor quantidade de ingrediente ativo.

Em trabalho realizado por Cunha (2008), observou-se que a deriva originada nas aplicações de agrotóxicos é considerada um dos maiores problemas da agricultura. Entre os fatores que a influenciam, o tamanho das gotas pulverizadas e a velocidade do vento têm-se mostrado primordiais. Nesse trabalho, Cunha determinou a distância horizontal teórica percorrida por gotas de tamanho conhecido, submetidas a diferentes alturas de lançamento e velocidades do vento. Para isso, ele utilizou equações clássicas da mecânica dos fluidos e determinou a distância que as gotas podem ser arrastadas quando liberadas de alturas variadas, em função do tamanho das gotas pulverizadas, da densidade do líquido e da velocidade horizontal. A análise dos dados permitiu estimar a distância horizontal percorrida por gotas de

pulverização, em diversas condições de lançamento. Os resultados simulados apresentaram alta correlação com o diâmetro das gotas e com a velocidade de deslocamento horizontal. Nas condições avaliadas, a distância horizontal máxima percorrida pelas gotas foi inferior a 40 m.

Utilizando-se inicialmente, de equações clássicas da Mecânica dos Fluidos, Murphy et al., (2000); Wolf, (2000), determinaram a distância que as gotas podem ser arrastadas quando liberadas de determinada altura, em função do tamanho das gotas pulverizadas, da densidade do líquido e da velocidade horizontal.

O objetivo da tecnologia de aplicação de agrotóxicos é colocar a quantidade certa de ingrediente ativo no alvo, com a máxima eficiência e da maneira mais econômica possível, afetando o mínimo possível o ambiente. Muitas vezes, entretanto, parte do produto aplicado se perde para o ambiente, principalmente por deriva (MATTHEWS, 2002).

A deriva de agrotóxicos continua sendo um dos maiores problemas da agricultura moderna (SUMNER & SUMNER, 1999). O desvio da trajetória que impede as gotas produzidas de atingirem seu alvo está relacionado principalmente, ao tamanho das gotas e às condições ambientais. A escolha e o uso adequado de pontas de pulverização constituem passos importantes para a melhoria das condições de precisão e segurança na aplicação de agrotóxicos (WOMAC et al., 1997).

Vários pesquisadores consideram que gotas menores que 100 μm são facilmente carregadas pelo vento, sofrendo mais intensamente a ação dos fenômenos climáticos. Utilizando-se inicialmente equações clássicas da Mecânica dos Fluidos, pode-se determinar a distância que as gotas podem ser arrastadas quando liberadas de determinada altura, em função do tamanho das gotas pulverizadas, da densidade do líquido e da velocidade horizontal (MURPHY et al., 2000; SUMNER, 1997; WOLF, 2000 e CUNHA, 2008).

Segundo Johnson & Swetnam (1996), a seleção apropriada das pontas é essencial para a correta aplicação, sendo o fator principal determinante da quantidade aplicada por área, da uniformidade de aplicação, da cobertura obtida e do risco potencial de deriva. No entanto, fatores como altura de lançamento da gota em relação ao alvo, densidade do líquido pulverizado e temperatura do ar também influenciam a deriva, e precisam ser considerados nos programas de redução de deriva. Vários pesquisadores consideram que gotas menores que 100 μm são facilmente carregadas pelo vento, sofrendo mais intensamente a ação dos fenômenos climáticos.

Estudos feitos por Velloso et al. (1984) e Christofolletti (1999) mostram que deriva é tudo aquilo que não atinge o alvo durante a aplicação. Miller (1993) define deriva como parte da pulverização agrícola que é carregada para fora da área alvo, pela ação do vento. Miller (2004) define a deriva como a perda de produto para fora do alvo na forma de gotas ou vapor e esta perda pode ocorrer na forma de vapor durante ou posteriormente à aplicação, sendo muito dependente da pressão de vapor e das características da formulação do produto.

Em trabalho realizado por Antuniassi (2006), verifica-se a preocupação entre a deriva e os efeitos relacionados com fitotoxicidade de culturas vizinhas, principalmente na região sul do país, onde é comum o cultivo de soja e milho em áreas adjacentes às de produção de frutas e hortaliças. Segundo Antuniassi (2006), há uma crescente preocupação mundial com os efeitos que a deriva pode provocar fora das áreas tratadas, cujo resultado tem sido a necessidade de instalação de áreas de proteção (“buffer zones”) para cursos d’água e outras áreas sensíveis. Ainda segundo esse autor, pesquisas relacionadas à inspeção periódica de pulverizadores no Brasil, indicaram haver grande necessidade de melhorar a manutenção e as condições dos pulverizadores agrícolas, o que está relacionado com as práticas para controle de deriva.

Culturas como a de cana-de-açúcar, que realizam muitas aplicações de herbicidas, ou a cultura da laranja, onde as aplicações ocorrem com barras de pulverização vertical, poderão ser consideradas como áreas de risco de contaminação ambiental, com grande potencial de risco de contaminação para o meio ambiente pelo processo de deriva (CHAIM et al, 1999).

É possível minimizar a deriva, segundo Christofolletti (1999), utilizando-se técnicas e métodos de aplicação adequados ou mais apropriados, realizando periodicamente a limpeza e regulagem do equipamento, aplicação em condições climáticas adequadas e uso de formulação apropriada.

A avaliação dos depósitos de calda aplicada em alvos naturais ou artificiais é o método mais representativo, para entender diversos aspectos relacionados à pulverização de defensivos agrícolas. No entanto os custos dessas pesquisas podem ser um fator limitante na condução dos estudos quando as determinações são realizadas utilizando-se os próprios defensivos agrícolas, visto que necessitam de reagentes apropriados, equipamentos

sofisticados e de pessoas treinadas para a realização das análises, (CHRISTOFOLETTI, 1999). Por isso a necessidade do uso de traçadores que facilitam a visualização ou remoção dos alvos coletores diretamente pela utilização de água. Os traçadores devem ser sensíveis à detecção e possibilitar o uso em análise quantitativa com rapidez, ser solúvel quando misturados à calda, com efeitos físicos mínimos na pulverização e menor evaporação de gotas, terem propriedades distintas para se diferenciar de outras substâncias e serem estáveis, atóxicos e de baixo custo, (MARCHI, 2005). Este mesmo estudo mostra que o corante Azul Brillante pode ser utilizado em estudos de tecnologia de aplicação, com gotas pulverizadas sobre alvos artificiais inertes, e mantidos em campo por um período de até dez horas de exposição solar sem que ocorram perdas significativas.

Atualmente são usadas algumas técnicas para promover a redução da deriva, como a alteração das propriedades físicas e químicas do líquido a ser pulverizado através da adição de compostos químicos (adjuvantes) e a seleção de pontas de pulverização mais adequadas, com o objetivo principal de se obter gotas maiores (CHRISTOFOLETTI, 1999); (OZKAN, 2001).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Projeto e construção do túnel de vento

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Máquinas para Pulverização do Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agro-Florestais (NEMPA), da FCA/UNESP - Departamento de Engenharia Rural e as análises para quantificar o marcador foram realizadas com o espectrofotômetro no laboratório do Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM), pertencente ao Departamento de Produção Vegetal / Agricultura da UNESP/FCA, Campus de Botucatu.

Para a realização deste trabalho foi construído um túnel de vento que tem como principais características ser de circuito aberto e seção de teste fechada. A escolha por essa configuração baseou-se nos critérios de minimização dos custos e pela facilidade de construção. O sistema acionador (motor) abastece o circuito e age como soprador. O motor foi acondicionado envolto a uma camada de feltro, tendo por finalidade o amortecimento das vibrações causadas pelo seu funcionamento. Logo após o motor foram colocadas duas telas e uma colméia, com a finalidade de uniformizar o fluxo de ar que se desloca para a seção de testes onde são feitas as medidas. Esta configuração foi escolhida por apresentar como

principais vantagens a facilidade de montagem e limpeza de seus componentes após os ensaios. Com essa configuração, o motor, as telas e a colméia são instalados antes da seção de ensaio e, desta forma, não necessitam de materiais e projetos especiais anticorrosão e de selagem além de ter um custo mais baixo e menor necessidade de limpeza e manutenção.

Inicialmente, as dimensões do túnel de vento foram definidas de acordo com o espaço disponível no Laboratório de Máquinas para Pulverização do Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agro-Florestais (NEMPA), da FCA/UNESP - Departamento de Engenharia Rural, localizado no campus da UNESP da cidade de Botucatu, Fazenda Lageado. Neste local o túnel de vento foi construído e foram realizados os ensaios de pulverização para coleta da deriva.

O túnel de vento nas dimensões de 4,80m de comprimento e 0,56m de largura e 0,56m de altura, foi construído com chapas de fibras de eucalipto de espessura 3,0 mm de face superior lisa e face inferior corrugada. A escolha desse material baseou-se nas características dessas chapas que apresentam facilidade ao serem cortadas, furadas e coladas, além de ter baixo custo. As placas foram cortadas e encaixadas de acordo com o tamanho do ventilador disponível no laboratório. Assim, foi realizado um encaixe que, se necessário poderia ser alterado caso houvesse necessidade de mudar o ventilador, aumentando ou diminuindo o tamanho da seção de testes do túnel.

Além das chapas de madeira, o túnel de vento utilizou caibros que foram aparafusadas e pregadas junto às placas de madeira, dando sustentação ao conjunto.

O túnel de vento foi impulsionado por um ventilador da marca Arno¹ de cinco velocidades e potência de 180 Watts, composto de quatro pás de 0,24m de diâmetro cada. As velocidades de rotação das pás do ventilador foram medidas por um tacômetro digital, modelo DT 6234B da empresa IMPAC. Essas medidas foram realizadas sempre ao final dos ensaios para verificar a estabilidade da rotação das hélices do motor.

As velocidades do fluxo de ar medidas dentro da seção de testes do túnel de vento foram realizadas com um anemômetro de ventoinha modelo A892160 da empresa EXTECH (Figura 11). Também foram feitas medidas de temperatura ambiente e umidade

¹ A citação de marcas comerciais não implica em recomendação de uso por parte do autor.

relativa do ar em todos os ensaios, usando uma estação climática marca Oregon Scientific, modelo “Weather Station 433 MHz Cable Free” (Figura 12).



Figura 11- Anemômetro modelo A892160



Figura 12- Estação de medida de temperatura e umidade relativa do ar usados nos ensaios.

Para verificação da qualidade do fluxo de ar foram realizados ensaios de visualização com fios de lã fornecidos pela empresa Coats Corrente Ltda. Através destes ensaios foi possível verificar as condições do escoamento em toda área de ensaio do túnel de vento. A Figura 13 mostra uma seqüência de fios de lã dispostos na forma de um varal, usados para verificar as características e a qualidade do fluxo de ar na área de seção de testes. Os fios

de lã tinham 2 mm de espessura e 6 cm de comprimento cada e ficaram espaçados um do outro 3,5 cm, totalizando 16 fios de lã na estrutura. Esses fios foram posicionados transversalmente ao fluxo de ar na seção de testes do túnel de vento nas posições 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm, 35 cm, 40 cm, 45 cm e 50 cm de altura em relação ao piso do túnel de vento e a 1,80 e 2,80m de distância do início do túnel de vento. Também foi utilizada uma haste metálica de 2m de comprimento com um fio de lã na ponta para que fosse possível fazer a varredura do escoamento na seção de testes do túnel de vento, a lã utilizada tinha cor branca para facilitar a sua visualização. Durante estes ensaios, foi possível verificar uma boa uniformidade do fluxo, já que não foram detectadas regiões de recirculação.



Figura 13: Haste e “varal” de fios de lã utilizados nos ensaios de visualização.

Na construção do túnel de vento não foi utilizada a contração e o difusor, para diminuir os custos de construção e o espaço ocupado no laboratório. Foram confeccionadas e utilizadas duas telas e uma colméia para melhorar a qualidade do fluxo de ar na seção de testes. Uma das telas foi confeccionada em aço, com malha de 6 mm e a outra confeccionada em “nylon” com malha de 2,0 mm. A função das telas é de “quebrar” os vórtices (deseja-se ausência de rotação e de velocidades transversais, isto é, de vorticidade ou redemoinhos) que surgem devido ao movimento das hélices do ventilador. Após as telas foi colocada uma colméia que tem a função de direcionar o escoamento, deixando-o laminar. No

escoamento laminar, todas as partículas que passam por um mesmo ponto têm a mesma trajetória, que é perfeitamente definida pela geometria do duto, retilínea no caso desse túnel de vento. Já no escoamento turbulento, não há uniformidade das trajetórias como o próprio nome sugere, pois surgem componentes transversais de velocidade no escoamento.

A colméia utilizada foi confeccionada pela junção de 841 seções de tubos quadrados de alumínio com paredes de 2 mm, largura de 20 mm e comprimento de 100 mm. As telas e a colméia foram envolvidas por um feltro para melhor fixação e vedação junto às paredes do túnel de vento.

O tipo de escoamento que ocorre dentro do túnel de vento foi obtido através do cálculo do número de Reynolds. Dependendo do número de Reynolds, obtêm-se escoamentos laminares ou turbulentos. Neste trabalho, esse número ficou dentro de uma faixa de transição entre esses dois tipos de escoamento, mas testes de visualização, utilizando fios de lã e medidas de velocidade realizadas com o anemômetro, mostraram um escoamento com características de um escoamento laminar.

Ao introduzir na seção de testes os fios coletores e o bico pulverizador durante os ensaios, ocorre uma interferência no escoamento, esta interferência será maior ou menor, dependendo do tamanho desses elementos e de seu formato (corpos aerodinâmicos ou corpos rombudos). Neste trabalho, para efeitos de cálculo, foi considerada a razão de bloqueio causada apenas pelo bico pulverizador, já que os fios coletores têm dimensões pequenas que podem ser desprezadas para essa finalidade. O bico pulverizador é considerado um corpo rombudo, quando imerso no escoamento. A complexidade do escoamento sobre corpos rombudos faz com que muitos estudos sejam desenvolvidos nos campos analítico, numérico e largamente na área experimental (MOREIRA, 1996 e GIRARDI, 1989). Assim, os valores obtidos em laboratório não refletem o fenômeno físico real estudado, mas os resultados da interação deste com o aparato experimental utilizado.

Para reduzir a interferência durante os ensaios, as medidas de velocidade na seção de testes foram realizadas sempre antes dos ensaios de pulverização, desta forma, o anemômetro utilizado para medir a velocidade não interferiu no escoamento durante os ensaios, apenas o bico pulverizador (MOREIRA, 1996 e GIRARDI, 1989).

Para a realização da análise da deriva originada do “leque” ou lâmina do líquido pulverizado, produzido pela ponta de pulverização foi necessário que a ponta ficasse

localizada a uma altura mínima de 44 cm, em relação ao piso do túnel de vento, para uma pressão de trabalho de 2,0 bar. Esta altura mínima refere-se a projeção que o jato formado pela ponta de pulverização toma ao chegar no piso do túnel de vento. Com uma altura menor, não seria possível verificar toda abertura do jato. Por outro lado, se a altura do bico sofresse um aumento, em relação ao piso do túnel de vento, obter-se-ia parte do leque atingindo as paredes laterais do túnel de vento, o que prejudicaria os ensaios. Desta forma, ajustou-se a altura da ponta de pulverização e a pressão de trabalho para que o jato chegasse aberto no piso do túnel.

Para que as gotas pulverizadas ao colidirem com piso do túnel não voltassem ricocheteando, o que poderia atrapalhar as medidas de deriva, foi construído um suporte para armazenar o líquido pulverizado. Esse suporte era composto por um recipiente armazenador e uma tela de “nylon”. Abaixo da tela foi colocada uma grelha metálica com a finalidade de manter a tela de “nylon” esticada. Desta forma, as gotas pulverizadas tinham acesso a este recipiente e não voltavam ao ambiente onde acontecia a pulverização. Ao final de cada ensaio, o recipiente era esgotado através de uma torneira localizada na parte de baixo.

Para evitar que o líquido pulverizado atingisse diretamente a madeira usada na construção do túnel de vento, a parte interna foi revestida com um plástico, através do processo de colagem. O procedimento mostrou-se eficiente, já que não houve vazamentos do líquido pulverizado durante todo o período de realização dos ensaios.

3.2 Ensaios preliminares para o desenvolvimento do túnel de vento

Antes da realização dos ensaios de validação final do túnel de vento foram realizados ensaios preliminares para se verificar as características do mesmo. Nestes ensaios preliminares verificou-se a qualidade do fluxo de ar com a utilização de três velocidades diferentes do ventilador, a velocidade mais baixa, a de intensidade média e a mais alta. Nestes ensaios foram totalizadas doze configurações diferentes, onde foram realizadas mudanças de posição das telas da colméia e do anemômetro, para cada uma das três velocidades testadas, ou seja, quando multiplicadas pelas três velocidades citadas acima, totalizaram trinta e seis ensaios. Em todos estes ensaios foram realizadas as seguintes determinações: velocidade e qualidade do fluxo de ar através de ensaios de visualização e posicionamento das telas e da colméia.

3.2.1 Velocidade e qualidade do fluxo de ar

As medidas de velocidade foram realizadas em duas distâncias diferentes, em relação ao início do túnel de vento, uma a 1,80 m e a outra a 2,80 m. Essas medidas foram utilizadas para se saber qual a melhor posição para a secção de testes, já que esta deve apresentar um escoamento livre de oscilações de velocidade (baixa flutuação de velocidade, escoamento totalmente desenvolvido) e livre de vórtices (região de recirculação). Para tanto, foi montado um suporte para o anemômetro, o que possibilitou seu deslocamento desde o teto até o piso do túnel de vento, desta forma, foram feitas varreduras de velocidade em todas as configurações montadas.

Para as medidas de velocidade, ligava-se o ventilador e aguardava-se dois minutos para que o fluxo tivesse totalmente desenvolvido dentro do túnel de vento e em seguida eram realizadas as medidas com o anemômetro.

Nos ensaios de visualização, ligava-se o ventilador e aguardava-se cerca de dois minutos para depois verificar a qualidade do fluxo. Isso garantia que o escoamento já estivesse totalmente desenvolvido.

As posições para a colocação do anemômetro foram definidas após alguns testes de visualização e também valores encontrados na literatura (GORECKI, 1988) e (MOREIRA, 1996). Os ensaios de visualização foram realizados com fios de lã. Para os testes de visualização foram confeccionados “varais” com fios de nylon onde foram fixados fios de lã com aproximadamente 6 cm de comprimento cada. Esses “varais” foram colocados transversalmente em relação ao escoamento e colocados em dez alturas diferentes, de 5 em 5 cm, a partir do piso do túnel de vento até seu teto e desta forma foi monitorado a qualidade do fluxo de ar através da janela de vidro, localizada na lateral do túnel de vento. Através deste procedimento, foi possível verificar se havia regiões de recirculação e o nível de turbulência de forma visual, ou seja, qualitativamente. Também foi colocado um fio de lã de 6 cm na ponta de uma haste metálica de 2 m, o qual foi utilizado para fazer uma varredura em outras partes do túnel de vento.

3.2.2 Posicionamento das Telas e da Colméia

Para amenizar as flutuações e recirculações foram construídas duas telas e uma colméia que foram colocadas após o ventilador. Suas posições foram definidas após a avaliação das características do fluxo de ar dentro do túnel de vento, nas diversas configurações testadas. A colméia e as telas são necessárias para direcionar o escoamento e “quebrar os vórtices”, ou seja, deixar o fluxo de ar mais homogêneo e laminar, desta forma o escoamento pode ser melhor monitorado causando menor interferência nos experimentos, pois haverá menor turbulência. Como os experimentos ocorreram com velocidades reduzidas, a opção foi por colméias e telas com alta densidade (quadriculados pequenos). Telas com alta densidade causam maior perda de carga, mas por outro lado são mais eficientes para “quebrar” os vórtices. As duas telas construídas apresentam respectivamente malhas de 2,0 mm e 6 mm, sendo que a primeira é de “nylon” e a segunda de aço. Já a colméia foi confeccionada pela junção das seções de tubos quadrados de alumínio.

Os testes foram realizados com uma das telas e a colméia e posteriormente trocou-se a tela e manteve-se a colméia e uma terceira configuração, onde foram utilizadas as duas telas e a colméia, sempre variando suas posições.

Através da realização destes testes foi possível descobrir qual a interferência de cada uma das telas no escoamento, já que uma apresenta uma malha muito pequena e, portanto, apresenta maior perda de carga, diminuindo a energia do escoamento, quando comparada com a outra. Também se variou a distância das telas e da colméia em relação ao ventilador, que foi mantido sempre fixo no início do túnel de vento. Com estas modificações, foram realizadas análises do comportamento do escoamento e assim foi possível interferir de maneira construtiva no posicionamento de cada elemento constituinte do túnel de vento, identificando a melhor posição das telas, colméia e seção de testes.

Ao final destes testes, foram analisadas todas as configurações estudadas e definidas as posições das telas e da colméia nas posições que apresentaram os menores níveis de turbulência (através dos testes de visualização) e velocidade constante na seção de testes, ou seja, maior qualidade de fluxo (através das medidas com o anemômetro). Desta forma foi encontrada a configuração que apresentou um fluxo de ar mais próximo do laminar. Esta

configuração foi usada em todos os ensaios com a ponta XR8003 e com os três adjuvantes utilizados nesse trabalho.

3.3 Ensaios de Validação

Os ensaios de validação foram conduzidos no Laboratório de Máquinas para Pulverização do Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais (NEMPA) da FCA/UNESP - Departamento de Engenharia Rural, localizado no campus da UNESP da cidade de Botucatu, Fazenda Lageado, no período compreendido entre fevereiro de 2008 e maio de 2009. As análises laboratoriais necessárias para esta etapa foram realizadas no Laboratório de Matologia do Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM), pertencente ao Departamento de Produção Vegetal / Agricultura UNESP/FCA – campus de Botucatu – SP.

O objetivo destes ensaios foi estimar o percentual de deriva a partir de uma ponta de pulverização posicionada no fluxo de ar dentro do túnel de vento. Para tanto, as gotas desviadas a partir do jato de pulverização desta ponta foram coletadas em cada fio coletor, de acordo com sua distribuição dentro da seção de testes do túnel de vento. Para a determinação deste percentual utilizou-se o método de análise da concentração do traçante (corante Azul Brilhante FDC-1) na solução de lavagem dos fios coletores distribuídos no interior do túnel de vento, em cada ensaio (MARCHI, et al, 2005).

As soluções resultantes da lavagem dos coletores foram submetidas à leitura óptica de absorbância em espectrofotômetro UV-visível no comprimento de onda de 630 nm para o corante Azul Brilhante. Através dessas leituras foi possível verificar a quantidade de produto que ficou retida em cada coletor e realizar o estudo da distribuição desse produto ao longo de toda seção de testes.

3.3.1 Seleção das tecnologias de aplicação e tratamentos

Os tratamentos corresponderam a diferentes tecnologias de aplicação resultantes da combinação entre uma ponta de pulverização e três caldas contendo o corante azul brilhante.

A ponta de pulverização utilizada foi a XR8003 que apresenta padrão de gotas médias quando submetida a uma pressão de trabalho de 2 bar (Manual Teejet 2009).

Durante a realização dos ensaios foram feitas medidas de vazão das três caldas pulverizadas, figura 14.



Figura 14- Medida de vazão realizada no laboratório.

Para a composição das caldas, foram usados além da calda de controle, composta de água e o corante azul brilhante, outras duas caldas. A primeira composta de água, corante azul brilhante e o surfactante a base de nonilfenol e a segunda contendo água, corante azul brilhante e o redutor de deriva a base de polímero. É importante ressaltar os adjuvantes utilizados foram selecionados por terem funções diferentes (um redutor de deriva e um surfactante), sendo esperado que seus comportamentos com relação ao índice de deriva sejam opostos, visando avaliar a capacidade do método de trabalho com o túnel de vento de identificar tais comportamentos. Apesar de atenderem as características funcionais de cada grupo de adjuvante, os produtos utilizados não possuem registro nos órgãos oficiais como adjuvantes. Por esta razão, suas denominações comerciais foram omitidas.

3.3.2 Sistema de pulverização

O sistema de pulverização utilizado nos ensaios, que ocorreram à pressão constante de 2 bar, foi pressurizado por um cilindro de gás comprimido (CO₂). Foi utilizado um bico com válvula anti-gotejo Teejet e um tanque de aço inox com capacidade de 15 L, onde foi feito o armazenamento e pressurização da calda. A pressão de trabalho foi monitorada por dois sensores mecânicos, um colocado na saída do cilindro de ar comprimido e outro colocado antes da ponta de pulverização, sendo o controle para abertura e fechamento do fluxo realizado manualmente através de uma válvula de abertura e fechamento rápido, tipo esfera.

Para colocar a ponta de pulverização na posição desejada dentro do túnel de vento foi feito um orifício na parte superior do mesmo, por onde a ponta de pulverização foi acoplada a um suporte metálico graduado, através desse suporte, era possível posicionar a ponta de pulverização na posição desejada na seção de testes, figura 15.

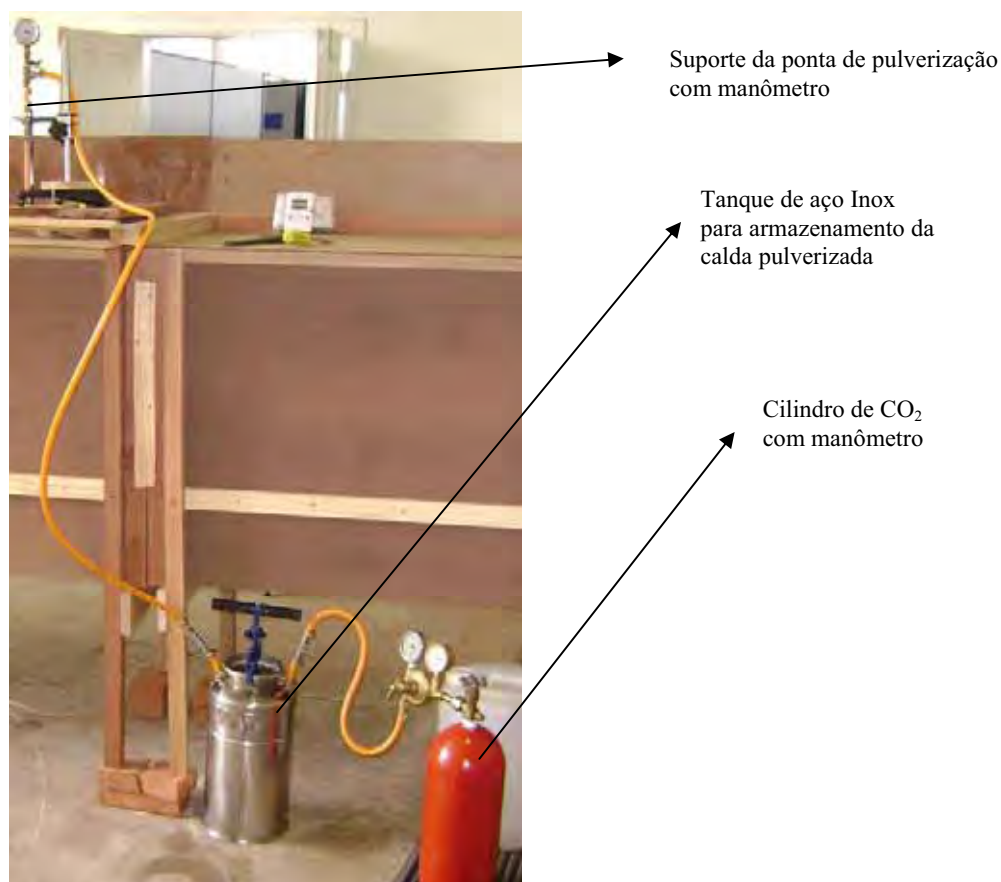


Figura 15- Sistema de pulverização utilizado durante os ensaios.

3.3.3 Preparo das caldas de aplicação

As caldas foram preparadas com água destilada à temperatura ambiente. Esta água foi utilizada para diluir todos os tratamentos realizados neste trabalho. Na água foi diluído um traçador (corante Azul Brilhante a 0,6% v/v). O corante azul brilhante é um pó e para realizar a medida da porção usada na diluição da calda, foi usada uma balança de precisão 0,01 gramas da marca Marte, modelo AS5500C, figura 16. Para a realização da medida do corante, ligava-se a balança e após dez minutos era realizada sua leitura. Esse procedimento garante que os circuitos da balança estejam em equilíbrio térmico e não haja erros ou flutuações nas medidas realizadas.

As caldas foram sempre preparadas no mesmo dia da utilização, sendo sempre agitadas antes de cada análise ou pulverização, tomando-se o cuidado de garantir que a

temperatura ambiente estivesse entre 20 e 30 graus Celsius e a umidade relativa do ar acima de 50%. Essas restrições foram necessárias para garantir que fosse possível comparar os resultados obtidos nos vários dias de trabalho.



Figura 16- Balança utilizada para pesagem dos produtos.

A dosagem do adjuvante surfactante, que é um líquido, foi realizada com uma pipeta cuja precisão é de 0,01 ml. Já as medidas da água utilizada para compor as caldas, foram realizadas com uma proveta com precisão de 5 ml.

3.3.4 Coleta de dados

A velocidade do fluxo de ar utilizada durante todos os ensaios foi de $2,0 \text{ m.s}^{-1}$. O fluxo de ar foi medido sempre antes dos ensaios por um anemômetro de ventoinha que foi posicionado em vários pontos da seção de ensaio conectado a uma haste que era usada para variar sua altura dentro do túnel. O painel para acionamento e controle do fluxo de ar localizava-se externamente e a jusante do túnel, no próprio motor.

Para manter a umidade relativa do ar acima de 50% durante os ensaios e em dias com umidade abaixo desse valor, foi utilizado um sistema provido de um umidificador (Figura 17). Esse equipamento era constituído por uma ponta de pulverização de jato plano

defletor ligado à rede de abastecimento de água do laboratório e colocado ao lado do túnel de vento, sendo utilizada para pulverizar água antes de cada aplicação, até que a umidade relativa do ar ficasse acima de 50%.



Figura 17: Ponta de pulverização utilizada para umidificar o ar do laboratório.

Todos os ensaios foram realizados com a mesma pressão de pulverização (2 bar) para que fosse possível uma comparação entre os ensaios. Esse valor também foi utilizado em outros estudos como nos ensaios realizados por Lund (2000), Walklate et al. (2000) e Costa (2006a).

Os coletores de deriva utilizados foram fios de polietileno com 2,0 mm de diâmetro e 0,56 m de comprimento útil (largura do túnel de vento), fornecidos pela empresa Mazzaferro Ind. e Com. de Polímeros e Fibras Ltda, os quais foram posicionados horizontalmente e perpendicularmente ao comprimento do túnel. com fixação através de presilhas de madeira colocadas na parte externa do túnel de vento. Para a coleta da deriva os fios foram posicionados nas distâncias de 1,0, 1,5, 2,0 e 2,5 m em relação a ponta de pulverização, referenciando-se no comprimento do túnel. Na distância de 1,0 da ponta, os fios foram fixados nas alturas de 0,05, 0,10; 0,20, 0,30, 0,40 e 0,50 m com relação a piso do túnel, e nas demais posições os fios foram fixados nas alturas de 0,05, 0,10; 0,25 e 0,40 m de altura, figura 18.

Estas posições foram escolhidas baseadas nos trabalhos de Costa, (2006), Lund (2000) e Walklate et al (2000). Os trabalhos citados utilizaram túneis de vento com medidas diferentes das encontradas no túnel de vento deste trabalho, portanto, as medidas sofreram ajustes para se adequar as dimensões deste túnel de vento. A representação do posicionamento desses coletores encontra-se na Figura 18.

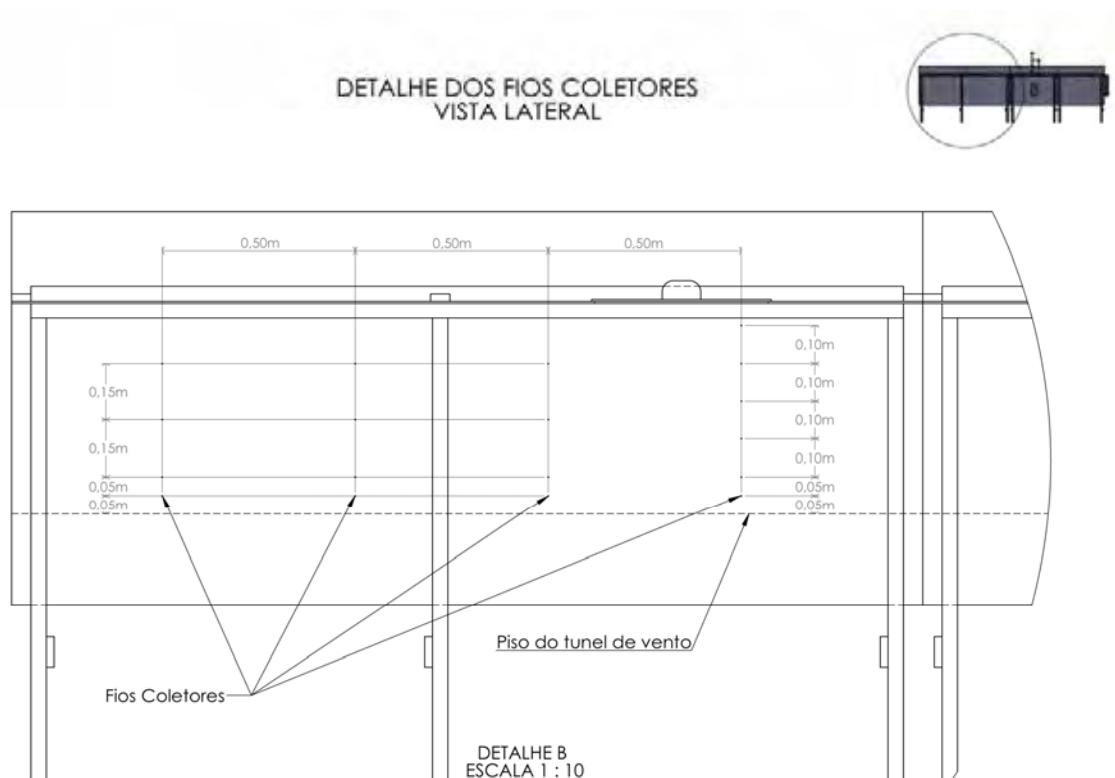


Figura 18. Desenho esquemático do posicionamento dos fios coletores no túnel de vento.

Testes iniciais utilizando dezoito fios coletores mostraram que cinco deles poderiam ser descartados (os dois mais acima na distância de 1,0 m e o fio mais alto nas distâncias de 1,5, 2,0 e 2,5 m), pois a concentração de corante encontrada neles era igual a zero ou desprezível. A partir desta informação os ensaios definitivos foram realizados com treze fios coletores visando agilizar o processo de coleta das amostras no túnel de vento e da sua posterior análise no espectrofotômetro.

Durante os ensaios de pulverização no túnel de vento, os procedimentos de retirada dos fios coletores foram realizados com a participação de quatro pessoas. Uma dessas

peessoas ficava posicionada de forma a ter acesso à parte superior do túnel de vento através da janela de abertura para proceder à retirada dos fios com o auxílio de dois alicates de ponta fina. Duas pessoas ficavam encarregadas de cortar os fios pelo lado externo do túnel de vento, uma de cada lado enquanto a quarta pessoa ficava encarregada de receber o fio coletor e colocá-lo dentro de sacos plásticos e fechá-los.

Todos os ensaios foram realizados com três repetições, cada ensaio era composto por treze fios coletores, totalizando-se trinta e nove fios coletores para serem analisados em cada ensaio.

Cada aplicação foi realizada durante 10 s, constituindo uma repetição. O tempo de pulverização foi controlado manualmente através da visualização de um cronômetro digital assim como o fechamento do fluxo líquido que passava pela ponta de pulverização que era realizado através de uma válvula de fechamento rápido, tipo esfera.

Após as aplicações o ventilador era desligado e em seguida aguardava-se cinco minutos, tempo necessário para total estabilização do ambiente dentro da seção de testes e fixação das gotas que estavam impregnadas nos fios coletores, então, dava-se início à retirada dos fios coletores. Posteriormente à coleta os fios foram depositados individualmente em sacos plásticos transparentes e em seguida foram fechados e armazenados em outro saco plástico escuro para melhor proteção das amostras. Esse processo foi necessário porque o corante azul brilhante pode se degradar quando exposto à luz, (MARCHI, et al, 2005).

Todos os ensaios foram realizados com três repetições. Entretanto, alguns autores têm utilizado duas repetições para avaliação de deriva em túnel de vento como, por exemplo, nos ensaios de Walklate et al. (2000) e Costa (2006), sendo considerada satisfatória nesse tipo de estudo. Por se tratar do primeiro estudo realizado neste túnel de vento, optou-se por três repetições nesse trabalho. Com este procedimento passou-se a ter uma segurança e confiabilidade maior nos resultados dos dados coletados, o que conduz a uma menor incerteza dos mesmos (POPE,1966).

3.3.5 Lavagem dos fios coletores e análise das amostras

Após cada aplicação foi coletada uma amostra da calda e os fios coletores foram embalados em sacos plásticos individuais e transparentes, fechados e acondicionados

em outro saco preto e guardados em local escuro. Posteriormente foram levados ao laboratório do NUPAM onde foram lavados com 15 ml de água destilada. Após agitação manual, o líquido foi retirado do saco plástico e acondicionado em potes lacrados. Após a lavagem de todos os fios coletores, o líquido contido nos potes foi analisado em um espectrofotômetro UV-visível de duplo feixe, modelo Cintra 20. O espectrofotômetro opera com 3 mm de caminho óptico cujos resultados em absorbância no comprimento de onda 630 nm para o corante Azul Brillhante, foi transformado em ppm por meio de confecção de curvas-padrão a partir de concentrações conhecidas. Esse procedimento foi feito para cada ensaio, através da amostra da calda utilizada no ensaio. A medida do volume de água de lavagem foi feita por meio de dispensador calibrado com precisão de 0,01 ml.

Com este procedimento foi calculada a deposição em cada fio coletor, a qual calculada em μL . Para tanto, os dados obtidos para cada coletor foram multiplicados por 15, em função do volume de lavagem (fator de diluição). Finalmente, os depósitos corrigidos, ainda em μL , foram transformados em deriva expressa em porcentagem do volume total de calda aplicada. Os depósitos referentes a cada posição de coleta foram avaliados individualmente.

3.4 Delineamento estatístico

Os dados foram analisados através da estatística descritiva exploratória e a comparação entre os tratamentos foi feita utilizando o intervalo de confiança a 95% de probabilidade ($\text{IC}_{95\%}$)

Os valores absolutos de intervalo de confiança foram somados e subtraídos às respectivas médias, permitindo a comparação entre os adjuvantes (caldas) testados.

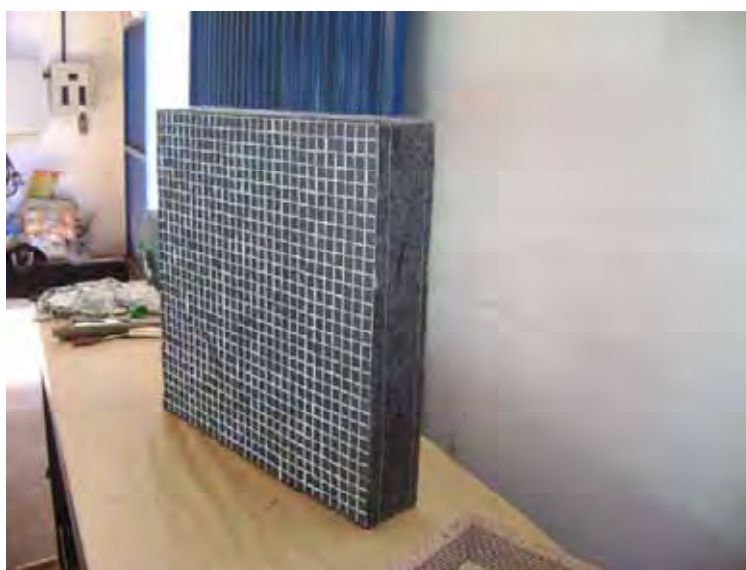
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Túnel de vento

O túnel de vento construído para a realização deste trabalho tem como principais características: ser de circuito aberto e seção de teste fechada, o sistema acionador (motor) abastece o circuito e age como soprador. Para diminuir a vibração do motor, o mesmo foi envolto em uma camada de feltro. Logo após o motor, foram colocadas duas telas e uma colméia, com a finalidade de uniformizar o fluxo de ar que se desloca para a seção de testes onde são feitas as medidas, estes elementos também foram envoltos em uma camada de feltro para ficarem presos as paredes internas do túnel de vento. Esta configuração foi escolhida por apresentar como principais vantagens a facilidade de montagem e limpeza de seus componentes após os ensaios e menor custo de montagem. Na construção do túnel de vento, o motor, as telas e a colméia, figura 19, foram instaladas antes da seção de ensaio, desta forma, estes não necessitam de materiais e projetos especiais anticorrosão e de selagem, o que diminui o custo do projeto e facilita sua manutenção.



(a)



(b)

Figura 19: (a) telas e (b) colméia utilizadas na construção do túnel de vento.

Os resultados deste trabalho mostram que as modificações realizadas na construção do túnel de vento, tais como a não utilização da contração e do difusor, visando diminuir custos de construção e seu tamanho, tiveram êxito, já que os dados coletados durante os ensaios, quando comparados com outros estudos realizados, (COSTA, 2006), (LUND, 2000) e (WALKLATE ET AL. 2000), mostram compatibilidade entre os resultados.

O túnel de vento foi confeccionado com chapas de fibras de eucalipto de espessura 3,0 mm e face superior lisa e face inferior corrugada e tem comprimento total de 4,80 m tendo uma secção de testes quadrada de 56 cm x 56 cm e área útil de aproximadamente 0,31 m² e 2,5 m de comprimento. Utilizou-se um ventilador da marca Arno de 5 velocidades e 180 W de potência, figura 22, 23 e 24.

A função das duas telas e da colméia, utilizada na construção desse túnel de vento, foi de melhorar a qualidade do fluxo de ar na seção de testes. A função das telas é de “quebrar” os vórtices (ausência de rotação e de velocidades transversais, isto é, de vorticidade ou redemoinhos) que surgem devido ao movimento das hélices do ventilador. Após as telas foi, colocada uma colméia que tem a função de direcionar o escoamento, deixando-o laminar. No escoamento laminar, todas as partículas que passam por um mesmo ponto têm a mesma trajetória, que é perfeitamente definida pela geometria do duto, retilínea no caso do túnel de vento. A colméia utilizada foi confeccionada por 841 tubos quadrados de alumínio com paredes de 2 mm e malha de 20 mm e uma espessura de 10 cm (figura 19, 20 e 21). As telas e a colméia foram envolvidas por um feltro para melhor fixação e vedação junto às paredes do túnel de vento.

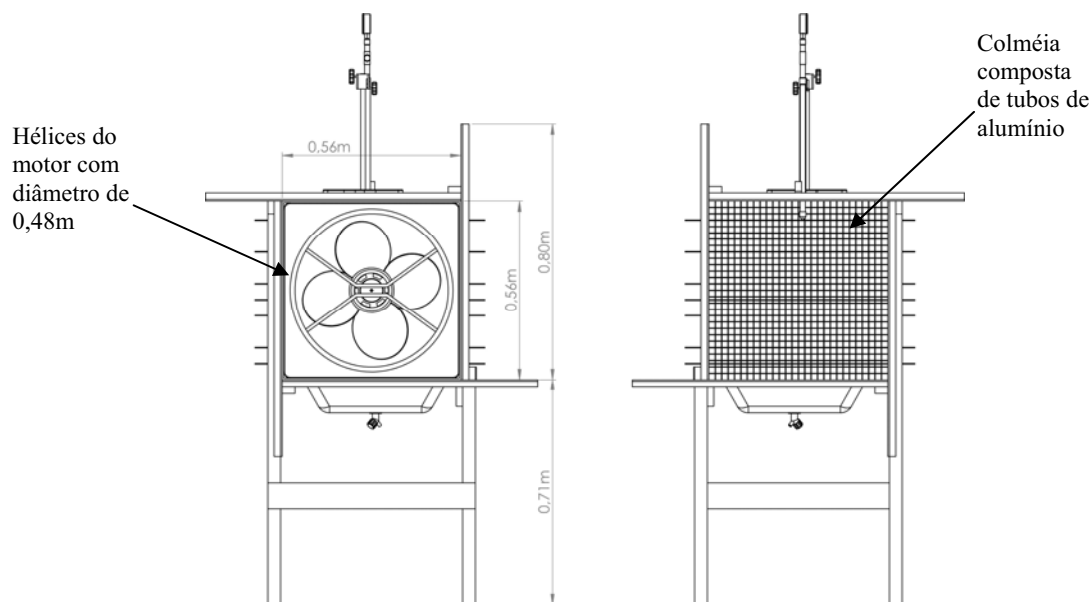


Figura 20: Desenho com a vista frontal e posterior de parte do túnel de vento.

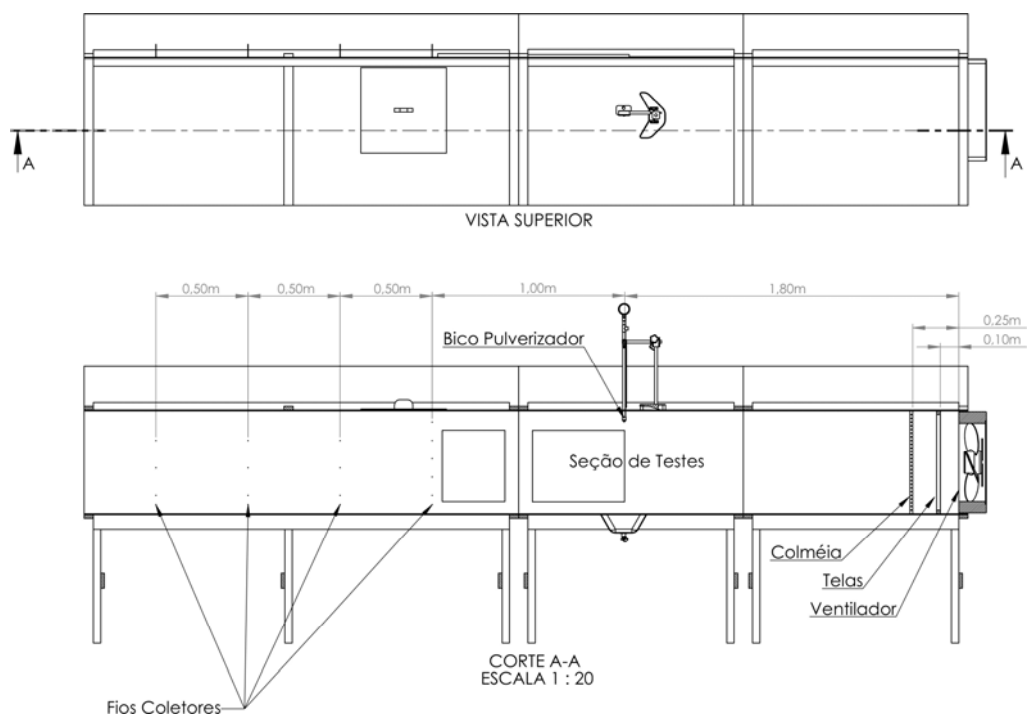


Figura 21: Desenho com vista superior e lateral do túnel de vento e seus principais componentes.

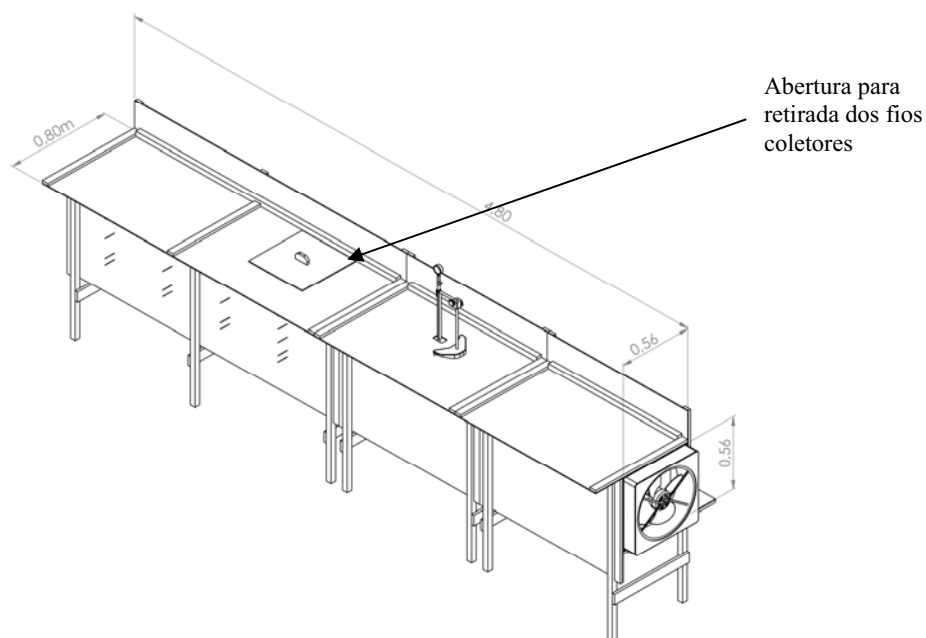


Figura 22: Desenho com as principais dimensões do túnel de vento (m) e abertura para retirada dos fios coletores.



Figura 23: Desenho do túnel de vento com destaque para o posicionamento do motor.



Figura 24: Foto com a vista geral do túnel de vento construído.

O tamanho da área da seção de testes ficou dentro dos limites de potência do ventilador que foi utilizado nos ensaios. Pode-se calcular qual o fluxo que o ventilador

consegue impulsionar para uma determinada área de seção de testes pela Equação (5). Neste trabalho foi necessária uma velocidade na seção de testes de 2 m.s^{-1} e sabendo que a área da seção de testes é de $0,31 \text{ m}^2$, a vazão volumétrica que o motor do ventilador deveria oferecer é de $0,62 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

$$V_v = A.V \quad (5)$$

Onde:

V_v = Vazão Volumétrica ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)

A = Área da seção transversal (m^2)

V = Velocidade (m.s^{-1})

Utilizando o valor da velocidade desejada durante os ensaios, igual a 2m.s^{-1} , é possível calcular o número de Reynolds e através desse resultado saber o tipo de escoamento dentro do túnel de vento.

O número de Reynolds constitui a base do comportamento de sistemas reais, pelo uso de modelos físicos reduzidos. Um exemplo comum é o túnel aerodinâmico onde se medem forças desta natureza em modelos de asas de aviões, automóveis, edificações. Pode-se dizer que dois sistemas são dinamicamente semelhantes se o número de Reynolds, for o mesmo para ambos. D refere-se em geral, a qualquer dimensão do sistema, por exemplo a corda de asa de um avião, o comprimento de um navio, a altura de um edifício. Geralmente, nos túneis aerodinâmicos a semelhança mais utilizada é a de Mach. Tipicamente, por valores experimentais, costuma-se caracterizar um fluido com escoamento laminar com $\text{Re} < 2100$ e escoamento turbulento com $\text{Re} > 4000$.

O número de Reynolds é adimensional e para esse escoamento vale:

$$\text{Re} = \frac{c.D}{\nu} \quad (6)$$

$$\text{Re} = \frac{2,0.0,03}{16,04.10^{-6}} = 3,7.10^3 \quad (7)$$

Onde:

c : velocidade média do fluxo, medida na seção de ensaio ($2,0 \text{ m.s}^{-1}$).

D: comprimento característico, neste trabalho é o diâmetro externo médio do bico pulverizador (aproximadamente 3 cm ou 0,03 m).

ν : viscosidade cinemática do fluido ($= \eta / \rho$, onde η é viscosidade dinâmica e ρ é massa específica do fluido, neste caso o ar). Na literatura (FOX, McDONALD, 1998), a 30°C a viscosidade cinemática do ar é: $\nu \approx 16,04 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Esse número de Reynolds calculado indica que o escoamento está na transição entre os regimes laminar e turbulento. Durante os testes de visualização com fios de lã, foi observado que não há regiões de turbulência na seção de ensaio. As medidas de velocidade realizadas com o anemômetro de ventoinha mostraram que as velocidades foram praticamente constantes na seção de testes, podendo-se assumir um escoamento laminar. Esses dados garantem um bom desenvolvimento do fluxo na seção de testes, minimizando a possibilidade de turbulência no escoamento durante os ensaios. Isso ocorre devido a baixa velocidade utilizada nos ensaios ($v = 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) e também a baixa razão de bloqueio causada pelo bico pulverizador e os fios coletores.

Para reduzir a interferência durante os ensaios, as medidas de velocidade na seção de testes foram realizadas sempre antes dos ensaios de pulverização, desta forma, o anemômetro utilizado para medir a velocidade não interferiu no escoamento durante os ensaios, apenas o bico pulverizador. A razão de bloqueio pode ser calculada em função da área da seção de testes e da área do bico pulverizador:

Seção de testes quadrada de 56 cm x 56 cm e área do túnel de vento de aproximadamente $0,31 \text{ m}^2$.

$$A = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,015 \cdot 0,12 = 0,011 \text{ m}^2 \quad (8)$$

Onde:

A é a área da seção de ensaios do túnel de vento;

r é o raio médio do bico de pulverização (15 mm);

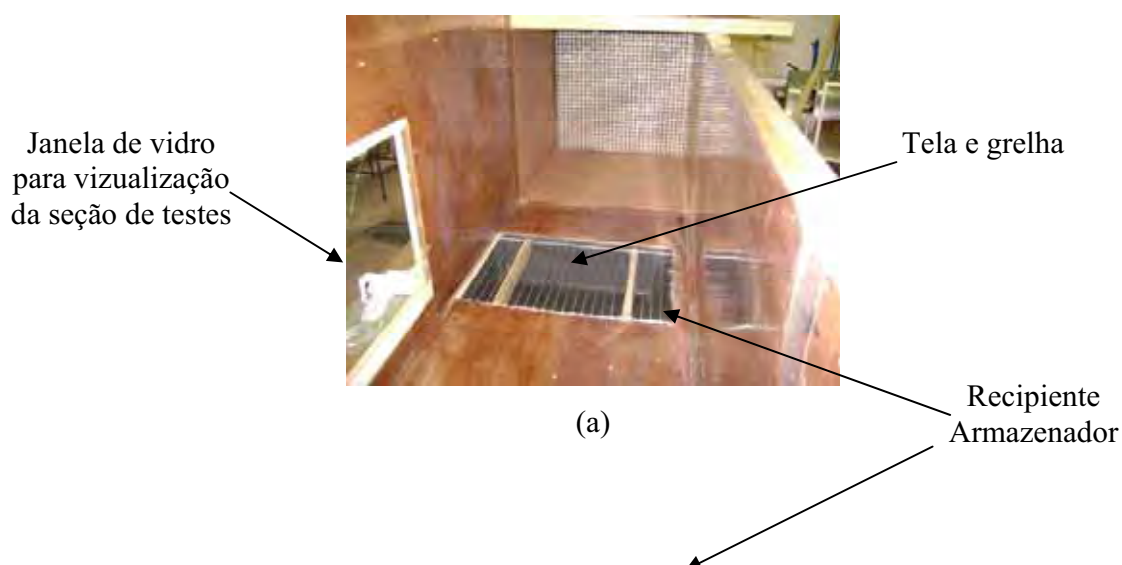
h a altura do bico e suporte que ficou dentro do túnel de vento (12 cm);

Isso resulta em uma razão de bloqueio de aproximadamente 3,5%. Com isto, não há necessidade de correção nas medidas realizadas durante os ensaios (GIRARDI, 1989; MOREIRA, 1996).

Para a realização da análise da deriva originada do jato produzido pela ponta de pulverização foi necessário que a ponta de pulverização ficasse localizada a uma altura mínima de 0,44 m, em relação ao piso do túnel de vento, para uma pressão de trabalho de 2,0 bar. Esta altura mínima refere-se à projeção que o jato formado pela ponta de pulverização toma após acionado e ao chegar ao piso do túnel de vento. Com uma altura menor, não seria possível verificar toda abertura do jato de pulverização. Por outro lado, se a altura do bico sofresse um aumento, em relação ao piso do túnel de vento, parte do jato atingiria as paredes laterais do túnel de vento, o que prejudicaria os ensaios. Desta forma, a altura da ponta de pulverização e a pressão de ensaio foram ajustadas de forma que o jato chegasse aberto no piso do túnel.

Para que as gotas pulverizadas ao colidirem com o piso do túnel de vento não voltassem ricocheteando, o que poderia atrapalhar as medidas de deriva foi construído um suporte para a calda pulverizada. Esse suporte é composto por um recipiente armazenador e uma tela de “nylon”. Abaixo da tela foi colocada uma grelha metálica com a finalidade de manter a tela de “nylon” esticada, como pode ser visualizado na Figura 25. Desta forma, as gotas pulverizadas tinham acesso a este recipiente e não voltavam ao ambiente onde acontecia a pulverização e portanto não interferiam nas medidas de deriva. Ao final de cada ensaio, o recipiente era esgotado através de uma torneira localizada no fundo do mesmo.

A ponta de pulverização foi posicionada a 0,44 m de altura do piso (Figura 26), no centro longitudinal do túnel de vento, por meio de um suporte fixado no teto do túnel de vento. As aplicações foram realizadas sobre uma tela plástica de 0,53 x 0,42 m que ficou presa ao reservatório plástico.

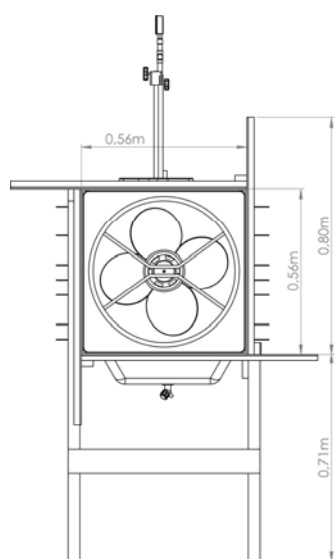


Torneira para
esgotar o
recipiente



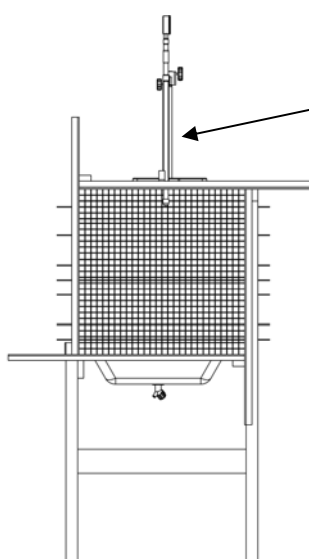
(b)

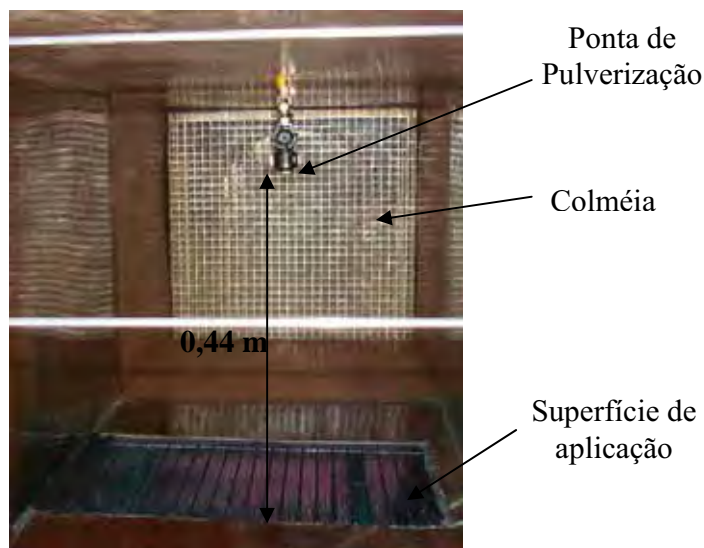
Figura 25: (a) Vista do plano superior (b) e inferior do recipiente armazenador.



(a)

Suporte da Ponta
de Pulverização





(b)

Figura 26: (a) Localização do suporte da ponta de pulverização na parte superior do túnel de vento. (b) localização da ponta de pulverização e da superfície de aplicação no túnel de vento.

Para evitar que o líquido pulverizado atingisse diretamente a madeira usada na construção do túnel de vento, a parte interna foi revestida com um plástico através de um processo de colagem. O procedimento se mostrou eficiente, já que não houve vazamentos do líquido pulverizado durante todo o período de realização dos ensaios.

Vazões da ponta de pulverização, em $L \cdot \text{min}^{-1}$, foram medidas coletando-se o líquido pulverizado em uma proveta durante 1 minuto, antes de cada aplicação. A ponta de pulverização, a pressão de trabalho utilizada nos ensaios e a vazão média obtida durante a realização dos ensaios no laboratório para os três adjuvantes utilizados, estão apresentadas na Tabela 1. A descrição dos adjuvantes e as respectivas concentrações ensaiadas encontram-se na Tabela 2.

Tabela 1. Ponta de pulverização, respectiva pressão e vazão média medida.

<i>Ponta de pulverização</i>	<i>Descrição</i>	<i>Pressão (bar)</i>	<i>Vazão (L.min⁻¹)</i>
Teejet XR8003	Jato plano convencional (uso amplo)	*2	**1,08

* Manômetro - Classe de precisão A2 ABNT ($\pm 0,5\%$ FDE).

** Média de vazão nominal (medida no laboratório) para as 3 caldas.

Tabela 2. Descrição dos componentes das caldas e respectivas concentrações.

<i>Componente</i>	<i>Especificação de uso</i>	<i>Concentração (v/v em %)</i>
Azul Brillhante	Corante/Traçador	0,60
Adjuvante a base de polímero	Redutor de deriva	0,06
Adjuvante a base de nonilfenol	Tensoativo (surfactante)	0,20

As velocidades de rotação das pás do ventilador foram medidas por um tacômetro digital, modelo DT 6234B da empresa IMPAC. Durante os ensaios preliminares essas medidas foram realizadas sempre antes de cada ensaio, e os resultados mostram uma pequena variação, da ordem de $\pm 4\%$ para as cinco velocidades que o motor oferece. Durante estes ensaios foram obtidos os valores médios de rotação apresentados na Tabela 3.

A temperatura e umidade relativa do ar foram medidas antes de cada aplicação com equipamentos instalados na parte externa do túnel de vento e seus valores médios, mínimos e máximos, obtidos a partir dos registros em cada uma das repetições, referentes a todos os estudos. Os procedimentos para execução dos ensaios foram baseados em métodos descritos por Lund (2000), (Moreira, 1996) e Costa (2006a).

Cada ensaio foi composto por três repetições. Em cada repetição a ponta de pulverização ficava acionada por 10 s com o fluxo de ar na seção de testes a uma velocidade de 2 m.s^{-1} e após cinco minutos os fios coletores de deriva eram retirados do túnel de vento pela abertura existente na parte superior do mesmo. Os fios eram colocados individualmente em sacos plásticos e posteriormente lacrados e enviados para análise no NUPAM, onde foram realizadas as análises no espectrofotômetro. Uma amostra de calda era coletada durante os

ensaios de pulverização, sendo utilizada posteriormente para a elaboração de uma curva de calibração do aparelho.

Tabela 3. Valores médios das velocidades de rotação das hélices do ventilador para as cinco posições de velocidade disponíveis no ventilador.

<i>Ajuste da Velocidade</i>	<i>Rotação média (rpm) para 5 repetições</i>
R1	520
R2	750
R3*	950
R4	1000
R5	1050

* R3 – velocidade igual a $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ utilizada nos ensaios.

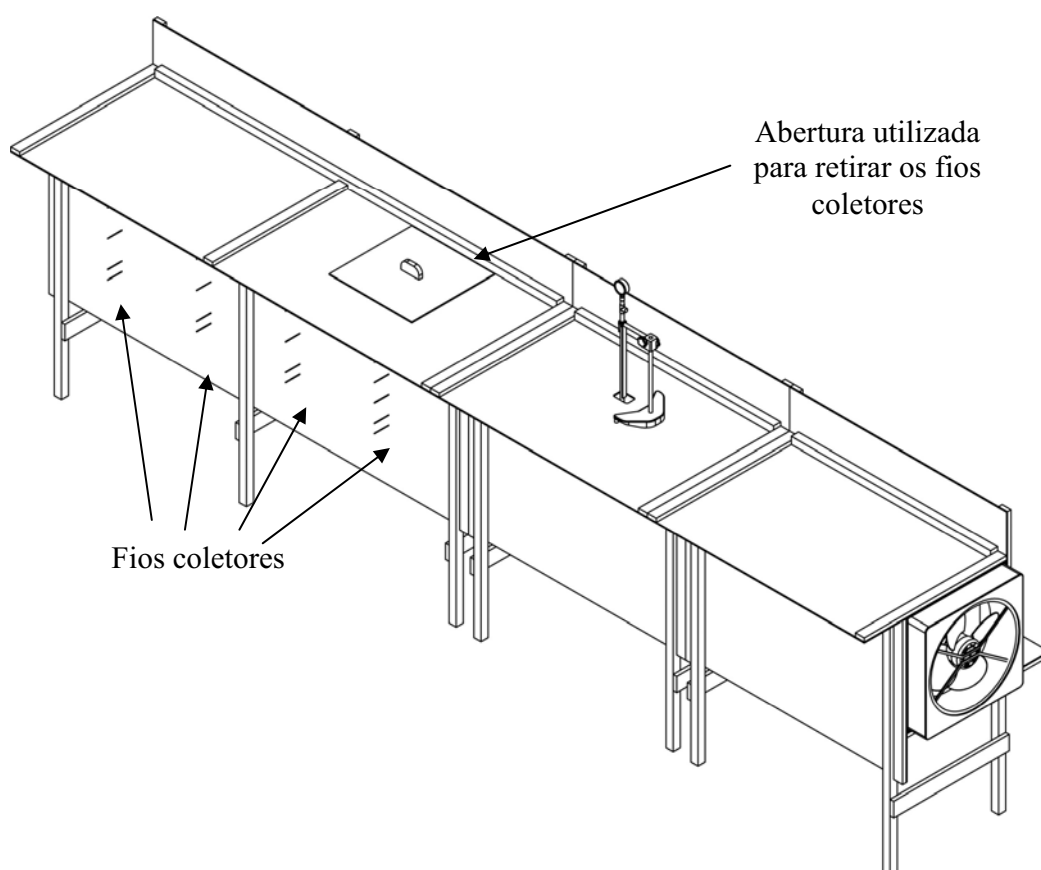


Figura 27: Abertura existente na parte superior do túnel de vento para retirada dos fios coletores.

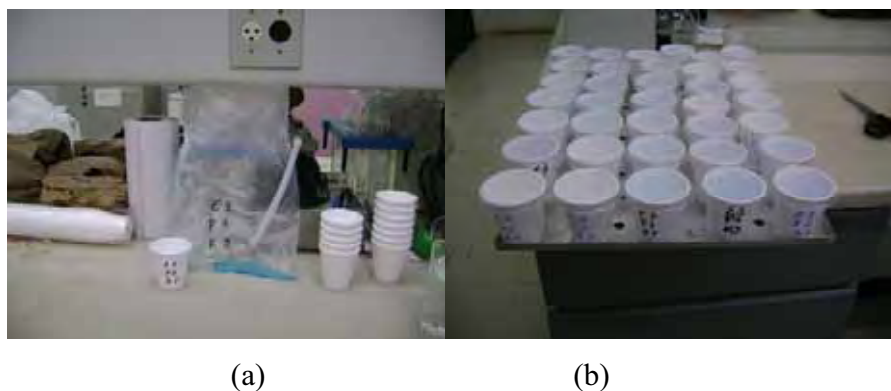


Figura 28: (a) Saco plástico onde o fio coletor era armazenado e lavado (b) potes com o líquido após a lavagem e utilizado na leitura no espectrofotômetro.



Figura 29: Espectrofotômetro UV-visível utilizado nas medidas de absorbância.

As amostras armazenadas nos potes lacrados foram utilizadas nas medidas feitas no espectrofotômetro, na qual o traçador utilizado nas pulverizações foi quantificado em absorbância (densidade óptica) no comprimento de onda de 630 nm. Foram obtidos valores de quantidade de calda depositada por coletor, em μL , proveniente do software do espectrofotômetro utilizado (UV-visível de duplo feixe, modelo Cintra 20), figura 29, referenciados na concentração de corante e por meio de curvas de calibração obtidas através das diluições das amostras das caldas aplicadas, Figura 30. Os dados obtidos para cada coletor foram multiplicados por 15, em função do volume de lavagem (fator de diluição). Finalmente, os depósitos corrigidos, ainda em μL , foram transformados em deriva expressa em porcentagem do volume total de calda aplicada.

Os depósitos referentes a cada posição de coleta (fio coletor) foram avaliados individualmente. Para avaliar o efeito das caldas utilizadas com a ponta XR8003 a deriva foi analisada levando-se em conta a soma dos depósitos de deriva nos fios de cada distância (1,0 m, 1,5 m, 2,0 m e 2,5 m do bico pulverizador).

Também foram feitas análises da deriva total de cada adjuvante ensaiado pela soma total das porcentagens de depósito de corante nos treze fios coletores e verificou-se o percentual médio nas três repetições.

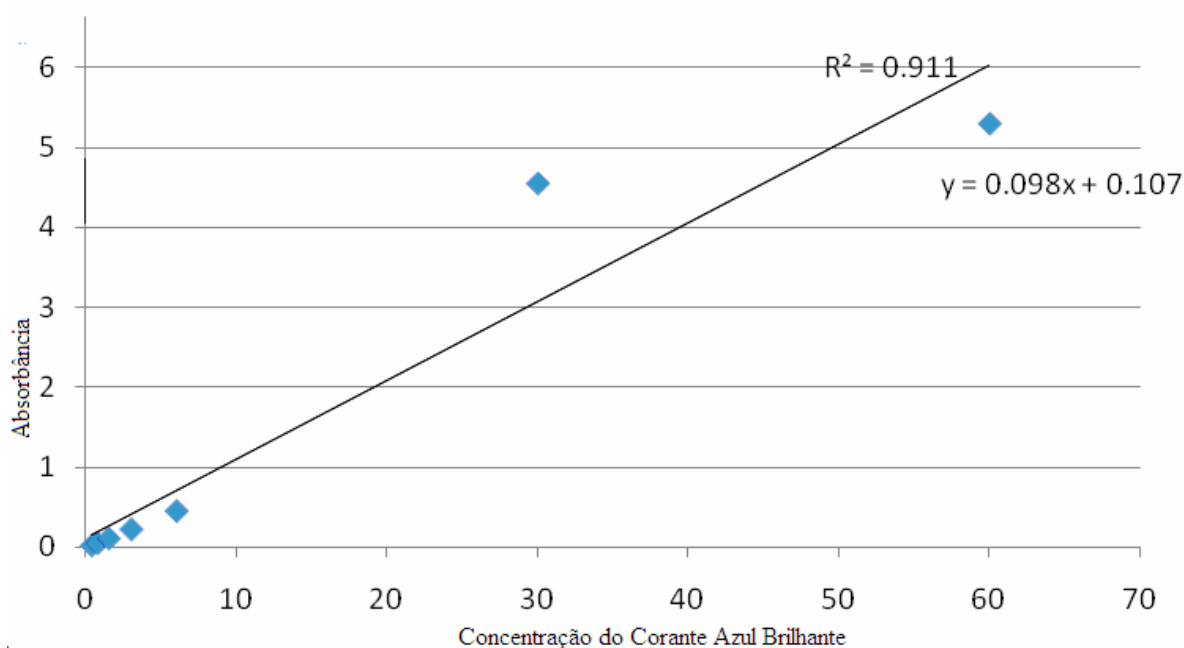


Figura 30: Exemplo de curva de calibração usada no espectrofotômetro.

4.2 Ensaios no túnel de vento

Foram realizados três ensaios com três repetições cada. Os dados obtidos nos ensaios, utilizados na validação do túnel de vento, estão expostos em forma de gráficos e tabelas. Os resultados mostram as características da deriva nas três caldas utilizadas para a ponta de pulverização utilizada neste trabalho.

O primeiro ensaio realizado com a ponta TeeJet XR8003 utilizou a calda composta de água destilada e o corante azul brilhante à uma concentração de 0,6% (calda

padrão). As condições ambientais medidas durante as três repetições deste ensaio são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4- Valores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa (U.R.) do ar (%) medidos durante o primeiro ensaio com a calda controle.

	<i>Repetição 1</i>	<i>Repetição 2</i>	<i>Repetição 3</i>
<i>T ($^{\circ}\text{C}$)</i>	24,2 $^{\circ}\text{C}$	24,1 $^{\circ}\text{C}$	23,9 $^{\circ}\text{C}$
<i>U.R. (%)</i>	80%	80%	80%

No segundo ensaio a calda utilizada foi composta de água destilada e o corante azul brilhante à uma concentração de 0,6%, sendo adicionado o adjuvante redutor de deriva na concentração de 0,06%. Foram mantidos todos os outros elementos como pressão, altura do bico e velocidade do fluxo de ar. As condições ambientais medidas durante as três repetições deste ensaio são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5- Valores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa (U.R.) do ar (%) medidos durante o segundo ensaio, acrescentado o adjuvante redutor de deriva.

	<i>Repetição 1</i>	<i>Repetição 2</i>	<i>Repetição 3</i>
<i>T ($^{\circ}\text{C}$)</i>	26,8 $^{\circ}\text{C}$	27,0 $^{\circ}\text{C}$	27,0 $^{\circ}\text{C}$
<i>U.R. (%)</i>	73%	69%	67%

No terceiro ensaio a calda utilizada foi composta de água destilada e o corante azul brilhante à uma concentração de 0,6% e foi adicionado o adjuvante surfactante a uma concentração de 0,2%. Foram mantidos todos os outros elementos como pressão, altura do bico e velocidade do fluxo de ar. As condições ambientais medidas durante as três repetições deste ensaio são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6- Valores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa (U.R.) do ar (%) medidos durante o terceiro ensaio com o adjuvante surfactante.

	<i>Repetição 1</i>	<i>Repetição 2</i>	<i>Repetição 3</i>
<i>T ($^{\circ}\text{C}$)</i>	30,2 $^{\circ}\text{C}$	30,0 $^{\circ}\text{C}$	30,0 $^{\circ}\text{C}$
<i>U.R. (%)</i>	52%	55%	55%

4.3 Comparação entre os tratamentos

As Figuras 31 a 34 mostram os resultados dos ensaios com a ponta de pulverização XR8003 comparando os depósitos de corante nos fios coletores para as três caldas, em função da altura dos fios com relação ao piso do túnel de vento para todas as distâncias consideradas (1,0, 1,5, 2,0 e 2,5 m).

A Figura 31 apresenta os níveis percentuais da deriva para as três caldas nos quatro fios coletores colocados a 1,0 m de distância da ponta de pulverização. Nota-se que o adjuvante surfactante apresentou os maiores níveis de depósito (ou deriva estimada), com diferença significativa das outras duas caldas pela análise do IC95%, seguido da calda padrão (água) e da calda contendo o adjuvante redutor de deriva, que apresentou os menores valores, também com diferença significativa pela análise do IC95%. Estes resultados encontram embasamento na própria definição funcional dos adjuvantes, ou seja, o antideriva reduziu o percentual das perdas e o tensoativo aumentou o potencial de deriva, efeitos apresentados e discutidos por Butler-Ellis (2004) e Antuniassi (2009). Outro aspecto mostrado é a variação do percentual de deriva em relação à altura do piso do túnel de vento. Quanto maior a altura, menor o depósito de corante, portanto menor a deriva coletada.

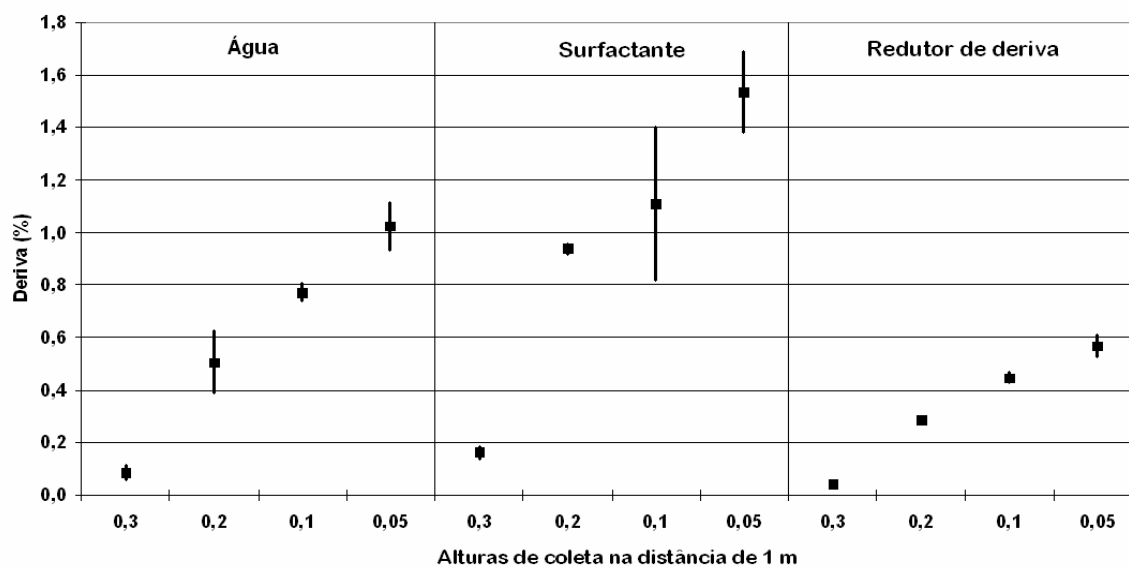


Figura 31: Percentual de depósito de corante com os três tipos de calda a 1,0 m da ponta de pulverização XR8003. Os pontos indicam as médias de cada análise e as barras verticais representam os valores máximos e mínimos de acordo com o IC 95%.

As análises realizadas para as demais distâncias (1,5, 2,0 e 2,5 m) mostraram o mesmo comportamento relativo entre as caldas, com maior potencial de deriva para o surfactante e menor para o redutor de deriva.

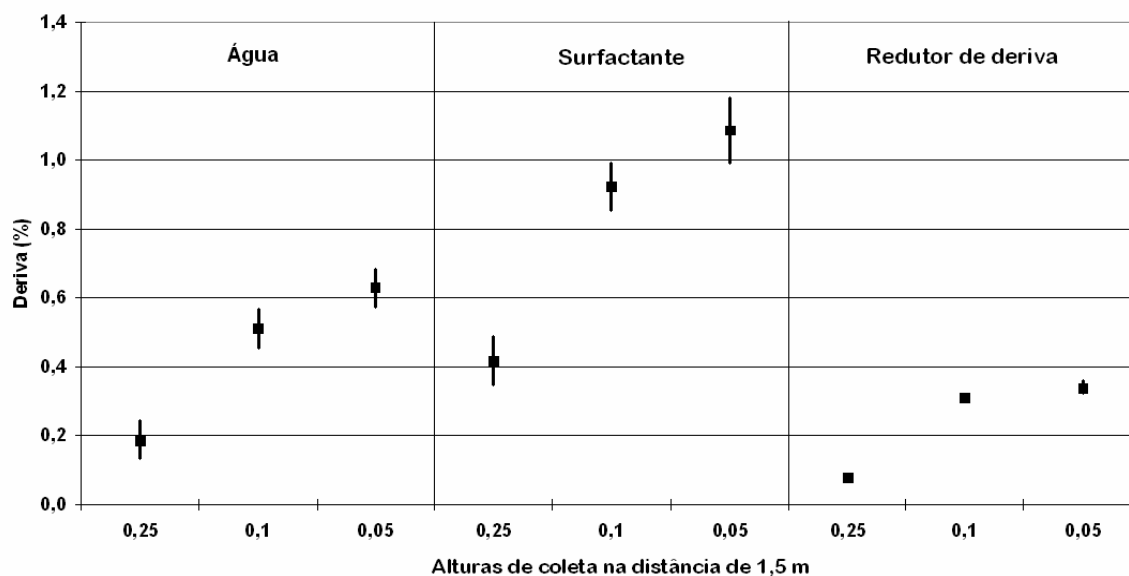


Figura 32: Percentual de depósito de corante com os três tipos de calda a 1,5 m da ponta de pulverização XR8003. Os pontos indicam as médias de cada análise e as barras verticais representam os valores máximos e mínimos de acordo com o IC 95%.

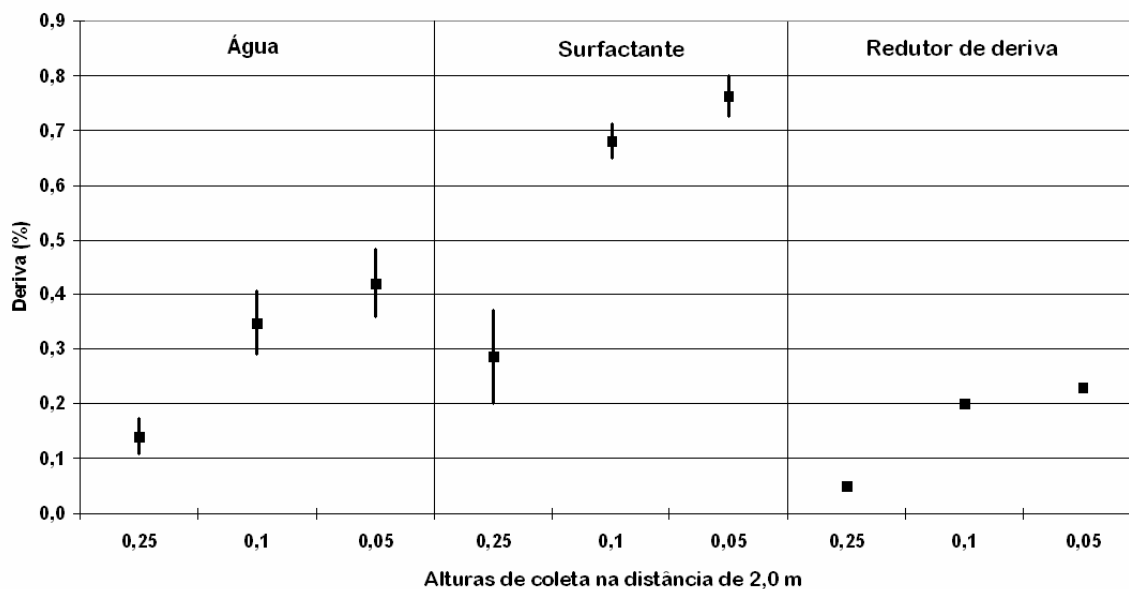


Figura 33: Percentual de depósito de corante com os três tipos de calda a 2,0 m da ponta de pulverização XR8003. Os pontos indicam as médias de cada análise e as barras verticais representam os valores máximos e mínimos de acordo com o IC 95%.

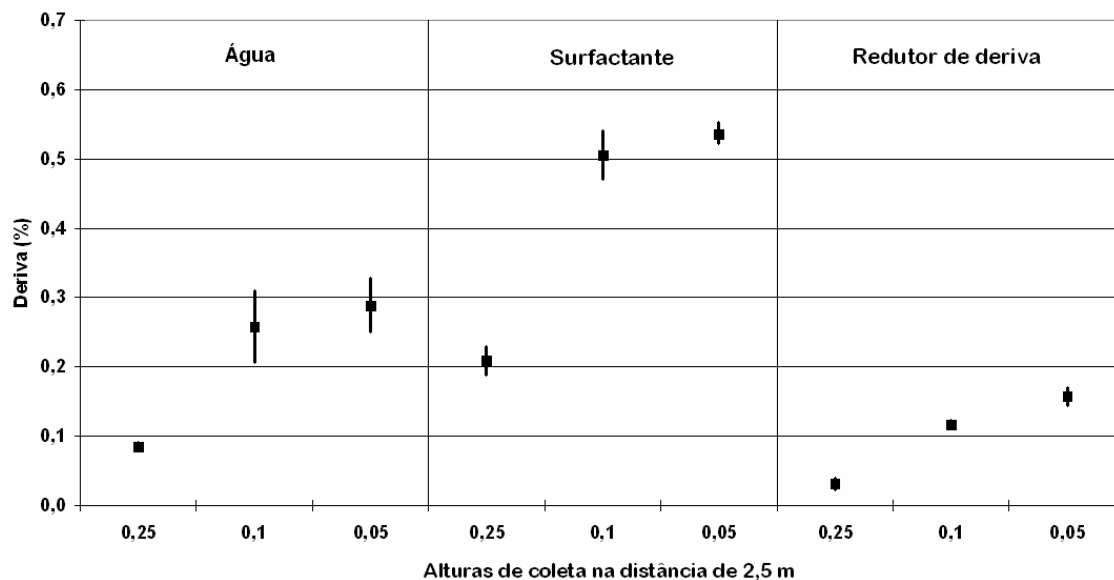


Figura 34: Percentual de depósito de corante com os três tipos de calda a 2,5 m da ponta de pulverização XR8003. Os pontos indicam as médias de cada análise e as barras verticais representam os valores máximos e mínimos de acordo com o IC 95%.

As Figuras 35 e 36 reúnem todos os dados coletados para as três caldas. Observa-se a mesma tendência entre as três caldas ensaiadas, ou seja, na medida em que se aumenta a altura dos fios, diminui a deriva coletada, e na medida em que se aumenta a distância dos fios coletores em relação à ponta de pulverização diminui a deriva observada, preservando-se o comportamento relativo entre as três caldas avaliadas. A Figura 37 apresenta a soma total de deriva para as três caldas avaliadas, a qual foi obtida da soma dos percentuais de deriva nos treze pontos de coleta dentro do túnel. Em todos os casos, os percentuais de deriva observados neste trabalho são coerentes com os encontrados em outros estudos realizados em túneis de vento para análise de deriva (Lund, 2000; Costa, 2006).

A tabela 7 mostra o posicionamento dos treze fios coletores usados nos ensaios de validação.

Tabela 7- Posicionamento dos fios coletores dentro da seção de testes do túnel de vento, mostrados na figura 35

Pontos de coleta (fios)	Alturas em relação ao piso do túnel de vento (m)	Distância da ponta de Pulverização (m)
3	0,30	1,0
4	0,20	1,0
5	0,10	1,0
6	0,05	1,0
8	0,25	1,5
9	0,10	1,5
10	0,05	1,5
12	0,25	2,0
13	0,10	2,0
14	0,05	2,0
16	0,25	2,5
17	0,10	2,5
18	0,05	2,5

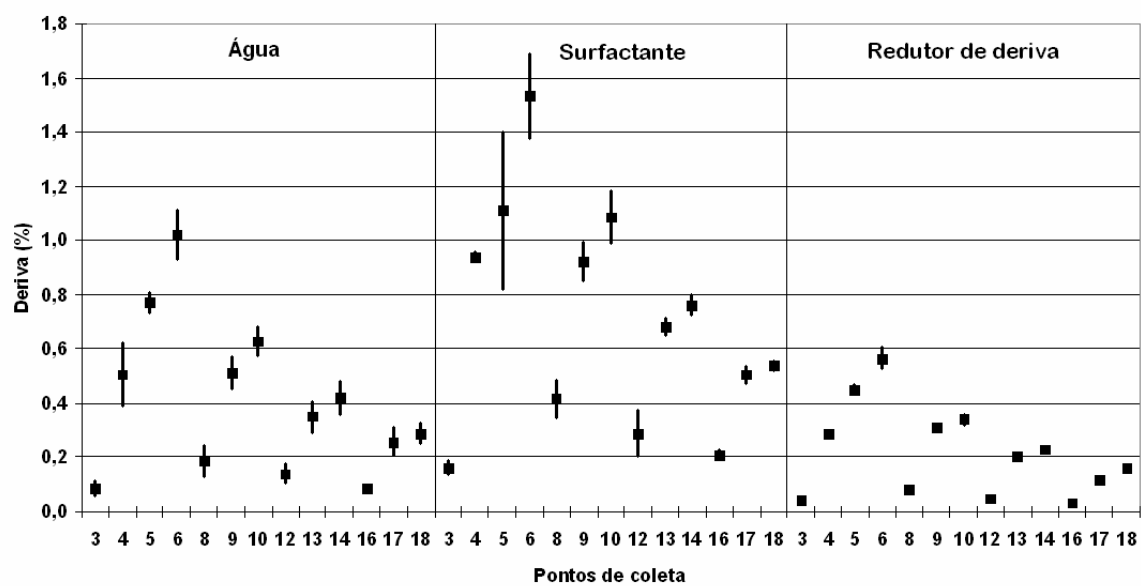


Figura 35. Percentual de depósito de corante com os três tipos de calda em todas as posições de coleta. Os pontos indicam as médias de cada análise e as barras verticais representam os valores máximos e mínimos de acordo com o IC 95%.

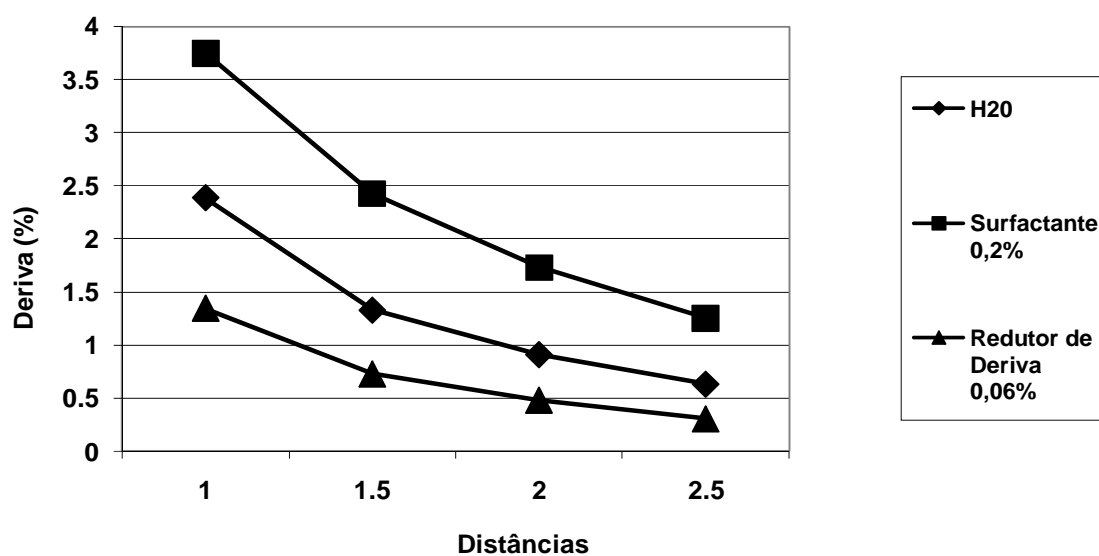


Figura 36. Percentual de deriva observada com os três tipos de calda, de acordo com as distâncias de coleta dentro do túnel de vento.

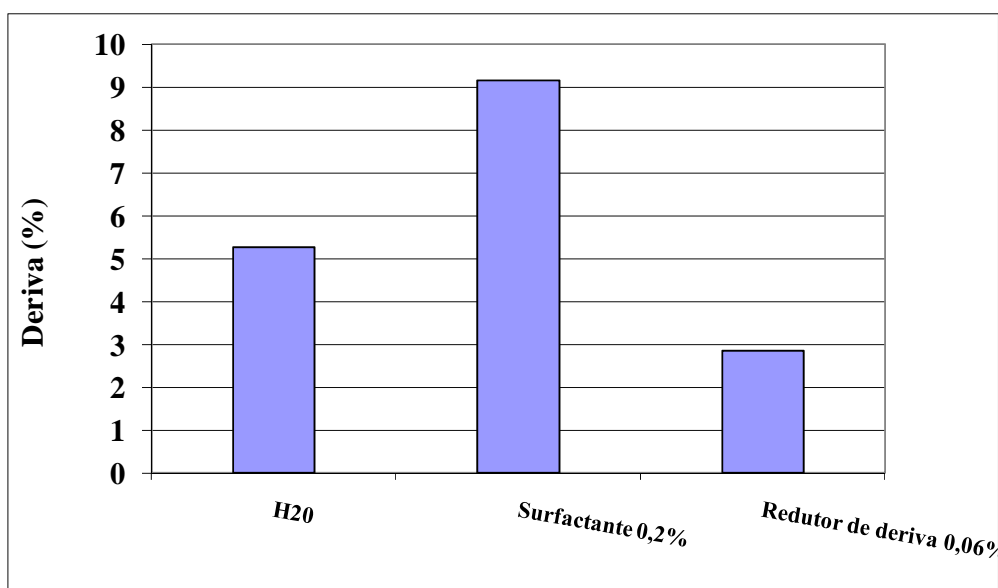


Figura 37. Percentual total de deriva com os três tipos de calda, obtido da soma dos depósitos em todos os coletores no túnel de vento (treze pontos de coleta).

As Figuras 38 39 e 40 mostram uma representação gráfica gerada por interpolação de dados no software SURFER. Observa-se que adjuvante redutor de deriva apresenta as menores concentrações de deriva dentre as caldas analisadas, enquanto o

adjuvante surfactante apresenta as maiores concentrações. Observa-se ainda que há um decréscimo da deriva à medida que aumenta a altura em relação ao piso do túnel de vento para as três caldas ensaiadas. Também é possível verificar que os depósitos de deriva diminuem à medida que se aumenta a distância da ponta de pulverização, ou seja, para os três adjuvantes as maiores concentrações de deriva encontram-se antes de 1,5 m e diminuem gradativamente até atingirem 2,5 m.

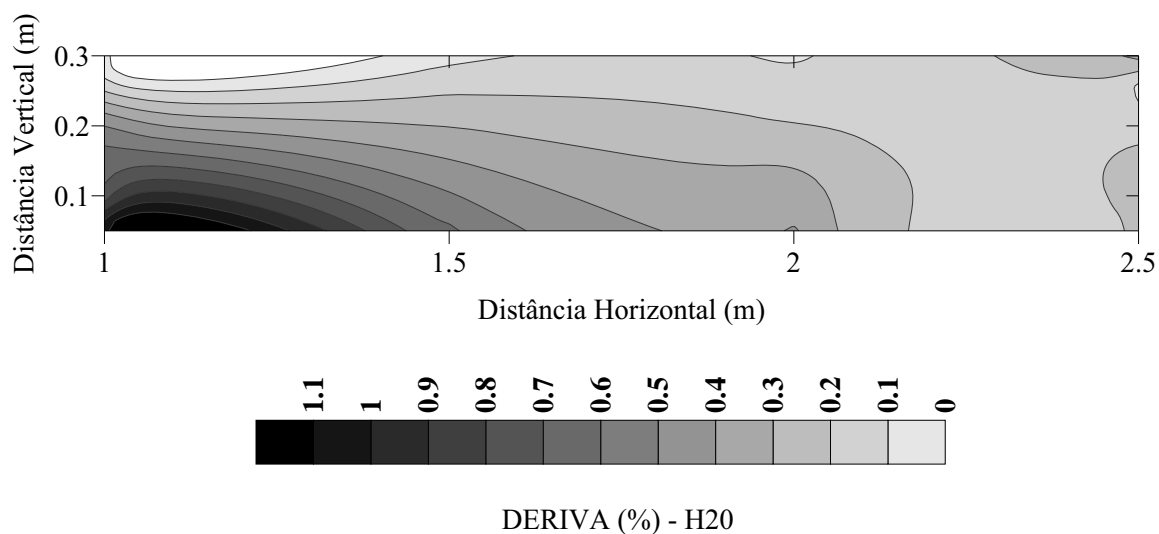


Figura 38: Distribuição espacial do depósito de deriva (%) proporcionada pela calda padrão (água) no interior do túnel de vento.

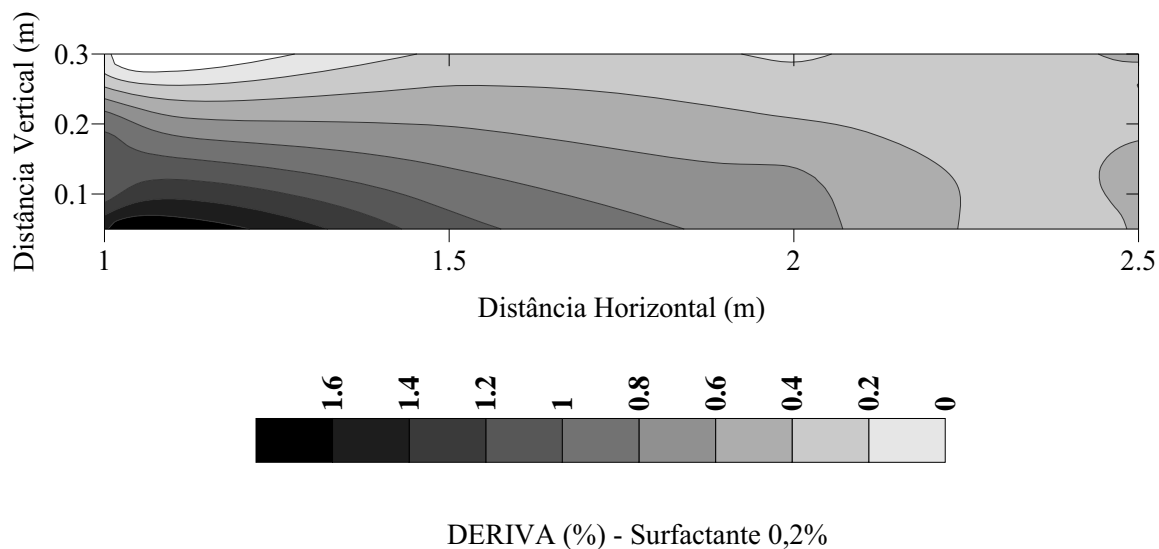


Figura 39: Distribuição espacial do depósito de deriva (%) proporcionada pela calda contendo o adjuvante surfactante a 0,2% no interior do túnel de vento.

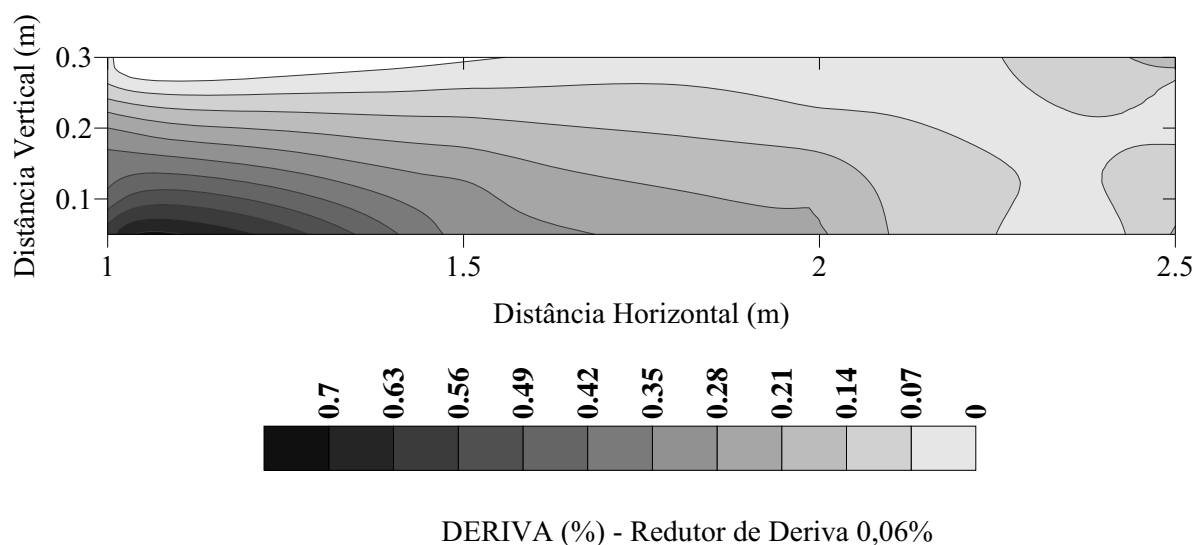


Figura 40: Distribuição espacial do depósito de deriva (%) proporcionada pela calda contendo o adjuvante redutor de deriva a 0,06% no interior do túnel de vento.

4.4 Considerações Finais

Algumas técnicas experimentais utilizadas durante a realização deste trabalho poderiam ser melhoradas. Para se ter uma melhor precisão da qualidade do escoamento, pode-se, por exemplo, utilizar um anemômetro de fio quente tridimensional. Este equipamento pode fornecer a velocidade média nos três eixos e a velocidade RMS (velocidade de flutuação) através de uma varredura em vários pontos da seção de testes do túnel de vento. Com essas informações é possível saber a direção do escoamento e ter uma informação mais precisa sobre a qualidade do escoamento (laminar ou turbulento). Assim, pode-se ter uma melhor descrição da trajetória das gotas pulverizadas que são sensíveis a mudanças de direção do vento. O túnel de vento poderia ser dotado em sua seção de ensaio de sensores para medida da pressão estática e dinâmica. Com essas informações, também é possível ter mais subsídios para garantir a boa qualidade do fluxo de ar, assim como sua uniformidade espacial e temporal, ou seja, garantir a ausência de oscilações periódicas do fluxo.

Outro equipamento que poderia ser incorporado ao desenvolvimento do túnel de vento para melhorar a análise da qualidade do fluxo de ar é o gerador de fumaça, para realização de ensaios com fumaça em conjunto com uma filmadora de alta sensibilidade e um

laser. Esses equipamentos podem ser usados também no acompanhamento das gotas pulverizadas, que formam a deriva e, através do desenvolvimento de uma técnica experimental, estimar a quantidade de deriva.

O aprofundamento dos estudos com o túnel de vento desenvolvido neste trabalho irá requerer a utilização de ambiente com algum controle das condições climáticas (temperatura e umidade do ar). Apesar de não haver comprovação explícita da influência destes fatores nos resultados obtidos neste trabalho, este fenômeno encontra amplo embasamento na bibliografia consultada. Parte deste efeito foi contornado com o uso de um sistema umidificador para a realização dos ensaios. Entretanto, as próximas evoluções desta estrutura de trabalho deverão focar este aspecto.

O túnel de vento desenvolvido neste trabalho foi validado apenas com um ensaio simples de comparação de caldas. Seu potencial de uso, entretanto, engloba todo o campo de trabalho na relação da tecnologia de aplicação com os equipamentos utilizados (barras e dispositivos geradores de gotas, por exemplo), os adjuvantes e as formulações, as condições operacionais e a própria dinâmica de movimentação das gotas no fluxo de ar.

É comum o uso de ensaios de campo para realizar uma estimativa do processo de deriva usando coletores artificiais. As deposições de gotas da deriva a campo podem ser analisadas em laboratório e os resultados comparados com aqueles obtidos no túnel de vento. Por fim, pode-se através desse tipo de estudo estimar a distância horizontal percorrida por gotas de pulverização em diversas condições de lançamento e verificar a correlação da distância horizontal percorrida pela gota com o diâmetro das gotas e com a velocidade de deslocamento horizontal. Tais estudos podem ser realizados em túnel de vento a partir de sua reconfiguração, aumentando a área da seção de testes, seu comprimento e redimensionando seu motor.

5 CONCLUSÕES

Foi possível construir um túnel de vento de dimensões reduzidas e de baixo custo para realizar estimativas de deriva e suas principais características, como a distribuição espacial dos depósitos.

Nos ensaios de validação a variação do adjuvante em solução aquosa influenciou na deriva das gotas da pulverização produzida pela ponta de jato plano XR 8003 à pressão de 2 bar.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMSOM, A. **Pesticides rain down on southern Alberta**. Disponível em: <<http://www.exan.ca/Stories/1999/02/26/53.asp>>. Acesso em: 26 jun. 2008.

ALISTER, C.; KOGAN, M. Environmental risk index. A simple proposal to select agrochemicals for agricultural use. **Crop Protection**, v. 25, p. 202-211, 2006.

ANTUNIASSI, U.R. Tecnologia de aplicação de defensivos, Rondonópolis: Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso – Fundação MT, 2004; n° 8, p. 165-177, (Boletim Técnico de Soja, 2004).

ANTUNIASSI, U.R. Conceitos básicos da tecnologia de aplicação de defensivos na cultura da soja. **Boletim de Pesquisa de Soja 2009**, v.13, Rondonópolis: Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso, p. 299-316, 2009.

ANTUNIASSI, U.R. et al. Avaliação da cobertura de folhas de soja em aplicação terrestre com diferentes tipos de pontas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTOXICOS, 3., 2004, Botucatu. Anais... Botucatu: FEPAF, 2004. 4p. CD-ROM.

ANTUNIASSI, U.R. Spray drift: comparative perspectives between South America and Europe. **Aspects of Applied Biology**, v. 77, p. 267-273, 2006.

BARCELLOS, L.C.; CARVALHO, Y.C.; SILVA, A.L. Estudo sobre a penetração de gotas de pulverização no dossel da cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Engenharia na Agricultura**, v.6, p. 81-94, 1998.

BARLOW J. B., RAE W. H., POPE A., 1999, "Low-Speed Wind Tunnel Testing", 3rd edition; John Wiley & Sons.

BLESSMANN, J., Obtenção de Perfis de Velocidade Média em Túnel de Vento. Revista Brasileira de Tecnologia, São Paulo, 3(4) :219-28, dez.,1972.

BUTLER ELLIS, M.C. **The effect of spray liquid on the application of pesticide sprays**. In: RAETANO, C.G., ANTUNIASSI, U.R. Qualidade em Tecnologia de Aplicação. Botucatu:Fepaf, 2004. p. 167-176.

CHAIM, A.; MAIA, A. H. N.; PESSOA, M. C. P. Y. Estimativa da deposição de agrotóxicos por análise de gotas. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 34, n. 6, p. 963-969, 1999.

CHEN, J.; SHAW, B. W.; ORTIZ, C. A.; FAULKNER, W. B.; PARNELL, C. **A dust wind tunnel for particulate matter sampling studies**. Paper number: 064161, an ASAE Meeting presentation, 2006.

CHRISTOFOLETTI, J.C. **Considerações sobre tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas**. São Paulo: Teejet South America, 1999a. 14 p. (Boletim técnico, 5).

COOK, N. J. The designer's guide to Wind Loading of Building Structures. Part 2: Static Structures. (Building Reserch Estabishment). London, 1990.

COSTA, A. G. F. Determinação da deriva da mistura 2,4-D e glyphosate com diferentes pontas de pulverização e adjuvantes. Tese de Doutorado, Unesp – Campus Botucatu. 2006a.

COSTA, A.G.F.; MILLER, P.C.H.; TUCK, C.R. The development of wind tunnel protocols for spray drift risk assessment. **Aspects of Applied Biology**, v. 77, p. 289-294, 2006b.

CUNHA, J.P.A.R. Simulação da Deriva de Agrotóxicos em Diferentes Condições de Pulverização, Ciênc. agrotec., Lavras, v. 32, n. 5, p. 1616-1621, set./out., 2008

CUNHA, J.P.A.R. et al. Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulica de jato plano e jato cônico vazio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.**, v. 39, n. 19, p. 977-985, 2004

CUNHA, J.P.A.R. et al. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, Viçosa, v.21, n.2, p. 325-332, 2003.

DAVENPORT, A. G., ISYUMOV, N. The Application of The Boundary Layer Wind Tunnel to the Prediction of Wind Loading. In: Proceedings of the International Research Seminar: Wind Effects on Buildings and Structures. Ottawa, Canada. September 11-15. V. 1. p. 201-230, 1967.

DERKSEN, R. C.; OZKAN, H. E.; FOX, R. D.; BRAZEE, R. D. **Droplet spectra and wind tunnel evaluation of venturi and pre-orifice nozzles.** **Transactions of the ASAE**, v. 42, n. 6, p. 1573-1580, 1999.

FIETSAM, J. F. W.; YOUNG, B. G.; STEFFEN, R. W. **Differential response of herbicide drift reduction nozzles to drift control agents with glyphosate.** **Transactions of the ASAE**, v. 47, n. 5, p. 1405-1411, 2004.

FOX, R. W., McDONALD, A. T. **Introdução à mecânica dos fluidos** 4º Edição, Editora LTC, Rio de Janeiro, RJ, 662p. 1998.

GILES, D. K.; ANDERSEN, P. G.; NILARS, M. **Flow control and spray cloud dynamics from hydraulic atomizers**. Paper number: 01-1076, an ASAE Meeting presentation, 2001.

GIRARDI, R. M., **Modelo aerodinâmico do escoamento plano sobre corpos rombudos**. Tese de Doutorado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), 1989.

GORECKI, J. P. **Túneis aerodinâmicos: passado, presente e futuro**. Encit 88 – II Encontro Nacional de Ciências Térmicas. Águas de Lindóia – SP, 1988.

GROFF, J. E. A.; ALÉ, J. V. **Projeto de túnel de vento subsônico de circuito aberto**. Rio Grande do Sul: PUC-RS, 2000.

GULER, H.; ZHU, H.; OZKAN H. E.; DERKSEN, R. C.; YU, Y.; KRAUSE, C. R.; **“Spray Characteristics and Wind Tunnel Evaluation of Drift Reduction Potential with Air Induction and Conventional Flat Fan Nozzle”**. ASABE Annual International Meeting Sponsored by ASABE Oregon Convention Center Portland, July 2006.

HERBST, A. **A method to determine spray drift potential from nozzles and its link to buffer zone restrictions**. Paper number: 01-1047, an ASAE Meeting presentation, 2001.

HOFFMANN, W.C.; KIRK, I.W. Spray deposition and drift from two “medium” nozzles. **Transactions of the ASAE**, v. 48, n. 1, p. 5-11, 2005.

HOLLOWAY, P.J. et al. Effects of some agricultural tank-mix adjuvants on the deposition efficiency of aqueous sprays on foliage. **Crop Protection**, v. 19, p. 29-37, 2000.

(<http://www.efluids.com/efluids/pages/gallery.htm>). Página visitada dia 06/04/2009.

http://www4.anvisa.gov.br/AGROSIA/asp/frm_dados_agrotoxico.asp. Pagina visitada dia 28/08/2009.

(<http://www.teejet.com/portuguese/home/literature/bulletins/spray-products.aspx>) Página visitada dia 09/12/2008.

(<http://www.zenaceu.com.br/produtos/inquima>). Página visitada dia 20/01/2009.

(<http://www.zurichpt.com.br/>). Página visitada dia 18/01/2009.

HUGHES, W. F.; BRIGHTON, J. A. **Dinâmica dos fluidos**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1979.

JOHNSON, M. P.; SWETNAM, L. D. **Sprayer nozzles**: selection and calibration. Lexington: University of Kentucky, 1996. 6 p.

LEE, I. B.; CHOI, K.; YUN, J.; JEUN, J.; KIM, G. **Study of aerodynamics in agriculture – modern technologies**. ASAE Annual International Meeting, 27 July 2003, (Las Vegas, Nevada, USA). ASAE Publication Number 03BEA-04, ed. Chi Thai.

LEON, J. C.; BABIN, B.; CHOI, C. Y. **Design, construction, and evaluation of a compact recirculating wind tunnel for agricultural experiments**. *Transactions of the ASAE*, v. 41, n. 1, p. 213-218, 1998.

LIMA, P.H.; et al. Planejamento e desenvolvimento de um túnel aerodinâmico do tipo soprador visando o ensino e a pesquisa em engenharia. In: Anais do XI CREEM, Nova Friburgo, RJ, 2004

LUND, I. Nozzles for drift reduction. *Aspects of Applied Biology*, v. 57, p. 97-102, 2000.

MANUAL TEEJET, **TeeJet Technologies South América**, “Cotia - São Paulo – Brasil. Disponível em 09/01/2009 no site: <http://www.teejet.com>

MARCHI, S.R.; MARTINS, D., COSTA, N.V. ; TERRA, M.A. e NEGRISOLI, E. **Degradação luminosa e retenção foliar dos corantes azul brilhante FDC-1 e amarelo tartrasina FDC-5 utilizados como traçadores em pulverizações**, Planta Daninha, Viçosa-MG, v. 23, n. 2, p. 287-294, 2005.

MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: Funep, 1990. 139p.

MATTHEWS, G. A. The application of chemicals for plant disease control. In: WALLER, J. M.; LENNÉ, J. M.; WALLER, S. J. **Plant pathologists pocketbook**. London: CAB, 2002. p. 345-353.

MEISINGER, J. J.; LEFCOURT, A. M.; THOMPSON, R. B. **Construction and validation of small mobile wind tunnels for studying ammonia volatilization**. Transactions of the ASAE, v. 17, n. 3, p. 375-381, 2001.

MILLER, P.C.H. **Reducing the risk of drift from boom sprayers**. In: RAETANO, C.G.;ANTUNIASSI, U.R. Qualidade em tecnologia de aplicação. Fepaf, 2004. p. 110-124.

MONTÓRIO, G. A. **Eficiência dos surfatantes agrícolas na redução da tensão superficial**.2001. 70 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - FCA/UNESP, Botucatu, 2001.

MOREIRA, O. JR. **Estudo experimental do escoamento sobre modelos de ônibus com diferentes inclinações da superfície frontal**. Tese de Mestrado. Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), 1996.

MURPHY, S. D.; MILLER, P. C. H.; PARKIN, C. S. The effect of boom section and nozzle configuration on the risk of spray drift. **Journal of Agricultural Engineering Resource**, London, v. 75, p. 127-137, 2000.

OLIVEIRA JR, R.S. et al. Simulação de deriva do herbicida 2,4-D sobre uva. **Boletim Informativo Ciência das Plantas Daninhas**, São Paulo, v. 10, Suplemento, p. 279, 2004.

OWEN P. R. AND ZIENKIEWICZ H.K. The production of uniform shear flow in a wind tunnel. *Journal of Fluid Mechanics*, V. 2, p.521-531, 1957.

OZKAN, H.E. **Reduzindo a deriva nas pulverizações.** Disponível em: <<http://www.comam.com.br>>. Acesso em: 22 outubro 2008.

PHILLIPS, J.C.; MILLER, P.C.H. Field and wind tunnel measurements of the airborne spray volume downwind of single flat-fan nozzles. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 72, p. 161-170, 1999.

POPE, A., *Low Speed Wind Tunnel Testing*, New York, N.Y., John Wiley& Sons, 1966.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas.** 5. Londrina: edição dos autores, 2005. 592 p.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas.** 4. Londrina: edição dos autores, 1998. 648 p.

SCHLICHTING, H., *Boundary-Layer Theory*, McGraw-Hill, 1979.

SPADOTTO, C.A. Monitoramento e avaliação de impactos de herbicidas no ambiente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 23, 2002, Gramado. **Palestras...** Londrina: SBCPD, 2002. p. 56-65.

SUMNER, P. E.; SUMNER, S. A. Comparison of new drift reduction nozzles. Saint Joseph: ASAE, 1999. **Transactions of the ASAE, Atmospheric Environment**, Oxford, v. 39, p. 6194-6203, 2005.

TEIXEIRA, M. M. **Influencia del volumen de caldo y de la uniformidad de distribución transversal sobre la eficacia de la pulverización hidráulica.** 1997. 310 f. Tese (Doutorado

em Agronomia) – Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 1997.

VELLOSO, J.A.R.; GASSEN, D.N.; JACOBSEN, L.A. Características da tecnologia de aplicação. **Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas com pulverizadores de barra**. Passo Fundo: Centro Nacional de Pesquisa de Trigo/Embrapa, 1984. p. 10-14.

WALKLATE, P.J.; MILLER, P.C.H.; GILBERT, A.J. Drift classification of boom sprayers based on single nozzle measurements in a wind tunnel. **Aspects of Applied Biology**, v. 57, p.49-56, 2000.

WOLF, R. E. **Strategies to reduce spray drift**. Kansas: Kansas State University, 2000. 4 p. (Application Technology Series). SUMNER, P. E. **Reducing spray drift**. Georgia: University of Georgia, 1997. 11 p. (ENG97-005).

WOMAC, A. R.; GOODWIN, J. C.; HART, W. E. Comprehensive evaluation of droplet spectra from drift reduction nozzles. Saint Joseph: ASAE, 1997. 47 p. (Paper, 971069).