

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

**OTIMIZAÇÃO DA TECNOLOGIA DE ASSISTÊNCIA DE AR EM
PULVERIZADOR DE BARRAS ATRAVÉS DA UMIDIFICAÇÃO DO
FLUXO DE AR**

WILSON MARCOS STANISLAVSKI

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP

Agosto – 2012

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

**OTIMIZAÇÃO DA TECNOLOGIA DE ASSISTÊNCIA DE AR EM
PULVERIZADOR DE BARRAS ATRAVÉS DA UMIDIFICAÇÃO DO
FLUXO DE AR**

WILSON MARCOS STANISLAVSKI

Orientador: Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU - SP

Agosto – 2012

Stanislavski, Wilson Marcos, 1974-
S786o Otimização da tecnologia de assistência de ar em pulverizador de barras através da umidificação do fluxo de ar / Wilson Marcos Stanislavski. - Botucatu : [s.n.], 2012 vi, 61 f. : il. color., gráfs., tabs., fotos.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2012

Orientador: Ulisses Rocha Antuniassi
Inclui bibliografia

1. Tecnologia de assistência de ar. 2. Pulverizador de barras. 3. Umidificação do fluxo de ar. I. Antuniassi, Ulisses Rocha. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "OTIMIZAÇÃO DA TECNOLOGIA DE ASSISTÊNCIA DE AR EM
PULVERIZADOR DE BARRAS ATRAVÉS DA UMIDIFICAÇÃO DO
FLUXO DE AR"


ALUNO: WILSON MARCOS STANISLAVSKI

ORIENTADOR: PROF. DR. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI



PROF. DR. OTAVIO JORGE GRIGOLI ABI SAAB



PROF. DR. CAIO ANTONIO CARBONARI

Data da Realização: 29 de agosto de 2012.

*A minha esposa Cleila, pelo incentivo e amor.
A minha filha Evelin, fonte de alegria e felicidade.*

Agradeço a Deus, fonte de sabedoria e força, por estar presente na minha vida, tornando tudo possível;

A Máquinas Agrícolas Jacto que proporcionou a oportunidade de me dedicar à pesquisa;

Aos colegas de trabalho, pelos momentos de contribuições, o meu reconhecimento e agradecimento;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi, pela orientação, amizade, apoio e pelas valiosas contribuições na elaboração desta dissertação;

Aos colegas da Energia da Agricultura, pela amizade e aprendizagens compartilhadas;

Ao Laboratório de Análise de Partículas da UNESP-Jaboticabal e a Faculdade de Ciências Agronômicas UNESP-Botucatu, pela concessão dos meios e espaço para execução da pesquisa, contribuindo para uma etapa essencial no desenvolvimento dos estudos;

Aos meus pais Eduardo Stanislavski e Zélia Sidoski Stanislavski e familiares que sempre me incentivaram.

A todos que estiveram presentes e contribuíram na realização desta Dissertação.

Meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

	Página
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
4.1 Tecnologia de aplicação com barra assistida a ar	7
4.2 Condições climáticas	10
5 MATERIAL E MÉTODOS	13
5.1 Locais	13
5.2 Características da ponta de pulverização para injetar água no fluxo de ar	13
5.3 Especificações do pulverizador	21
5.4 Medições de temperatura da água utilizada na umidificação	22
5.5 Termohigrômetro	22
5.6 Umidificação do fluxo de ar	23
5.7 Fases da pesquisa	25
5.7.1 Fase exploratória	26
5.7.2 Fase definitiva	28
5.8 Procedimento	29
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
6.1 Resultados da umidificação com ramal próximo a parede interna do duto de ar - fase exploratória	31
6.2 Resultados da umidificação com ramal no centro do duto de ar - fase definitiva	33
6.2.1 Análise da temperatura com umidificação no ramal central do duto de ar	35
6.2.2 Análise da umidade com umidificação no ramal central do duto de ar	43
6.3 Temperatura ambiente, UR ambiente e temperatura da água durante a pesquisa	48
6.4 Capacidade do reservatório de água para o sistema umidificador do fluxo de ar	49
7 CONCLUSÃO	50
8 REFERÊNCIAS	51
9 APÊNDICE	54

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ilustração da medição do ângulo de pulverização da ponta	15
Figura 2. Analisador de partículas Mastersizer	17
Figura 3. Valores de diâmetro mediano volumétrico (DMV)	18
Figura 4. Valores do diâmetro de 10 % do volume acumulado (DV 0,1)	19
Figura 5. Valores do diâmetro de 90 % do volume acumulado (DV 0,9)	20
Figura 6. Pulverizador Falcon Vortex	22
Figura 7. Pontos de medições em relação à cortina de ar	23
Figura 8. Pontos de medições em relação à largura da barra	24
Figura 9. Locais de injeção de água no fluxo de ar	25
Figura 10. Ramal umidificador da fase exploratória montado no fluxo do ar	26
Figura 11. Ramal umidificador da fase definitiva montado no fluxo de ar	28
Figura 12. Molhamento e escorrimento no duto de ar central na fase exploratória da pesquisa	32
Figura 13. Molhamento e escorrimento no início do duto de ar da barra direita	32
Figura 14. Foto do ramal na parte interna do duto de ar da barra direita demonstrando molhamento da parede logo após as pontas	33
Figura 15. Umidificação com o ventilador desligado e duto de ar desmontado	33
Figura 16. Umidificação com ventilador ligado e duto de ar desmontado	34
Figura 17. Molhamento e escorrimento causado pela umidificação do fluxo de ar	35
Figura 18. Gráfico das médias das temperaturas na cortina de ar em relação à vazão do umidificador	36
Figura 19. Gráfico da temperatura na cortina de ar em várias posições da barra	37
Figura 20. Gráfico da temperatura na cortina de ar na extremidade esquerda da barra central	38
Figura 21. Gráfico da temperatura na cortina de ar na extremidade direita da barra central ...	39
Figura 22. Gráfico da temperatura na cortina de ar no centro da barra direita	40
Figura 23. Gráfico da temperatura na cortina de ar na extremidade da barra direita	41

Figura 24. Gráfico das médias da temperatura na cortina de ar em três distâncias da canaleta	42
Figura 25. Gráfico das médias da umidade na cortina de ar variando a vazão do umidificador	43
Figura 26. Gráfico da umidade na cortina de ar em várias posições da barra	44
Figura 27. Gráfico da umidade na cortina de ar no centro da barra direita	45
Figura 28. Gráfico da umidade na cortina de ar na extremidade da barra direita	46
Figura 29. Gráfico da umidade na cortina de ar em relação a distâncias da barra	47

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Vazão da ponta de pulverização utilizada no dispositivo de umidificação	14
Tabela 2. Ângulo de pulverização das pontas utilizadas no dispositivo de umidificação	15
Tabela 3. Valores de diâmetro mediano volumétrico (DMV), desvio padrão e intervalo de confiança (IC) ao nível de 95%	18
Tabela 4. Valores do diâmetro de 10% do volume acumulado (DV 0,1), desvio padrão e intervalo de confiança (IC) ao nível de 95%	19
Tabela 5. Valores do diâmetro de 90% do volume acumulado (DV 0,9), desvio padrão e intervalo de confiança (IC) ao nível de 95%	20
Tabela 6. Tratamentos realizados na fase exploratória da pesquisa	27
Tabela 7. Tratamentos da fase definitiva da pesquisa	29
Tabela 8. Temperatura e umidade relativa do ar ambiente e temperatura da água usada na umidificação durante a execução da pesquisa	48
Tabela 9. Cálculo da capacidade do reservatório de água para o sistema umidificador do fluxo de ar	49

1 RESUMO

A aplicação terrestre com assistência de ar é bastante difundida e tem sido incentivada devido ao potencial de maior eficiência quando comparada a aplicação terrestre convencional. Pulverizador com barra assistida a ar são amplamente utilizados em culturas de grandes extensões e em algumas situações de difícil penetração das gotas no dossel de culturas como soja e algodão. Entretanto, devido às grandes variações climáticas que ocorrem durante o período de aplicação, o rendimento operacional é prejudicado pelas paradas devido à baixa umidade relativa do ar e altas temperaturas. O objetivo deste trabalho foi pesquisar uma forma de umidificar o ar e avaliar a interferência desta umidificação na temperatura e umidade relativa na cortina de vento em pulverizador com tecnologia de assistência de ar. Os tratamentos corresponderam a diferentes ajustes e vazões de água de um dispositivo de umidificação, os quais foram relacionados às condições climáticas no momento da pesquisa. A pesquisa foi dividida em duas fases. Numa fase inicial exploratória o sistema de umidificação foi montado próximo a parede interna do duto de ar, pulverizando água com os bicos fixados a 45° em relação à direção do fluxo de ar. Nesta fase verificou-se que as gotas não seguiam o fluxo de ar, sendo direcionadas para a parede do duto, causando escorrimento e não obtendo alteração na temperatura e umidade na cortina de ar. Na segunda fase montou-se um ramal umidificador no centro do duto de ar, com os bicos pulverizando no sentido do fluxo. Os resultados mostraram que houve redução significativa da temperatura e aumento significativo da umidade relativa do ar na cortina de ar. A vazão de 0,48 L.min⁻¹ no sistema de umidificação proporcionou a melhor eficiência em relação à redução da temperatura na cortina de ar, resultando na redução média de 2,52°C quando comparado com a

barra assistida a ar sem umidificação. A umidificação aumentou a umidade relativa do ar na cortina de ar em 6,59%, sendo esta a máxima alteração resultante da umidificação injetando 1,92 L.min.⁻¹. Entretanto, apesar da eficiência na modificação da umidade relativa do ar e da temperatura, a umidificação do fluxo de ar causou molhamento do duto e escorrimento de água no centro da barra de pulverização. Sugere-se a continuação de estudos para que este problema seja resolvido, possibilitando a viabilização da avaliação do sistema em nível de campo.

Optimization of air assistance technology in boom sprayer through humidification of the air flow. Botucatu, 2012. 61 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.
Author: WILSON MARCOS STANISLAVSKI
Adviser: ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

2 SUMMARY

Air assisted ground applications are widespread and have been encouraged due to the potential for greater efficiency when compared to conventional ground application. Sprayers with air-assisted boom are widely used in large-area cultures and in some situations of difficult penetration of droplets in the canopy of cultures, such as soybean and cotton. However, due to large climatic variations that occur during the application period, the operational return is affected by interruptions caused by low relative air humidity and high temperatures. This study aimed to investigate a way to humidify the air and to assess the interference of this humidification in the temperature and relative humidity in the air flow of air-assisted sprayers. The treatments corresponded to different water adjustments and flow rates of a humidification device, which were related to climatic conditions at the time of the survey. The study was divided into two phases. In an initial exploratory phase, the humidification system was mounted near the intern wall of the air duct, spraying water with nozzles set at 45° in relation to the direction of the air flow. At this stage, it was verified that the droplets did not follow the air flow, being directed towards the duct wall causing dripping and getting no alteration in temperature and in humidity of the air flow. In the second stage, a humidifier extension was mounted in the center of the air duct, with nozzles spraying in the flow direction. Results showed a significant reduction in temperature and a significant increase in the relative humidity of the air flow. A flow rate of 0.48 L.min.⁻¹ in the humidification system provided the best efficiency regarding temperature reduction in the air flow, resulting in an average reduction of 2.52° compared to the air-assisted boom without humidification. The

humidification increased the air relative humidity in the air flow in 6.59%, which is the maximum change resulting from humidification, injecting $1.92 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$. However, despite the efficiency in the modification of air relative humidity and temperature, humidification of the air flow caused duct wetting and water dripping in the center of the spray boom. Further studies are suggested to solve this problem, enabling the system evaluation at field level.

Keywords: sprayer, boom air-assisted

3 INTRODUÇÃO

A assistência de ar em pulverizadores de barras possibilita a redução da deriva em pulverização com vento em velocidades maiores do que 10 km.h^{-1} , sendo esta a velocidade do vento máxima recomendada para a aplicação. Entretanto, devido às grandes variações climáticas que ocorrem durante o período de aplicação, o rendimento operacional pode ser prejudicado pelas paradas do trabalho devido à baixa umidade relativa do ar e altas temperaturas.

Um dos principais fatores para aumentar o rendimento da pulverização está embasado na redução do volume de aplicação. No entanto para manter a mesma cobertura do alvo com menor volume de aplicação é necessário reduzir o tamanho de gotas tornando-as assim mais suscetíveis a perda por evaporação e deriva pelo vento. Uma maneira de reduzir a perda por evaporação é realizar a pulverização em condições climáticas favoráveis como, baixa temperatura e alta umidade relativa do ar. Com a umidificação da cortina de ar tem-se a possibilidade de criar um microclima no momento da aplicação que pode influenciar na redução da evaporação das gotas, desta forma, um pulverizador com barra assistida a ar poderia ser explorado para obter maior eficiência nas aplicações em condições menos favoráveis dos três principais fatores climáticos que mais afetam a pulverização: temperatura, umidade relativa do ar e vento.

Poucos estudos foram publicados com relação a influência da umidade e temperatura no fluxo de ar dos pulverizadores de barra dotados desta tecnologia. Por este motivo, esta pesquisa tem como proposta caracterizar as condições normais de temperatura e umidade na saída do vento do sistema de barra assistida a ar e medir as alterações nestes

parâmetros após a adição de água no fluxo de ar. Com a umidificação do ar, espera-se que ocorra aumento da umidade relativa e redução da temperatura, diminuindo-se a perda por evaporação de gotas menores, aumentando o tempo de vida da gota e, conseqüentemente, obtendo maior tempo para absorção do produto. Espera-se, portanto, melhor eficiência da pulverização, além de aumentar o tempo disponível para as pulverizações.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema para umidificar o ar em pulverizador de barras com assistência de ar e avaliar a interferência desta umidificação na temperatura e umidade relativa na cortina de vento no momento da aplicação.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Tecnologia de aplicação com barra assistida a ar

Segundo Koch (1997) a tecnologia de barra assistida a ar se caracteriza por apresentar uma cortina de ar de alta velocidade incidente sobre o jato de pulverização. Essa cortina de ar tem a função de aumentar a velocidade vertical das gotas, promovendo assim maior penetração de calda nas plantas, melhor distribuição dessa calda no perfil vertical (SCUDELER, 2005) e redução da deriva (BAUER e RAETANO, 2000).

Segundo Matthews (1992) os pulverizadores de barra assistida a ar oferecem a oportunidade de lançar as gotas finas para a parte interna das plantas por variação da altura da barra e velocidade do vento. Além disso, o ar movimenta as folhas das plantas expondo partes baixas à maior quantidade de defensivos agrícolas do que a aplicação convencional, e o movimento transversal da pulverização na copa das plantas aumentam a probabilidade do defensivo agrícola ser depositado na base da planta.

A assistência de ar em pulverizador de barras melhora a penetração das gotas de pulverização, principalmente em culturas altas e com alta densidade foliar, além de reduzir a deriva (KOCH, 1997).

Para Sartori (1997) a introdução dessa tecnologia nos pulverizadores de barra surgiu como ótima ferramenta para melhorar a qualidade da aplicação através da utilização de gotas menores e em maior número, aumentar o rendimento devido à redução de volumes e reabastecimentos. O autor afirma também que a velocidade do vento da máquina é maior que o vento ambiente proporcionando redução da deriva e extensão dos horários de pulverização.

Segundo Pontelli et al. (2008) os resultados de dezenove trabalhos técnicos e científicos a respeito do desempenho da tecnologia de aplicação de defensivos com barra assistida a ar foram sumarizados em um único grande experimento, os quais foram submetidos a técnicas estatísticas de meta-análise, geraram um intervalo de confiança com uma precisão satisfatória, indicando que a tecnologia de barra assistida a ar possibilita aumento na eficiência da aplicação, com incrementos entre 1,1 a 69,9% de deposição.

Conforme Máquinas Agrícolas Jacto SA (2005) o sistema de barra assistida a ar permite o uso de pontas com gotas pequenas, mais favoráveis à penetração no interior da copa das plantas, minimizando a ação da deriva sobre essas gotas que são mais sensíveis a condições climáticas adversas como a ação dos ventos naturais, altas temperaturas e baixas umidades. A barra assistida a ar gera uma cortina de ar com velocidade de aproximadamente 100 km.h⁻¹ e minimiza a influência das condições climáticas pela ação positiva de carregar as gotas rapidamente para o interior da copa das plantas e ao mesmo tempo proteger as gotas contra a ação do vento natural. São verificados aumento da capacidade produtiva diária do pulverizador quando se utiliza esta tecnologia, que proporciona mais disponibilidade de trabalho e também os baixos volumes de aplicação, reduzindo o tempo gasto em abastecimentos do pulverizador.

Para Bauer e Raetano (2000) os resultados comparativos entre o pulverizador convencional e o provido de assistência de ar junto à barra de pulverização mostraram que não houve diferença significativa na deposição de calda na parte superior das plantas de soja, mas houve diferença significativa nos depósitos obtidos nos terços médio e inferior, com vantagem para o equipamento com assistência de ar. A deriva também foi consideravelmente maior para o equipamento convencional nas mesmas condições climáticas. As perdas para o solo, não apresentaram diferenças estatísticas.

Segundo Antuniassi (2004) a assistência de ar utilizada em pulverizadores de barra é uma técnica avançada, atualmente disponível aos agricultores. A utilização desta tecnologia em barras de pulverização pode reduzir o risco de deriva, assim como melhorar a deposição e a cobertura, dependendo do estágio de desenvolvimento da cultura e quantidade de massa foliar. Em geral, os resultados de pesquisa comparando eficiência de deposição de gotas entre barra convencional e assistida a ar tem mostrado que a assistência de ar ajuda a reduzir a deriva para aplicações com gotas pequenas em condições

climáticas desfavoráveis, principalmente para vento acima do recomendado, além de melhorar a deposição nas partes inferiores de plantas de maior porte. Entretanto, para plantas de menor porte, o sistema pode não trazer vantagens, ou ainda, até aumentar a perda de calda para o solo.

Segundo Baesso (2009), de maneira geral, a assistência de ar na barra melhorou a cobertura do alvo e a densidade de gotas por cm^2 de folha aumentou significativamente nas partes medianas e inferiores do feijoeiro. A produtividade aumentou de 2.509,80 para 2.820,00 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ com a assistência de ar na barra com um volume de aplicação de 200 $\text{L} \cdot \text{ha}^{-1}$. Tanto o aumento do volume de aplicação quanto a assistência de ar na barra proporcionaram melhor penetração da calda no dossel do feijoeiro.

Matthews (2000) relata que em solo nu, sem vegetação, a assistência de ar pode aumentar a deriva com a deflexão do ar proveniente do pulverizador pelo solo. Verifica-se efeito contrário na presença de vegetação com o impacto das gotas na superfície foliar.

O uso da assistência de ar combinado com a angulação dos jatos de pulverização pode otimizar os níveis dos depósitos da pulverização na superfície abaxial das folhas, principalmente na parte inferior das plantas, proporcionando melhor controle das doenças (RAETANO e MERLIN, 2006; VENEGAS et al. 2003; SCUDELER, 2005).

Para Navitski (2010) as vantagens da assistência de ar são a diminuição do efeito do vento ambiente na direção da gota, aumento da penetração, deposição e uniformidade de distribuição, além da possibilidade de redução de dose em casos especiais.

A redução no volume de aplicação pode aumentar o rendimento operacional dos equipamentos aplicadores mantendo a mesma eficiência dos defensivos agrícolas. Ao utilizar a redução do volume de aplicação aumentando a capacidade operacional dos equipamentos aplicadores, exige-se a redução do tamanho de gotas para manter a mesma cobertura na pulverização. Mais importante do que aplicar um determinado volume de calda por área é distribuí-lo de maneira uniforme, certificando-se de que todas as partes receberam quantidades semelhantes do defensivo (RAMOS, 2000).

4.2 Condições climáticas

Conforme Tubelis (1980) a umidade do ar é a água na fase de vapor, que existe na atmosfera. Suas fontes naturais são superfícies do solo, água, gelo, neve, vegetais e animais oriundos pelos processos físicos de evaporação, sublimação e transpiração. A forma de expressar vapor de água no ar é através da umidade absoluta que é a quantidade de água existente no ar, determinada pela massa de água por volume de ar. A relação percentual entre a concentração de vapor de água no ar e a concentração de saturação, na mesma pressão e temperatura do ar, é definida como umidade relativa do ar. A umidade relativa do ar apresenta um curso inverso à temperatura do ar, quanto maior a temperatura, menor a umidade relativa do ar. Isto ocorre devido à umidade relativa ser inversamente proporcional a tensão de saturação de vapor de água, que por sua vez é diretamente proporcional á temperatura. A umidade relativa do ar também sofre alteração devido à altitude ou pressão atmosférica, quanto maior a altitude menor a pressão atmosférica e menor a umidade relativa do ar.

A diferença entre a temperatura medida no termômetro de bulbo úmido e a temperatura ambiente, medidos à sombra em local ventilado e protegido de precipitação pluviométrica, é denominada depressão psicrométrica e é diretamente proporcional a quantidade de evaporação e inversamente proporcional à umidade do ar. Um método para determinar a umidade relativa do ar é o método tabular, denominadas Tabelas psicrométricas, onde utilizam valores de depressão psicrométrica e temperatura no termômetro de bulbo úmido com o auxílio de um termohigrômetro. O termohigrômetro fornece os valores de temperatura e umidade relativa do ar e a umidade relativa do ar não necessita de correção, pois a altitude não afeta a medida (TUBELIS, 1980).

Ometto (1981) afirmou que o vapor da água é um dos constituintes variáveis do ar atmosférico, chegando a ter até 4% em volume. Esse volume é determinado pela temperatura do ambiente, pois a capacidade da concentração do vapor da água na atmosfera é função do ar. O vapor da água oriundo da superfície do solo tem a sua máxima concentração próxima ao solo e diminui à medida que se afasta da superfície.

Ruedell (2002) descreveu que a pulverização deve ser evitada quando a temperatura for inferior a 10 °C ou superior a 35 °C, alertando, que a temperatura ideal para a aplicação da maioria dos produtos fitossanitários situa-se ente 20 e 30 °C.

Ao estudar as condições climáticas na deposição das gotas, Balan et al. (2008) avaliaram a variação da deposição do volume de pulverização com pontas de jato cônico vazio, jato plano e pontas antideriva nas diferentes horas do dia em que apresentou variação da umidade e temperatura. Os autores constataram menor deposição em torno das 15 horas, com a ponta de jato cônico, em temperatura próxima de 30°C e umidade relativa do ar próxima de 50%, condição muito favorável à evaporação. Houve variação de deposição de mais de 100 % entre os períodos de coleta, enquanto as outras duas pontas não sofreram variações expressivas, mantendo-se aproximadamente a mesma deposição. Os autores atentaram-se ao fato de que, talvez essa semelhança de deposição entre as pontas de jato plano e ponta antideriva pode ter sido devido à ausência de vento no dia da aplicação.

Matuo (1990) recomendou que as aplicações de defensivos fossem feitas pela manhã e ao final da tarde, quando a temperatura não é muito elevada para evitar perdas por evaporação, evitando assim desperdícios.

Segundo Ruedell (2002), dentre os fatores ambientais, a umidade relativa do ar é a que mais influencia a ação dos defensivos. Numa pulverização, as gotas necessitam percorrer uma distância em torno de 0,5 m até atingir o alvo e, neste percurso, a gota sofre grande influência dos fatores ambientais, principalmente pela umidade relativa, que tem importância decisiva no tempo de vida desta gota. Dependendo da ponta e pressão, gotas menores que 100 μm podem compor até 30% do volume total e são estas gotas que sofrem mais com as condições meteorológicas. Dessa forma recomenda-se que a pulverização seja paralisada quando a umidade relativa for inferior a 50%.

Para Antuniassi (2005), o sucesso de uma aplicação de defensivos agrícolas está muitas vezes condicionado à adequação da tecnologia de aplicação às condições climáticas no momento em que ela é realizada. As condições ideais para uma pulverização são umidade relativa superior a 55% e temperatura ambiente menor que 30 °C. No caso de vento, o ideal é que as aplicações sejam realizadas com vento entre 3 e 10 km h^{-1} . A ausência total de vento também pode ser prejudicial, em função da probabilidade de ocorrer inversão térmica, dificultando a deposição das gotas pequenas. Isso ocorre quando a pulverização é realizada utilizando-se gotas finas a muito finas podendo não haver energia suficiente para a deposição sobre o alvo a ser controlado.

Coutinho, et al. (2002) recomendaram pulverizar com vento máximo de 15 km.h^{-1} com pontas de indução de ar formando gotas grossas e muito grossas, 9 km.h^{-1} com pontas de pré-orifício formando gotas grossas e médias, 6 km.h^{-1} com pontas de leque comum formando gotas médias e finas.

Segundo Matthews (1992) a velocidade que o tamanho da gota decresce é muito rápida em condições de alta temperatura e baixa umidade do ar. A maioria das gotas menores do que $70 \mu\text{m}$ são carregadas horizontalmente pelo fluxo de vento a mais de 100 m de distância quando a velocidade do vento é baixa. Basicamente os fatores meteorológicos que afetam o movimento das gotas são a temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e direção do vento.

Ozkan (1997) descreveu que o aumento da temperatura afeta a deriva pelo aumento da volatilidade dos líquidos. O autor demonstra que gotas maiores que $200 \mu\text{m}$ são pouco influenciadas pelo aumento de temperatura entre 10 e $30 \text{ }^\circ\text{C}$, a uma umidade relativa de 50%.

Riley e Wiesner (1999) verificaram que a taxa de evaporação da gota é mais afetada se pulverizar com gotas finas em baixa umidade relativa e em elevadas temperaturas, concordando com Matthews (2000), que descreve que a taxa de evaporação da gota é influenciada pela saturação do ar ao redor da gota. Riley e Wiesner (1999) verificaram também que o tamanho das gotas e a velocidade de sedimentação são influenciados pela evaporação da gota que a torna mais propensa para a ocorrência de deriva. Os autores relatam que gotas maiores que $150 \mu\text{m}$ normalmente atingem o alvo antes de seu tamanho diminuir significativamente para serem evaporadas.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Locais

O experimento com o pulverizador foi realizado no Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agrofloretais (NEMPA), Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Campus de Botucatu, Estado de São Paulo.

As medições de vazão e ângulo das pontas de pulverização foram realizadas na bancada de vazão do Laboratório de Pulverização, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento – P&D da empresa Máquinas Agrícolas Jacto S/A, Distrito de Paulópolis, Município de Pompéia, Estado de São Paulo.

As medições de tamanho de gotas das pontas de pulverização foram realizadas no Laboratório de Análise do Tamanho de Partícula (LAPAR), localizado no Departamento de Fitossanidade da FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal, Estado de São Paulo.

5.2 Características da ponta de pulverização para injetar água no fluxo de ar

Nos dispositivos de umidificação do fluxo de ar do pulverizador foram utilizadas pontas do tipo cone vazio, modelo Misting, fabricados pela Arag Spray Jets. Estas pontas são comumente usadas para nebulização de ambientes. A caracterização das pontas foi realizada através da medição de vazão, ângulo do leque e espectro de gotas.

A medição da vazão das pontas de pulverização (Tabela 2) foi realizada individualmente usando 10 pontas nas pressões de 344,74 kPa (50 psi), 689,48 kPa (100 psi) e 1034,22 kPa (150 psi). O manômetro utilizado na bancada de testes tem escala máxima de 300 psi, graduação de 2 psi, 150 mm de diâmetro, marca Wika.

Para coletar o volume pulverizado, demonstrados na Tabela 1, utilizou-se uma proveta com escala graduada de 2 mL e volume máximo de 200 mL. A coleta da vazão foi feita em um minuto com o auxílio de cronômetro digital.

Tabela 1. Vazão da ponta de pulverização utilizada no dispositivo de umidificação ($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$).

Peças	Pressões		
	345 kPa	689 kPa	1034 kPa
1	92	132	184
2	88	116	148
3	92	120	154
4	90	118	152
5	92	130	182
6	90	124	158
7	90	118	154
8	90	118	152
9	92	124	158
10	90	122	154
Média	91 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$	122 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$	160 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$
DP	1,35	5,37	12,68
CV	1,49 %	4,40 %	7,94 %

Para caracterizar a abertura do leque das pontas usadas na injeção de água no fluxo de ar foram medidos na bancada de vazão o ângulo de pulverização de 10 peças, sendo estas as mesmas usadas na medição da vazão. As pressões usadas foram 344,74 kPa, 689,48 kPa e 1034,22 kPa. As medições foram realizadas com o auxílio de um transferidor, posicionando as hastes nos limites bem definido do jato de pulverização, verificando o ângulo do jato, conforme ilustração da Figura 1, compilado da norma ISO 5682-1- 1996.

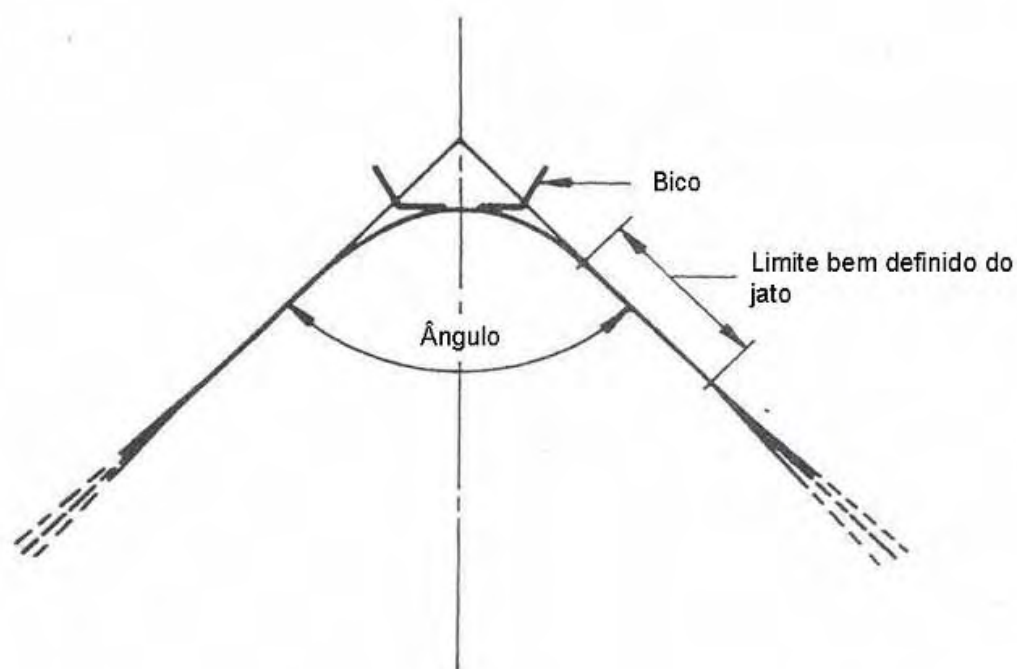


Figura 1. Ilustração da medição do ângulo de pulverização da ponta

Tabela 2. Ângulo de pulverização das pontas utilizadas no dispositivo de umidificação

Peças	Pressões		
	345 kPa	689 kPa	1034 kPa
1	115	115	115
2	111	113	113
3	116	116	116
4	118	116	116
5	104	106	102
6	110	108	105
7	109	114	114
8	104	100	95
9	120	120	120
10	117	100	95
Média (graus)	112	111	109
DP	5,68	6,96	9,15
CV	5,05 %	6,28 %	8,38 %

O espectro de gotas foi determinado utilizando-se um equipamento analisador de partículas em tempo real Mastersizer S da Malvern Instruments (Figura 2), baseado na metodologia descrita por Camara et al., (2008) Com a técnica de difração do raio laser o equipamento mensura o tamanho das partículas que são formadas pelas gotas da pulverização, através do desvio da trajetória do mesmo ao atingir estas partículas. O desvio do laser é inversamente proporcional ao tamanho da partícula, ou seja, quanto menor é a partícula, maior é o grau de difração sofrido pelo raio laser (ETHERIDGE et al., 1999).

O equipamento é composto por um feixe de raio laser de 10 mm de diâmetro, comprimento de onda de 670 nm, lente focal de 200 mm e uma ponte óptica de base longa e foi ajustado para avaliar gotas de 0,5 a 900 μm (lente 300 mm) e interligado com um computador central que armazena os dados analisados por meio do software Mastersizer-S v.2.19. Cada leitura do laser é realizada a cada 2 milissegundos, totalizando 500 leituras por segundo (CAMARA et al., 2008).

O equipamento possui um exaustor do tipo coifa, localizado sobre o Mastersizer que retira as partículas em suspensão, evitando deposições sobre a lente do aparelho ou duplas leituras do laser, proporcionando exatidão na análise (FERREIRA et al., 2007).

As variáveis obtidas com as análises deste equipamento são: DV0,1 (diâmetro de gota tal que 10% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor), DV0,5 (diâmetro de gota tal que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor) e DV0,9 (diâmetro de gota tal que representa que 90% do volume pulverizado são de tamanho menor que esse valor de diâmetro de gota).

Foram utilizadas as pressões de 345 kPa, 689 kPa e 1034 kPa fornecidas por um sistema de ar comprimido, controlado com um regulador de pressão de precisão (aproximadamente 7 kPa de precisão). Para que o jato de pulverização atravessasse transversalmente o laser durante as leituras do aparelho utilizou-se um oscilador movimentando a ponta, possibilitando uma amostragem de todo o jato pulverizado.



Figura 2. Analisador de partículas Mastersizer.

Analisando as características da ponta de pulverização, demonstrados nas Tabelas e Figuras 3, 4 e 5, decidiu-se utilizar a pressão de 1.034 kpa principalmente devido nesta pressão as gotas possuem diâmetro mediano volumétrico médio de $69,75 \pm 7,47 \mu\text{m}$, sendo este o menor tamanho de gotas apresentado pelo modelo utilizado. Com as gotas menores a umidificação é melhorada por serem carregadas mais facilmente pelo fluxo de ar.

Tabela 3. Valores de diâmetro mediano volumétrico (DMV), desvio padrão e intervalo de confiança (IC) ao nível de 95%.

Pressão	Ponta	Repetições			Média (μm)	Desvio padrão	IC
		1	2	3			
345 kPa	1	97,32	103,58	92,34	97,75	2,43	$\pm 2,76$
	2	100,32	102,51	99,39	100,74		
	3	94,40	97,58	95,77	95,92		
	Média				98,13		
689 kPa	1	81,00	81,17	78,66	80,28	3,60	$\pm 4,08$
	2	80,59	77,88	81,27	79,91		
	3	73,50	72,94	75,15	73,86		
	Média				78,02		
1034 kPa	1	63,51	60,78	66,49	63,59	6,60	$\pm 7,47$
	2	64,98	67,98	73,88	68,95		
	3	73,37	79,12	77,66	76,72		
	Média				69,75		

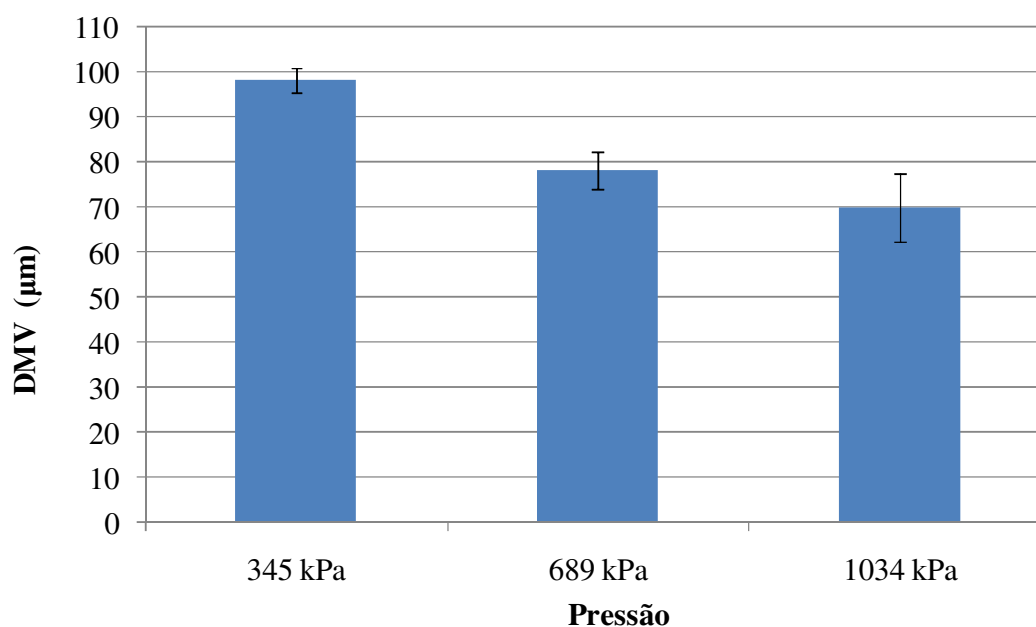


Figura 3. Valores de diâmetro mediano volumétrico (DMV) em três pressões. Para a comparação dos resultados, as colunas representam os valores médios e as linhas verticais indicam o Intervalo de Confiança ao nível de 95%.

Tabela 4. Valores do diâmetro de 10% do volume acumulado (DV 0,1), desvio padrão e intervalo de confiança (IC) ao nível de 95%.

Pressão	Ponta	Repetições			Média (μm)	Desvio padrão	IC
		1	2	3			
345 kPa	1	56,30	65,08	52,64	58,01	2,13	$\pm 2,41$
	2	56,59	66,02	63,97	62,19		
	3	54,48	53,79	70,11	59,46		
	Média				59,89		
689 kPa	1	48,06	47,36	47,49	47,64	4,41	$\pm 4,99$
	2	49,01	45,51	46,79	47,10		
	3	38,53	36,11	44,61	39,75		
	Média				44,83		
1034 kPa	1	31,62	30,57	35,35	32,51	3,42	$\pm 3,87$
	2	35,24	39,45	38,79	37,83		
	3	34,79	39,97	41,95	38,90		
	Média				36,41		

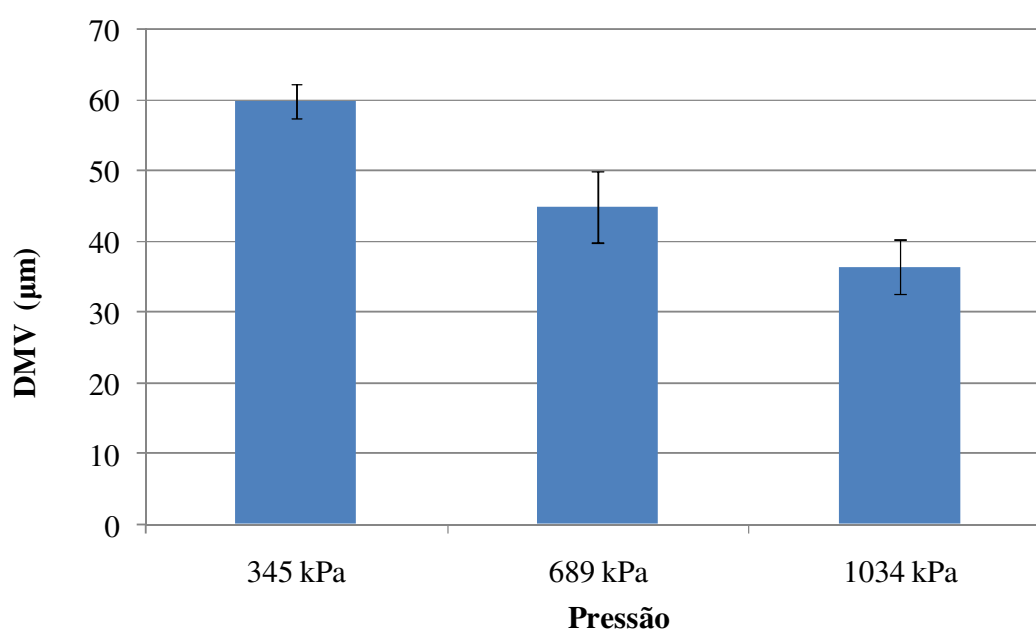


Figura 4. Valores do diâmetro de 10 % do volume acumulado (DV 0,1) em três pressões. Para a comparação dos resultados, as colunas representam os valores médios e as linhas verticais indicam o Intervalo de Confiança ao nível de 95%.

Tabela 5. Valores do diâmetro de 90% do volume acumulado (DV 0,9), desvio padrão e intervalo de confiança (IC) ao nível de 95%.

Pressão	Ponta	Repetições			Média (μm)	Desvio padrão	IC
		1	2	3			
345 kPa	1	153,21	153,91	147,15	151,42	1,31	$\pm 1,48$
	2	159,08	148,71	143,73	150,51		
	3	159,47	156,00	131,06	148,84		
	Média				150,26		
689 kPa	1	123,90	125,09	118,78	122,59	0,42	$\pm 0,48$
	2	120,49	119,30	125,45	121,75		
	3	124,34	127,57	114,65	122,19		
	Média				122,17		
1034 kPa	1	109,12	103,42	108,06	106,87	10,47	$\pm 11,84$
	2	105,75	105,87	121,44	111,02		
	3	126,07	130,03	124,04	126,71		
	Média				114,87		

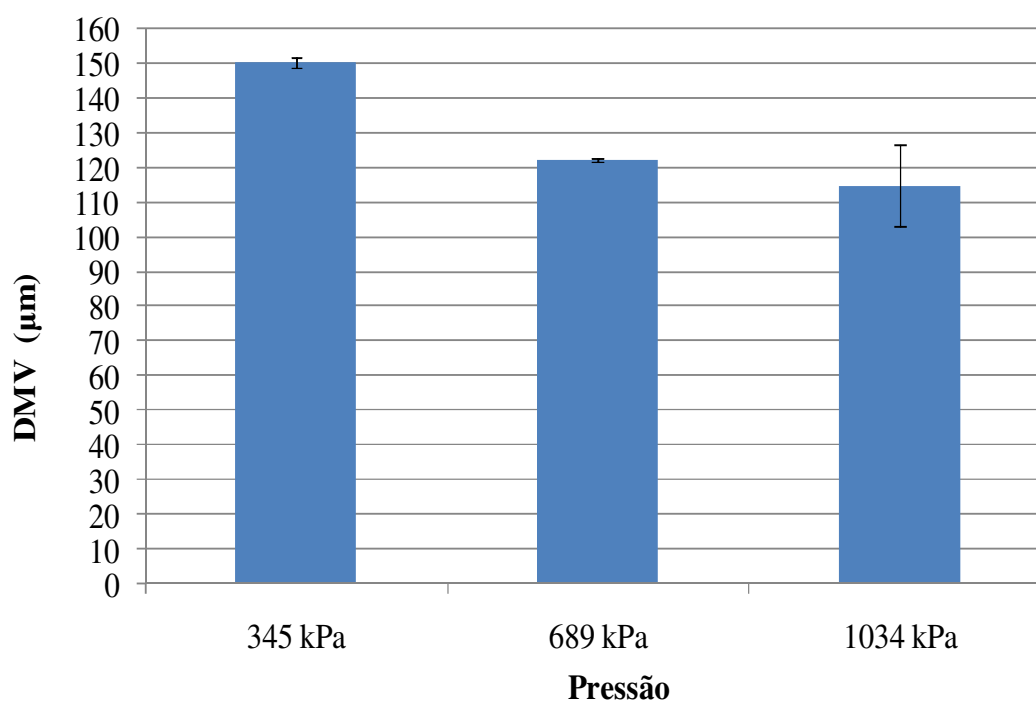


Figura 5. Valores do diâmetro de 90 % do volume acumulado (DV 0,9) em três pressões. Para a comparação dos resultados, as colunas representam os valores médios e as linhas verticais indicam o Intervalo de Confiança ao nível de 95%.

5.3 Especificações do pulverizador

Foi utilizado um pulverizador modelo Falcon Vortex (Figura 6), fabricado pela empresa Máquinas Agrícolas Jacto S/A, com as seguintes especificações técnicas:

Reservatório de defensivo	Capacidade (litros)	600
	Material	Polietileno
Bomba de pulverização	Modelo	JP-75
	Capacidade de recalque ($L \cdot \text{min}^{-1}$)	75
	Pressão máxima de trabalho (kPa)	2756
	Potência consumida	2,3 CV com a bomba a 1034 kPa
Manômetro	Modelo	com escala estendida
	Escala máxima	2068 kpa
Comando de pulverização	Modelo	Masterflow (retorno calibrado)
	Quantidade segmentos	4
Barras	Comprimento	14,0 m
	Acionamento	Hidráulico
	Altura de trabalho	0,50 a 1,30 m
Ventilador	Rotação nominal	2800 rpm
	Volume do ar	$533 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ ou $32000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
	Velocidade do ar	$100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (barra totalmente aberta)
	Consumo de potência	21,3 HP



Figura 6. Pulverizador Falcon Vortex

5.4 Medições de temperatura da água utilizada na umidificação

Considerando-se a possibilidade de interferência da temperatura da água utilizada na umidificação na temperatura e umidade relativa na cortina de ar, utilizou-se um termômetro de contato, marca Fluke, modelo 52 II com precisão de $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ para determinação da temperatura da água dentro do reservatório.

5.5 Termohigrômetro

Nas medições de temperatura e umidade relativa do ar, tanto ambiente quanto na cortina de ar foram realizadas com um termohigrômetro digital marca Dwyer, modelo 485-1, fabricado pela Dwyer Instruments, Inc. Este termohigrômetro possui sensor de umidade relativa do ar com escala de 0 a 100%, acurácia $\pm 2\%$, resolução 0,1%. O sensor de temperatura possui escala de -30 a 85°C , acurácia $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e resolução de $0,1^{\circ}\text{C}$.

5.6 Umidificação do fluxo de ar

A injeção de água pulverizada no fluxo de ar pelo ramal umidificador foi realizada utilizando o circuito hidráulico do próprio equipamento. Isso foi possível porque durante as medições a pulverização estava fechada, portanto, foi desviado o fluxo que deveria seguir do comando de pulverização aos ramais de pulverização nas barras para os ramais umidificados localizados no duto de ar. A pressão foi monitorada pelo comando de pulverização do equipamento. O comando de pulverização do equipamento possui quatro segmentos com retorno calibrado, portanto, é possível abrir apenas um ou dois segmentos que estavam ligados no dispositivo umidificador. O modelo de comando de pulverização do equipamento permite pressão constante independente da quantidade de segmentos abertos.

As medições de temperatura e umidade relativa na cortina de ar foram realizadas com o equipamento funcionando em rotação nominal na tomada de força, ou seja, 540 rotações por minuto (rpm), conseqüentemente 2.800 rpm no ventilador, gerando vento a 100 km.h^{-1} na saída do ar pela canaleta.

As medições de temperatura e umidade relativa do ar foram realizadas no centro da cortina de ar formada pelo sistema de barra assistida a ar em três distâncias da saída de canaleta, sendo, logo após a saída do ar da canaleta, 0,25 m e 0,50 m da canaleta de ar, conforme a Figura 7.

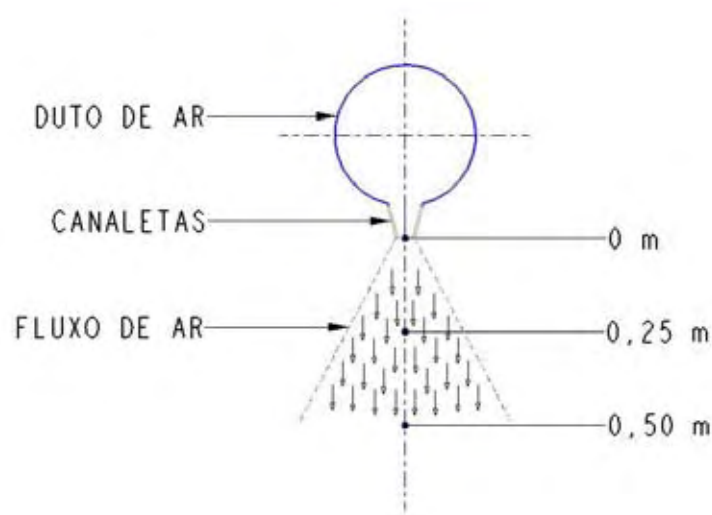


Figura 7. Pontos de medições em relação à cortina de ar

Com relação aos pontos de medição ao longo da barra, planejou-se medir no centro do pulverizador, 1,0 m para a direita e 1,0 m para a esquerda do centro da máquina, estes pontos correspondem à extremidade direita e esquerda da barra central, respectivamente. Foram medidos também no centro e na extremidade da barra direita (Figura 8).

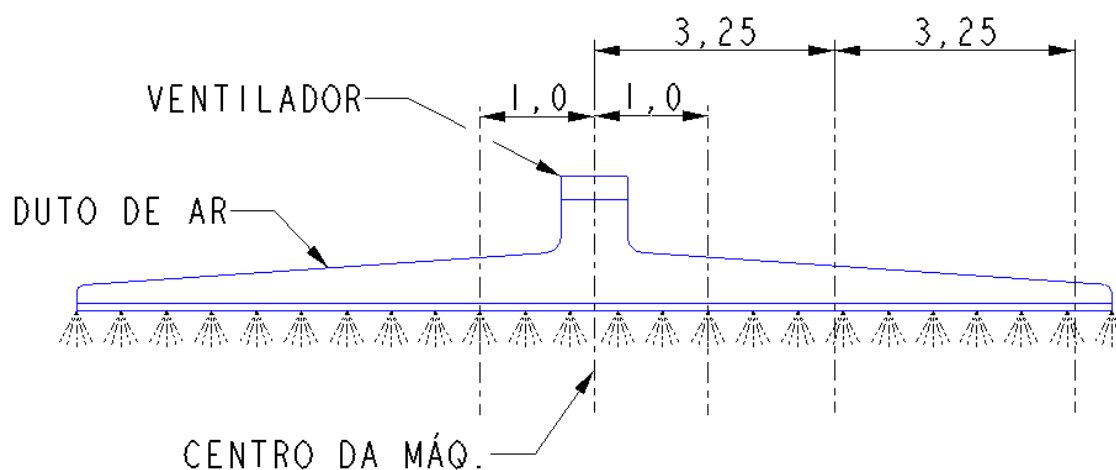


Figura 8. Pontos de medições em relação à largura da barra

Foram utilizados suportes fixados na barra de pulverização para posicionar o termohigrômetro conforme os pontos predeterminados das medições, possibilitando as repetições de medidas sempre no mesmo ponto. Este suporte não poderia interferir no fluxo de ar nem alterar as temperatura e umidade relativa da cortina de vento, evitando alterar os resultados.

Utilizaram-se dois locais de injeção de água na forma pulverizada no fluxo de ar sendo no duto após o ventilador e no início da barra direita, conforme demonstra a Figura 9.

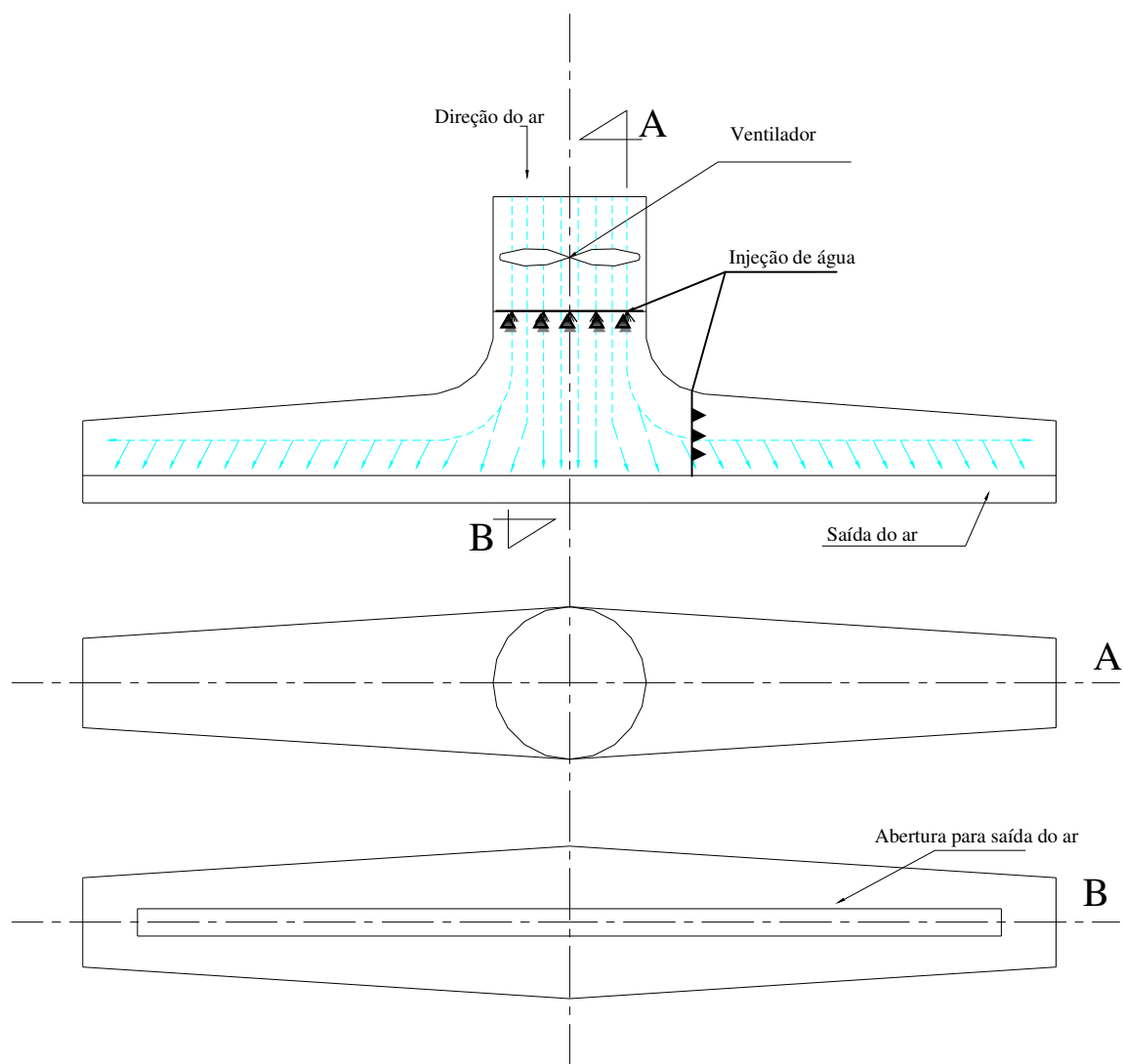


Figura 9. Locais de injeção de água no fluxo de ar

5.7 Fases da pesquisa

A pesquisa foi dividida em duas fases sendo que a primeira fase foi chamada de fase exploratória e teve como objetivo desenvolver um sistema de umidificação explorar o funcionamento no fluxo de ar do pulverizador, levantando informações que serviriam de base para a segunda fase, chamada de fase definitiva. A fase definitiva foi realizada seguindo critérios com possibilidade de avaliar estatisticamente os resultados.

5.7.1 Fase exploratória

Para definir o local de injeção de água de forma pulverizada no fluxo de ar, inicialmente foram pesquisados os seguintes locais para montagem do ramal umidificador:

I – No duto de ar central, logo após o ventilador com ramal próximo a parede interna do duto, pulverizando à 45° para o centro (Figura 10).

II – No duto de ar da barra direita com ramal próximo a parede interna do duto, pulverizando a 45° no sentido do fluxo de ar.

Foi realizada a pesquisa umidificando somente o duto de ar da barra direita. Entende-se que a barra esquerda é simétrica à direita, podendo extrapolar os resultados para o outro lado da barra.

Na fase exploratória da pesquisa utilizaram-se ramais para injetar água pulverizada no fluxo de ar, da parte externa para interna do duto. Foram utilizados ramais de aço inox circular com diâmetro externo de 600 mm, tubo com diâmetro de 190,5 mm, 20 porta bicos distanciados 90 mm entre si, direcionados para a parte interna do ramal com ângulo de 45° em relação ao centro do ramal. Foram instalados dois ramais no pulverizador, mas efetivamente utilizou-se apenas um deles.



Figura 10. Ramal umidificador da fase exploratória montado no fluxo do ar

Para obter diferentes vazões com a mesma pressão, substituiu-se a ponta de pulverização por disco plástico, comercialmente conhecido por chapa cega, vedando a vazão no bico. Dessa forma foi possível manter o mesmo espectro de gotas em todos os tratamentos, com um número menor de bicos.

No início da barra direita foi utilizado um ramal circular com diâmetro externo semelhante ao diâmetro do duto de ar com 10 porta bicos equidistantes, direcionados para a parte interna do ramal com ângulo de 45° em relação ao centro do ramal.

Foram realizados oito tratamentos com diferentes vazões no ramal umidificador, conforme a Tabela 6.

Tabela 6. Tratamentos realizados na fase exploratória da pesquisa.

Tratamento	I (testemunha)	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Total de bicos	0	20	20	10	10	4	3	2
Bicos no duto central	0	20	10	10	5	4	1	1
Bicos no duto da barra direita	0	0	10	0	5	0	2	1
Pressão (kpa)	sem	1034	1034	1034	1034	1034	1034	1034
Vazão total (L.min ⁻¹)	0	3,20	3,20	1,60	1,60	0,64	0,48	0,32
Vazão duto central (L.min ⁻¹)	0	3,20	1,60	1,60	0,80	0,64	0,16	0,16
Vazão no duto da barra direita (L.min ⁻¹)	0	0	1,60	0	0,80	0	0,32	0,16
Locais dos ramais umidificadores	sem	Duto central	Duto central + Barra direita	Duto central	Duto central + Barra direita	Duto central	Duto central + Barra direita	Duto central + Barra direita

5.7.2 Fase definitiva

Baseado nos resultados da pesquisa na fase exploratória realizou-se a fase definitiva seguindo critérios com possibilidade de avaliar os resultados estatisticamente.

Nesta fase a injeção de água no duto de ar foi através da montagem dos ramais posicionados no centro do duto logo após o ventilador, pulverizando em direção do fluxo de ar (Figura 11).

Os ramais utilizados possuíam formato circular com diâmetro de 145 mm com seis portas bico equidistantes, direcionado no sentido do fluxo de ar. Nos tratamentos com mais de seis bicos foram montados dois ramais encaixados de forma que os bicos fiquem equidistantes.



Figura 11. Ramal umidificador da fase definitiva montado no fluxo de ar

Utilizaram-se cinco tratamentos sendo uma testemunha e quatro vazões de água pulverizada no fluxo para umidificação do ar, apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Tratamentos da fase definitiva da pesquisa

Tratamento	A (testemunha)	B	C	D	E
Total de bicos	0	12	6	3	1
Pressão (kpa)	sem	1034	1034	1034	1034
Vazão total (L.min ⁻¹)	0	1,92	0,96	0,48	0,16

5.8 Procedimentos

Primeiramente foram realizados os ensaios da fase exploratória da pesquisa que serviram como base para o planejamento da fase definitiva.

Ao iniciar os trabalhos regulou-se a rotação na tomada de força do equipamento para trabalhar a 540 rpm com o auxílio de um fototacômetro digital.

Devido o circuito hidráulico utilizado para injetar a água pulverizada no fluxo de ar ser do próprio equipamento, foi realizada a calibração do comando de pulverização com retorno calibrado, dessa forma a pressão manteve-se constante independente da quantidade de ramais umidificadores que estavam abertos. No caso do tratamento com 12 pontas, usou-se dois ramais umidificadores, Neste caso, utilizaram-se dois segmentos da pulverização, ou seja, cada ramal umidificador estava ligado em um segmento do comando de pulverização da máquina. No caso de tratamentos com quantidade de bicos menor do que o total dos bicos dos ramais fechou-se os bicos em excesso com discos de vedação.

As medições de temperatura e umidade relativa na cortina de ar foram realizadas com o sistema de pulverização da máquina fechada.

Foram montados os ramais para injetar a água pulverizada no fluxo de do duto de ar. Montaram-se também os suportes na barra, indicando os pontos exatos das

medições em relação à largura da barra e a distância da canaleta. Desta forma foi possível realizar todas as medições com o sensor de temperatura e umidade relativa do ar do termohigrômetro na mesma posição.

Durante a pesquisa foram medidas a temperatura da água do reservatório, a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar ambiente.

Após ligar o ventilador do sistema de barra assistida a ar foi ligado à injeção de água pulverizando no fluxo de ar. No caso da testemunha, sem injeção de água, a medição de temperatura e umidade relativa do ar foi realizada com o sistema umidificador desligado.

Realizou-se as medições de temperatura e umidade relativa na cortina de ar posicionando o termohigrômetro nos pontos predeterminado indicados pelos suportes fixados na barra.

As medições foram realizadas evitando grande variação na temperatura e umidade relativa do ar ambiente, para eliminar alteração nestes parâmetros causados por fatores externos (temperatura e umidade relativa do ar ambiente).

Os dados da fase definitiva foram analisados estatisticamente através da comparação de médias com intervalo de confiança (IC). Utilizou-se IC de 95% de certeza, garantindo que estamos 95% certos de que o parâmetro da população real está dentro do nosso intervalo calculado. Em outras palavras, existem 95% de probabilidade de que a amostra que estamos utilizando para calcular intervalos de confiança nos ofereça um intervalo que inclua o parâmetro da população real. A equação 1 determina o intervalo de confiança para a média.

$$1,96. \left(\frac{s}{\sqrt{n}}\right) \quad (1)$$

Onde:

s = desvio padrão da amostra

n = tamanho da amostra

Compararam-se com a testemunha as quatro vazões no sistema umidificador de ar, cinco posições na barra, três distâncias em relação à saída do ar. Foram realizadas quatro repetições de medições da temperatura e umidade relativa do ar em cada ponto.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Resultados da umidificação com ramal próximo a parede interna do duto de ar - fase exploratória

Na fase exploratória a primeira umidificação realizada foi com o ramal montado próximo à parede interna do duto central pulverizando 45° para o centro, em direção do fluxo de ar. A vazão utilizada foi de 3,20 L.min⁻¹ com 20 pontas de pulverização trabalhando na pressão de 1.034 kpa. Observou-se que as gotas foram direcionadas para a parede do duto, molhando a parede interna e ocasionando escoamento da água pela canaleta de saída de ar da barra (Figura 12).

Na tentativa de reduzir o molhamento da parede e escoamento, dividiu-se a vazão em duas partes iguais em dois ramais umidificadores, sendo um no duto central e outro no início da barra direita (Figuras 13 e 14), no entanto, observou-se que continuou o escoamento logo após os pontos de injeção de água no fluxo de ar.

Continuando com o objetivo de evitar o molhamento da parede do duto e escoamento da água usada na umidificação realizou-se várias reduções de vazão nos ramais umidificadores sem obter sucesso. Constatou-se que escoamento impossibilitou as medições de temperatura e umidade da cortina de ar, concluindo-se que a umidificação com ramais próximos a parede interna do duto de ar seria impraticável.



Figura 12. Molhamento e escorrimento no duto de ar central na fase exploratória da pesquisa.



Figura 13. Molhamento e escorrimento no início do duto de ar da barra direita.



Figura 14. Foto do ramal na parte interna do duto de ar da barra direita demonstrando molhamento da parede logo após as pontas.

6.2 Resultados da umidificação com ramal no centro do duto de ar - fase definitiva

Com base nos dados da fase exploratória foram construídos os ramais umidificadores para serem montados na parte central do duto (Figura 15). Estes ramais foram utilizados para a coleta de dados de temperatura e umidade relativa na cortina de vento na fase definitiva da pesquisa.



Figura 15. Umidificação com o ventilador desligado e duto de ar desmontado

Ocorreu escorrimento na parte central da barra devido às gotas chocarem-se com a parede interna do duto de ar. Verificou-se que o principal ponto de molhamento do duto é na curvatura deste onde provavelmente as gotas seguem em direção reta, conforme pode ser observado na Figura 16 com o duto de ar desmontado.



Figura 16. Umidificação com ventilador ligado e duto de ar desmontado

O escorrimento, observado na Figura 17, não permitiu a utilização do termohigrômetro para medições de temperatura e umidade do ar no centro da barra, portanto, fizeram-se apenas as medições nos outros quatro pontos pré determinados: extremidade esquerda e direita da barra central, centro e extremidade da barra direita.



Figura 17. Molhamento e escorrimento causado pela umidificação do fluxo de ar.

6.2.1 Análise da temperatura com umidificação no ramal central do duto de ar

Os resultados apresentados nas Figuras 18 a 29 têm como base os dados das Tabelas do apêndice.

Analisando a Figura 18 observa-se que houve diferença significativa da temperatura na cortina de ar ao umidificar o fluxo de ar com todas as vazões utilizadas. Entre as vazões de umidificações utilizadas houve diferença significativa somente entre as vazões de $0,48$ e $0,16 \text{ L.min.}^{-1}$, sendo que a vazão de $0,16 \text{ L.min.}^{-1}$ teve temperatura superior a $0,48 \text{ L.min.}^{-1}$

Ao umidificar o fluxo com vazão de $0,48 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ obteve-se a melhor eficiência em relação à redução da temperatura na cortina de ar, resultando na redução média de $2,52^\circ\text{C}$ quando comparado com a barra assistida a ar sem umidificação. A menor eficiência foi com $0,16 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ de vazão no sistema umidificador, reduzindo $1,07^\circ\text{C}$ na média da temperatura na cortina de ar.

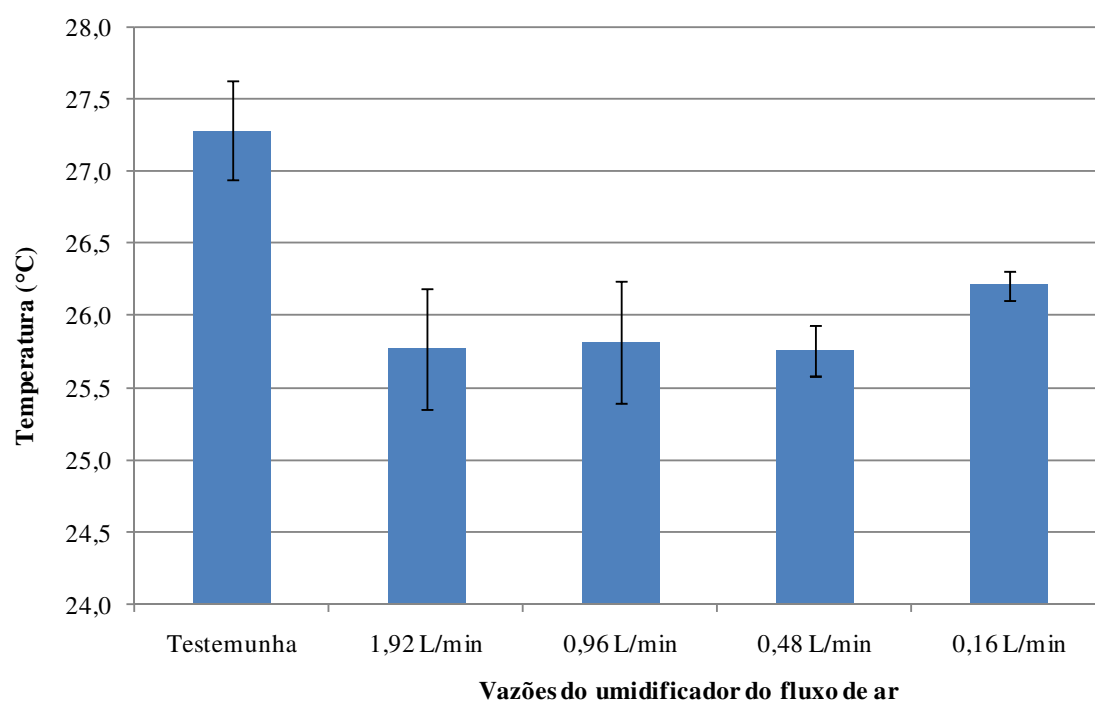


Figura 18. Gráfico das médias das temperaturas na cortina de ar em relação à vazão do umidificador.

As extremidades esquerda e direita da barra central são os pontos que possuem a mesma distância do umidificador do fluxo de ar e também são os pontos mais próximos deste, devido a estas características tiveram maior alteração na temperatura quando comparados ao centro e extremidade da barra direita, conforme demonstra a Figura 19.

Na extremidade direita e esquerda da barra central houve redução significativa da temperatura com a umidificação do fluxo de ar em todos os tratamentos.

Nos tratamentos com vazões no umidificador de 1,92 e 0,96 L/min.⁻¹, provavelmente o excesso de vazão causou coalescência das gotas, tornando-as maiores, impossibilitando seguir o fluxo de ar pelos dutos e alterar significativamente a temperatura na cortina de vento.

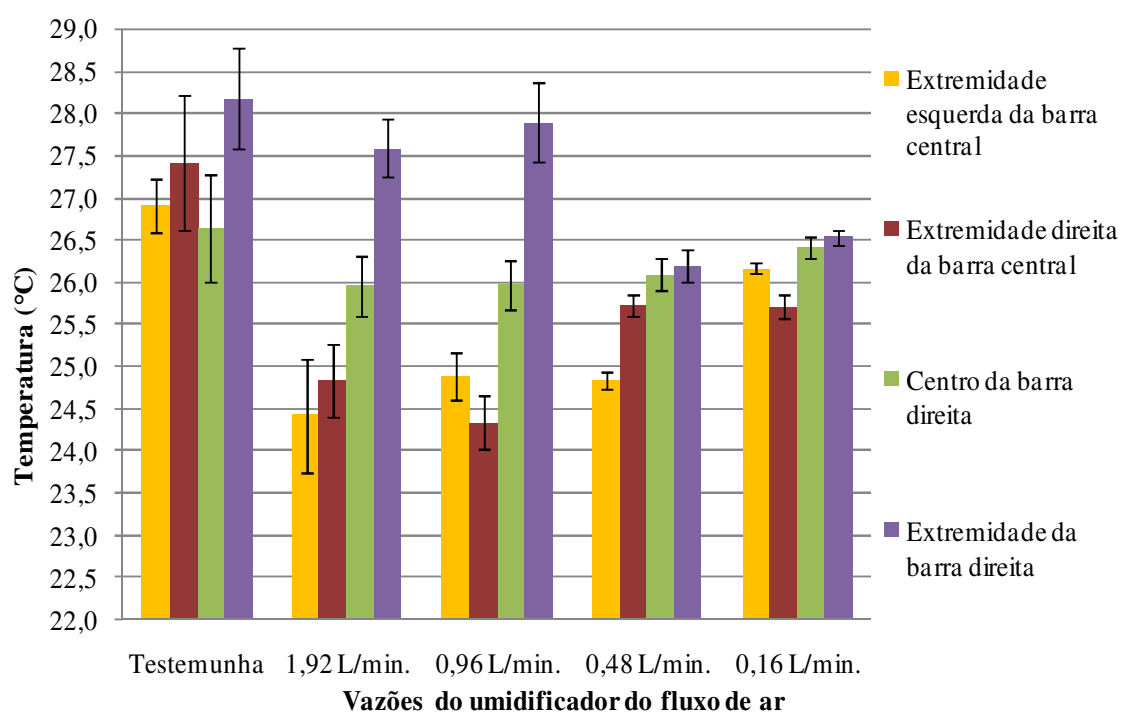


Figura 19. Gráfico da temperatura na cortina de ar em várias posições da barra.

Na extremidade esquerda da barra central com umidificação do fluxo de ar (Figura 20), somente a vazão de $0,16 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ teve temperatura maior que as outras três vazões utilizadas.

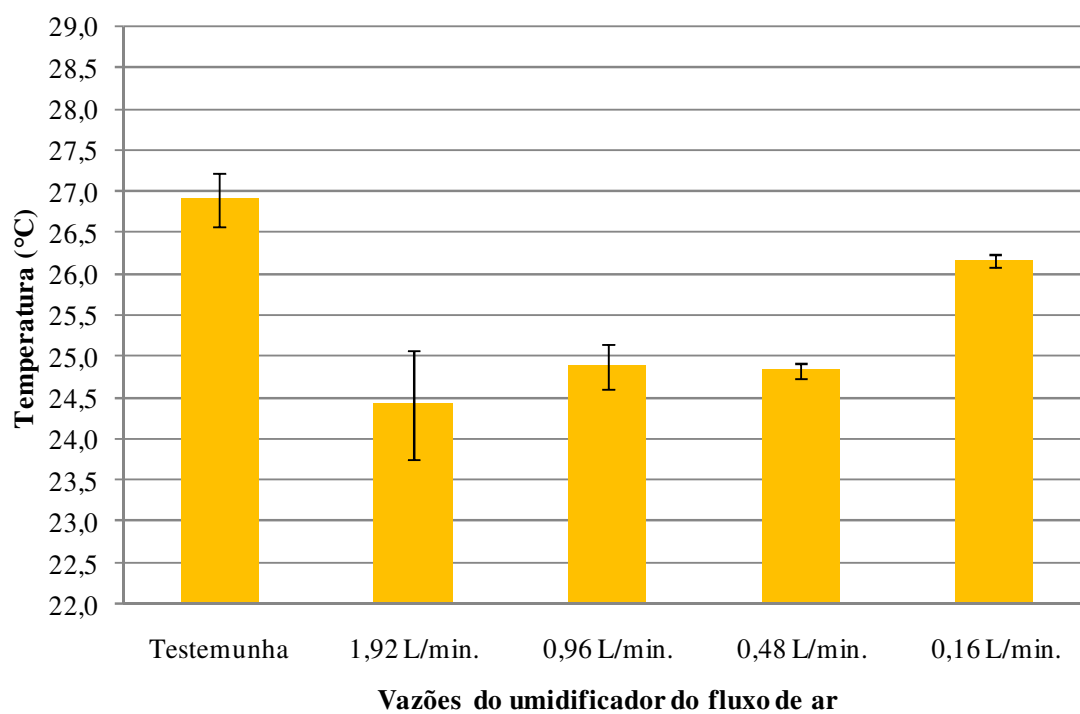


Figura 20. Gráfico da temperatura na cortina de ar na extremidade esquerda da barra central.

Na extremidade direita da barra central com umidificação do fluxo de ar (Figura 21), as vazões de 1,92 e 90,96 L.min.⁻¹ tiveram temperatura menor do que as vazões de 0,48 e 0,16 L.min.⁻¹

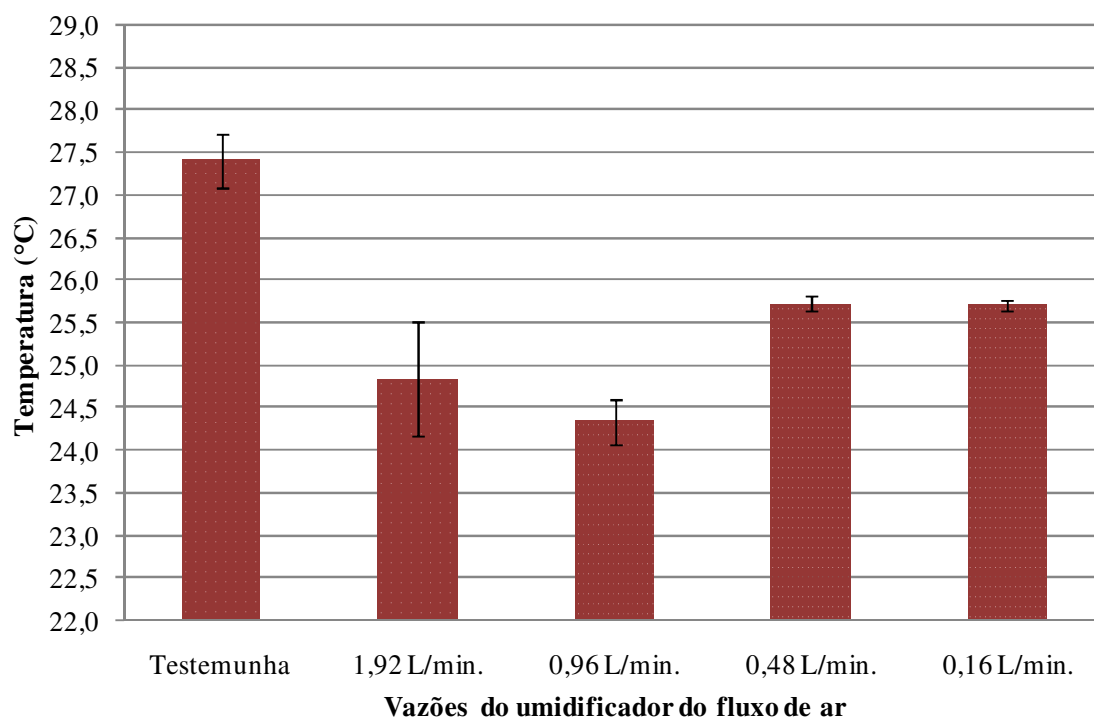


Figura 21. Gráfico da temperatura na cortina de ar na extremidade direita da barra central.

Analisando os dados da Figura 22, observa-se que não teve diferença da temperatura na cortina com e sem umidificação do ar no centro da barra direita.

Somente observou-se diferença entre a vazão de 0,96 e 0,16 L.min.⁻¹, sendo que a 0,16 L.min.⁻¹ a temperatura foi maior, mas esta diferença foi somente de 0,02 °C.

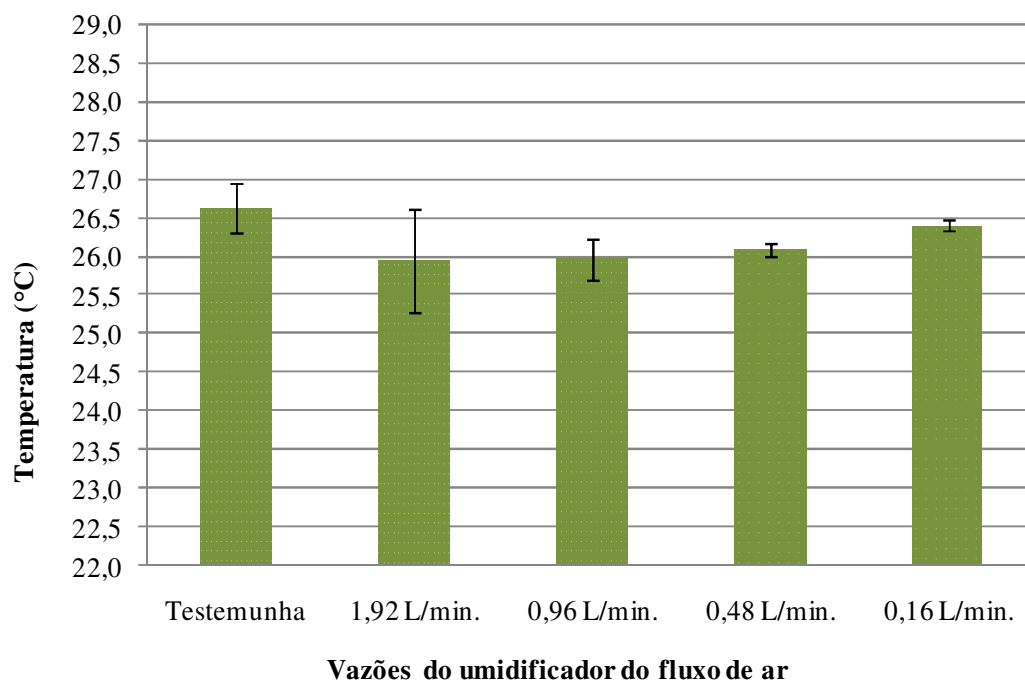


Figura 22. Gráfico da temperatura na cortina de ar no centro da barra direita.

As temperaturas da cortina de ar na extremidade da barra direita não tiveram diferença sem e com umidificação de 1,92 e 0,96 L.min.⁻¹ Nos tratamentos com 0,48 e 0,16 L.min.⁻¹ as temperaturas foram menores do que os outros tratamentos e a testemunha (Figura 23).

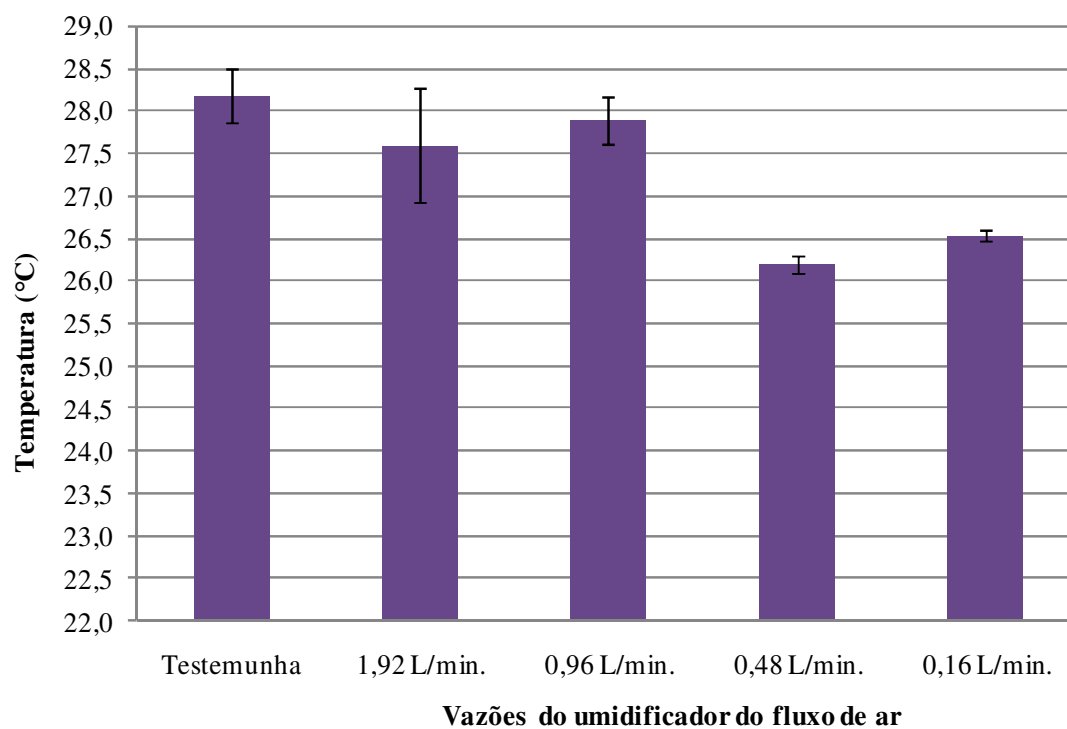


Figura 23. Gráfico da temperatura na cortina de ar na extremidade da barra direita.

Conforme a Figura 24 verifica-se que a temperatura na cortina de ar não tem diferença significativa em relação à distância da canaleta.

A temperatura da cortina de ar na saída e a 250 mm da canaleta teve redução significativa com a umidificação do fluxo.

Os tratamentos com vazões de umidificação de 1,92 e 0,96 L.min.⁻¹ tiveram a temperatura da cortina de ar a 500 mm de distância da canaleta significativamente iguais à testemunha. Nas vazões de 0,48 e 0,16 L.min.⁻¹ a temperatura foi menor que a testemunha.

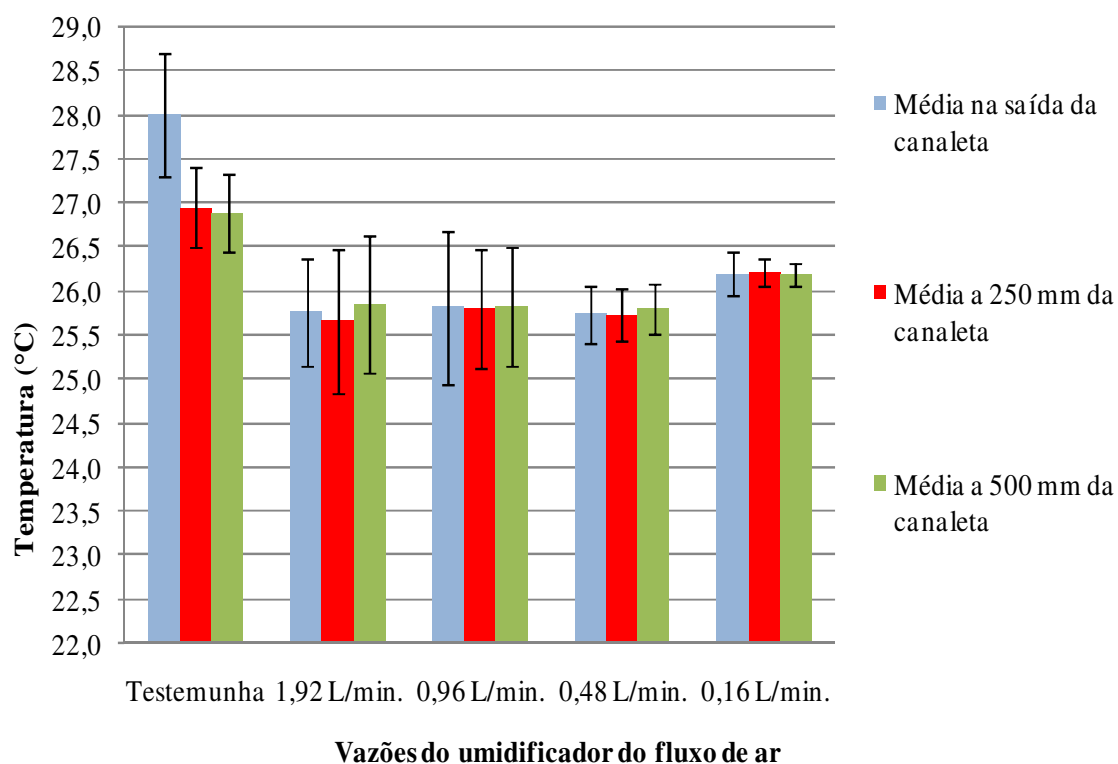


Figura 24. Gráfico das médias da temperatura na cortina de ar em três distâncias da canaleta.

6.2.2 Análise da umidade com umidificação no ramal central do duto de ar

Os dados da Figura 25 permitem afirmar que ocorreu diferença significativa da umidade na cortina de ar ao umidificar o fluxo de ar com todas as vazões utilizadas. Entre as vazões de umidificações utilizadas, somente não apresentou diferença significativa nos tratamentos com vazões de 0,96 e 0,48 L.min.⁻¹.

A média do aumento da umidade do ar foi crescente conforme o aumento da vazão de umidificação (Figura 25).

A maior diferença de umidade com e sem umidificação do fluxo de ar, considerando os intervalos de confiança, foi de 4,64%, observado no tratamento com vazão de 1,92 L.min.⁻¹ no sistema umidificador. A menor diferença de umidade foi de 0,13%, observado no tratamento com vazão de 0,16 L.min.⁻¹ no sistema umidificador.

A umidificação aumentou na média a umidade na cortina de ar em 6,59%, sendo esta a máxima alteração resultante da umidificação injetando 1,92 L.min.⁻¹ de forma pulverizada no fluxo de ar.

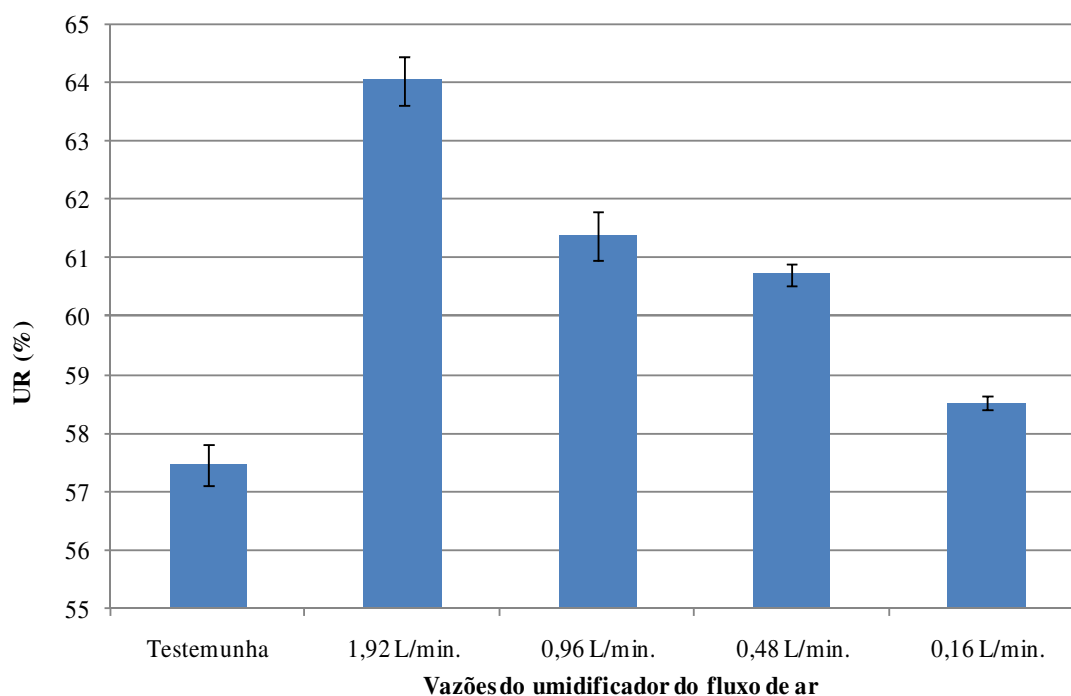


Figura 25. Gráfico das médias da umidade na cortina de ar variando a vazão do umidificador.

As extremidades esquerda e direita da barra central são os pontos que possuem a mesma distância do umidificador do fluxo de ar e também são os pontos mais próximos deste, por isso tiveram maior alteração na umidade da cortina de ar quando comparados ao centro e extremidade da barra direita, isso pode ser afirmado analisando os dados da Figura 26.

Com exceção do tratamento com $0,16 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$, as extremidades direita e esquerda da barra central ocorreram redução significativa da umidade na cortina de ar utilizando o sistema de umidificação do fluxo de ar.

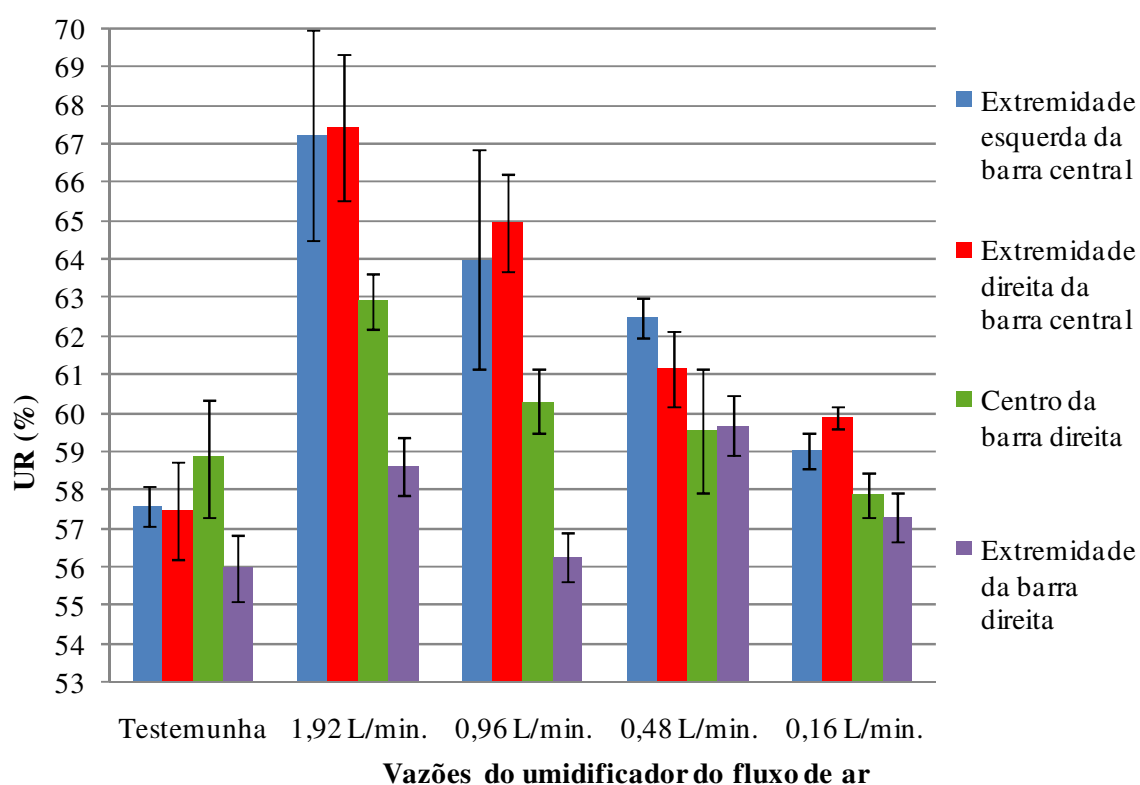


Figura 26. Gráfico da umidade na cortina de ar em várias posições da barra.

A Figura 27 demonstra que no centro da barra direita, somente ocorreu diferença significativa na umidade da cortina de ar no tratamento com vazão no umidificador de 1,92 L.min.⁻¹.

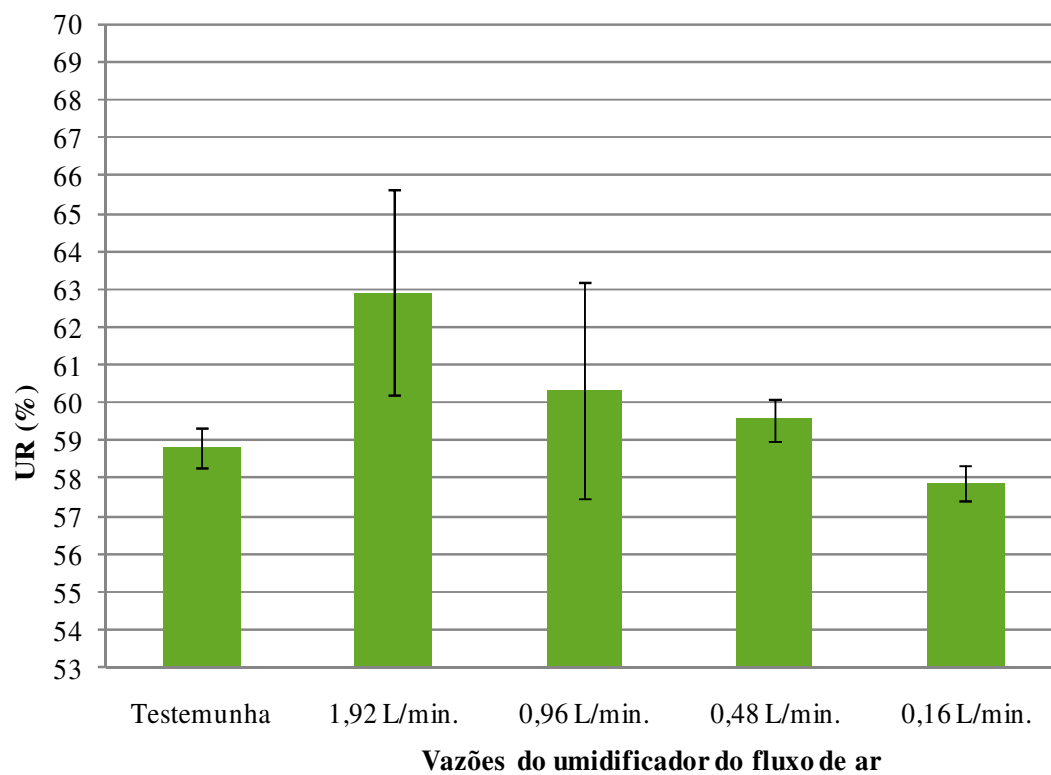


Figura 27. Gráfico da umidade na cortina de ar no centro da barra direita.

Na extremidade da barra direita somente ocorreu diferença significativa na umidade da cortina de ar no tratamento com vazão no umidificador de 0,48 L.min.⁻¹ (Figura 28).

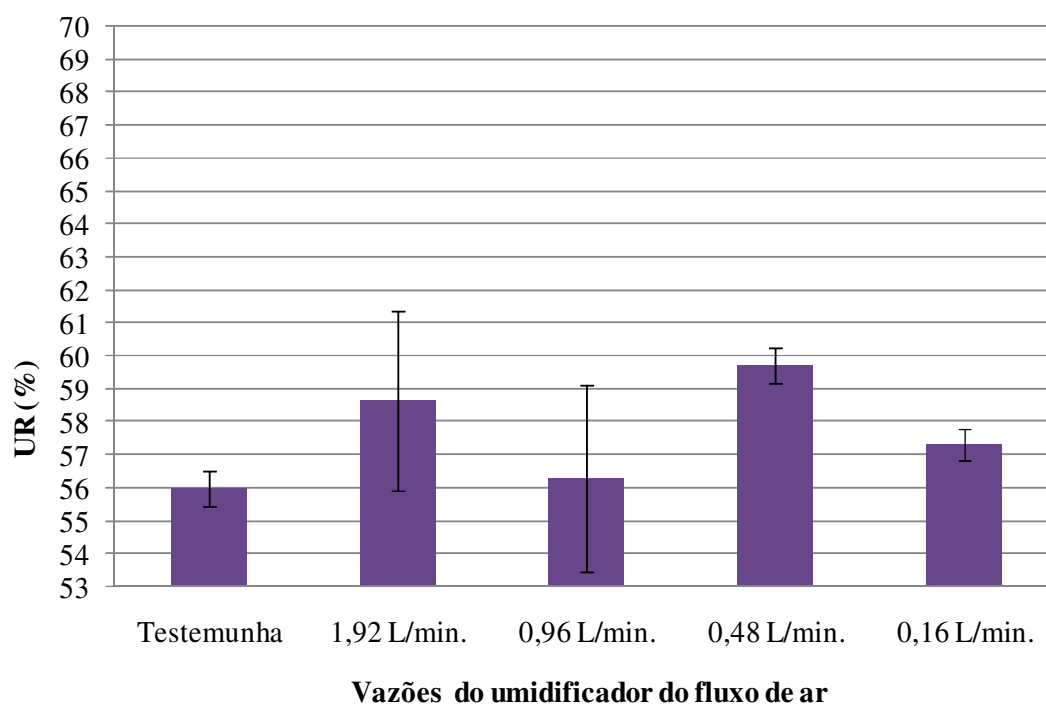


Figura 28. Gráfico da umidade na cortina de ar na extremidade da barra direita.

A umidade na cortina de ar não tem diferença significativa em relação à distância da canaleta (Figura 29).

Na saída da canaleta, todos os tratamentos com umidificação do ar apresentaram umidade na cortina de ar significativamente maiores do que sem umidificação

A 250 mm da canaleta, somente a umidificação com $0,16 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ não apresentou umidade na cortina de ar significativamente maior do que a testemunha.

A 500 mm da canaleta, os tratamentos com umidificação de $1,92$ e $0,48 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ apresentaram umidade na cortina de ar significativamente maior do que a testemunha.

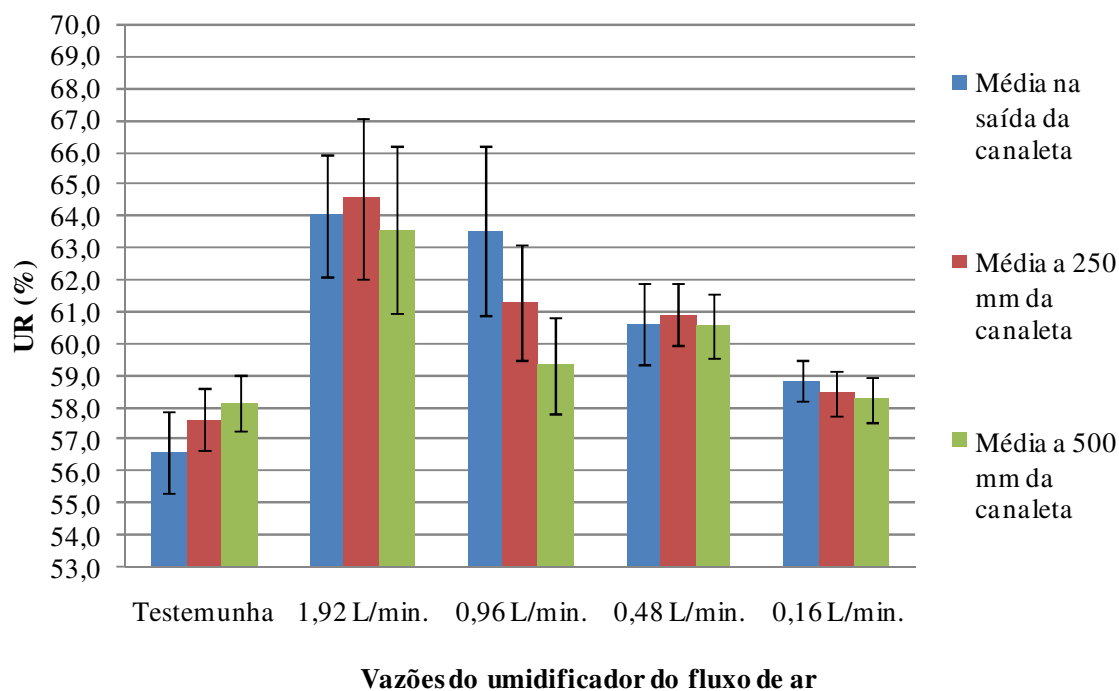


Figura 29. Gráfico da umidade na cortina de ar em relação a distâncias da barra.

6.3 Temperatura ambiente, UR ambiente e temperatura da água durante a pesquisa

Durante a execução da pesquisa foram medidas a temperatura e umidade relativa do ar no ambiente. Mediu-se também a temperatura da água usada na umidificação do fluxo de ar, estes dados estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Temperatura e umidade relativa do ar ambiente e temperatura da água usada na umidificação durante a execução da pesquisa.

Tratamento (vazão umidificador)	0 L.min. ⁻¹	1,92 L.min. ⁻¹	0,96 L.min. ⁻¹	0,48 L.min. ⁻¹	0,16 L.min. ⁻¹
Temperatura ambiente (°C)	26,8	27,8	28,1	26,7	26,7
UR ambiente (%)	59,1	57,4	56,1	54,3	53,0
Temperatura da água (°C)	-	25,7	31,5	31,5	32,2

O aumento da temperatura da água provavelmente está associado a recirculação pelo circuito hidráulico do pulverizador.

6.4 Capacidade do reservatório de água para o sistema umidificador do fluxo de ar

Considerando que a maior alteração na temperatura foi resultado da umidificação com vazão de $0,48 \text{ L.min.}^{-1}$, para o pulverizador Falcon Vortex com barras de 14 m de faixa de aplicação, trabalhando na velocidade de 6 km.h^{-1} , seria necessário um reservatório com capacidade de 41 litros (Tabela 9). Com esta vazão na umidificação tem-se um aumento de 3,25% na umidade da cortina de ar.

Para obter o máximo de alteração na umidade da cortina de ar é necessário usar $1,92 \text{ L.min.}^{-1}$ de vazão no umidificador, neste caso seria necessário um reservatório com capacidade de 165 litros para ficar compatível com o reabastecimento de calda do reservatório de defensivos. O escoamento ocasionado pela umidificação também indica que será necessário reduzir a vazão do umidificador e conseqüentemente não será necessário um reservatório com esta capacidade.

Tabela 9. Cálculo da capacidade do reservatório de água para o sistema umidificador do fluxo de ar.

Volume pulverização (L.ha^{-1})	50	100	150	200	50	100	150	200
Largura da barra (m)	14	14	14	14	14	14	14	14
Velocidade (km.h^{-1})	6	6	6	6	10	10	10	10
Vazão (L.min.^{-1})	7,0	14,0	21,0	28,0	11,7	23,3	35,0	46,7
Tempo (h.tq^{-1})	01:26:11	00:43:26	00:28:57	00:21:43	00:51:43	00:26:11	00:17:14	00:13:26
Autonomia (ha.tq^{-1})	12,0	6,0	4,0	3,0	12,0	6,0	4,0	3,0
Capacidade do reservatório para umidificar o fluxo de ar (L)								
$1,92 \text{ L.min.}^{-1}$ no sistema umidificador	164,6	82,3	54,9	41,1	98,7	49,4	32,9	24,7
$0,96 \text{ L.min.}^{-1}$ no sistema umidificador	82,3	41,1	27,4	20,6	49,4	24,7	16,5	12,3
$0,48 \text{ L.min.}^{-1}$ no sistema umidificador	41,1	20,6	13,7	10,3	24,7	12,3	8,2	6,2
$0,16 \text{ L.min.}^{-1}$ no sistema umidificador	13,7	6,9	4,6	3,4	8,2	4,1	2,7	2,1

Capacidade do reservatório do pulverizador (tq): 600 L

7 CONCLUSÃO

Houve redução significativa da temperatura e aumento significativo da umidade na cortina de ar no pulverizador de barras ao umidificar o fluxo de ar.

A umidificação do fluxo de ar causou molhamento do duto e escorrimento de água no centro da barra de pulverização. Sugere-se a continuação de estudos para que este problema seja resolvido, possibilitando a viabilização da avaliação do sistema em nível de campo.

8 REFERÊNCIAS

- ANTUNIASSI, U. R. Tecnologia de aplicação para o controle da ferrugem da soja. In: WORKSHOP BRASILEIRO SOBRE A FERRUGEM ASIÁTICA, 1., 2005, Uberlândia. **Coletânea...** Uberlândia: EDUFU, 2005. p. 193-219.
- ANTUNIASSI, U. R. Inovações tecnológicas na aplicação de defensivos. **Revista A Granja**, Porto Alegre, n. 664, fev. 2004.
- BAESSO, M. M. **Parâmetros técnicos para o controle do mofo-branco na cultura do feijão utilizando pulverizador hidráulico de barra com assistência de ar.** 2009. 78 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- BALAN, M. G. et al. Deposição da calda pulverizada por três pontas de pulverização sob diferentes condições meteorológicas. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 2, p. 293-298, abr./jun. 2008.
- BAUER F. C.; RAETANO C. G. Assistência de ar na deposição e perdas de produtos fitossanitários em pulverizações na cultura da soja. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 2, p. 271 – 276, abr./jun. 2000.
- CAMARA, F. T. et al. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de bicos hidráulicos de jato plano de faixa expandida XR11003. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, 2008.
- COUTINHO, P. O.; CORDEIRO, C. A. M.; MOTTA, F. **Tecnologia de aplicação de defensivos.** [S.I.]: DuPont Pionner, 2002.
- DURIGAN, J. C. **Efeitos de adjuvantes na aplicação e eficácia dos herbicidas.** Jaboticabal: FUNEP, 1993. 42 p.

ETHERIDGE, R. E.; WOMAC, A. R.; MUELLER, T. C. Characterization of the spray droplet spectra and patterns of four venturi-type drift reduction nozzles. **Weed Technology**, Lawrence, v. 13, n. 4, p. 765-70, 1999.

FERREIRA, M. C. et al. Fatores qualitativos para a ponta hidráulica de jato plano ADGA 110015 na pulverização agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 471-478, 2007.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 5682-1**: equipment for crop protection: spraying equipment, part 1: test methods for sprayer nozzles. 2nd Ed. [S.I.]: 1996. p. 17.

KOCH, H. The evolution of application techniques in Europe. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS, 1., Águas de Lindóia. **Anais...** Jaboticabal: IAC; UNESP, 1997. p. 30-38.

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

MÁQUINAS AGRÍCOLAS JACTO. **Avaliação do desempenho do sistema vortex na cultura da soja**. Pompéia, 2005. Relatório técnico interno.

MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. 2. ed. New York: Longman Scientific & Technical, 1992.

MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. 3. ed. London: Blackwell, 2000. 432 p.

MATTHEWS, G. A.; HISLOP, E. C. **Application technology for crop protection**. Wallingford: CAB International, 1993.

NAVITSKI, P. M. **Pesticide application by boom sprayer with double-sided air assistance of drops of a working liquid**. 2010. Dissertation –Department of Agricultural Machines, The Belarussian State Agricultural Academy, Gorki, 2010.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1981. 440p.

OZKAN, H. E. et al. Shields to reduce spray drift. **Journal Agricultural Engineering Research**, [S.I.]: v. 67, p. 311-322, 1997.

PONTELLI, C. O.; ZAIDAN, S. E.; BELTRAMELLO, L. G. F. Meta-análise para avaliação do potencial aumento de eficiência utilizando tecnologia de aplicação com barra assistida a ar. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 4., 2008, Ribeirão Preto. **Anais do IV Sintag. Ribeirão Preto**, 2008. p. 4.

RAETANO, C. G.; MERLIN, A. Avanços tecnológicos no controle da ferrugem asiática da soja. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Ferrugem asiática da soja**. Viçosa, UFV/DFP, 2006. Cap. 7, p. 115-138.

RAMOS, H. H. Tecnologia de aplicação de agrotóxicos. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 25, p. 275-284, 2000. Suplemento.

RILEY, C. M.; WIESNER, C. J. On-target and off-target deposition. In: ECOBICHON, D. J. **Occupational hazards of pesticide exposure**. Philadelphia: Taylor & Francis, 1999. p. 9-50.

RUEDELL, J. Tecnologia de aplicação de defensivos. **Plantio Direto**, Brasília, DF, v. 19, n. 6, p. 9-11, 2002.

SARTORI, S. Equipamentos tratorizados para culturas de baixo fuste: situação no Cone –Sul. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS, 1., 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Jaboticabal: IAC; UNESP, 1997. p. 110-112.

SCUDELER, F. **Assistência de ar e angulação da barra pulverizadora na deposição e perdas da pulverização na cultura da batata**. 2005. 53 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

TUBELIS, A. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1980.

VENEGAS, F.; RAETANO, C. G.; BAUER, F. C. Assistência de ar em barra de pulverização, deposição da calda e controle da pinta preta na cultura da batata. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 29, n. 4, p. 323-9, 2003.

9 APÊNDICE

Tabela I. Temperatura na cortina de ar sem o sistema umidificador (testemunha).

Posição na barra	Dist. da canaleta	Temperatura (°C)				Média	Desvio padrão
		Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4		
Extremidade esquerda da barra central	0 mm	26,7	27,1	26,6	27,7	27,03	0,56
	250 mm	27,1	26,3	26,7	27,1	26,80	
	500 mm	27,1	25,7	27,7	27,1	26,90	
Extremidade direita da barra central	0 mm	28,2	27	27,5	30,7	28,35	1,41
	250 mm	26,6	26,5	26,4	28,8	27,08	
	500 mm	25,5	26,1	27,7	28,0	26,83	
Centro da barra direita	0 mm	25,5	26,8	29	27,8	27,28	1,13
	250 mm	25,3	25,6	26,4	27,4	26,18	
	500 mm	25,5	26,2	26,6	27,5	26,45	
Extremidade da barra direita	0 mm	28,5	29,1	29,5	30,3	29,35	1,06
	250 mm	27,3	27,8	27,5	28,5	27,78	
	500 mm	27,3	26,6	27,5	28,2	27,40	

Tabela II. Temperatura na cortina de ar com vazão de 1,92 L.min.⁻¹ no sistema umidificador.

Posição na barra	Dist. da canaleta	Temperatura (°C)					Desvio padrão
		Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Média	
Extremidade esquerda da barra central	0 mm	26,0	25,8	26,1	26,1	26,00	1,19
	250 mm	23,7	23,4	23,8	23,9	23,70	
	500 mm	23,4	23,3	23,6	23,9	23,55	
Extremidade direita da barra central	0 mm	24,9	23,6	23,9	24,3	24,18	0,75
	250 mm	25,5	24,2	24,4	25,2	24,83	
	500 mm	25,8	25,9	25,0	25,3	25,50	
Centro da barra direita	0 mm	25,9	25,6	25,2	25,4	25,53	0,63
	250 mm	25,9	26,4	25,4	26,0	25,93	
	500 mm	27,0	27,2	25,7	25,6	26,38	
Extremidade da barra direita	0 mm	27,7	27,7	27,3	27,0	27,43	0,61
	250 mm	29,1	27,0	27,8	27,3	27,80	
	500 mm	27,0	27,3	28,3	27,6	27,55	

Tabela III. Temperatura na cortina de ar com vazão de 0,96 L.min.⁻¹ no sistema umidificador.

Posição na barra	Dist. da canaleta	Temperatura (°C)					Desvio padrão
		Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Média	
Extremidade esquerda da barra central	0 mm	25,6	24,7	25,1	25,5	25,23	0,48
	250 mm	25,0	24,7	25,4	25,0	25,03	
	500 mm	24,4	24,0	24,8	24,4	24,40	
Extremidade direita da barra central	0 mm	24,0	23,5	24,5	23,6	23,90	0,56
	250 mm	24,0	25,0	24,3	24,0	24,33	
	500 mm	24,3	25,3	24,5	25,0	24,78	
Centro da barra direita	0 mm	25,5	26,1	25,4	25,5	25,63	0,52
	250 mm	25,6	26,4	25,5	26,8	26,08	
	500 mm	26,7	26,3	25,5	26,3	26,20	
Extremidade da barra direita	0 mm	27,4	29,4	29,1	27,8	28,43	0,83
	250 mm	26,7	28,5	27,9	27,3	27,60	
	500 mm	26,7	28,0	28,0	27,9	27,65	

Tabela IV. Temperatura na cortina de ar com vazão de 0,48 L.min.⁻¹ no sistema umidificador.

Posição na barra	Dist. da canaleta	Temperatura (°C)					Desvio padrão
		Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Média	
Extremidade esquerda da barra central	0 mm	24,8	25,0	24,9	24,6	24,83	0,16
	250 mm	24,8	25,1	24,8	24,5	24,80	
	500 mm	24,9	24,8	24,9	24,9	24,88	
Extremidade direita da barra central	0 mm	25,5	25,7	25,6	25,3	25,53	0,24
	250 mm	25,5	26,1	25,8	25,7	25,78	
	500 mm	25,7	26,1	25,9	25,8	25,88	
Centro da barra direita	0 mm	26,2	26,3	25,8	26,2	26,13	0,34
	250 mm	26,6	26,2	25,6	25,8	26,05	
	500 mm	26,5	26,4	25,7	25,8	26,10	
Extremidade da barra direita	0 mm	26,5	26,9	25,8	26,0	26,30	0,33
	250 mm	26,5	26,1	25,9	26,0	26,13	
	500 mm	26,5	26,2	25,9	26,0	26,15	

Tabela V. Temperatura na cortina de ar com vazão de 0,16 L.min.⁻¹ no sistema umidificador.

Posição na barra	Dist. da canaleta	Temperatura (°C)					Desvio padrão
		Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Média	
Extremidade esquerda da barra central	0 mm	26,1	26,1	26,2	26,0	26,10	0,12
	250 mm	26,1	26,3	26,3	26,0	26,18	
	500 mm	26,2	26,1	26,4	26,2	26,23	
Extremidade direita da barra central	0 mm	25,5	25,7	25,0	25,8	25,50	0,26
	250 mm	25,8	25,7	25,7	25,9	25,78	
	500 mm	25,9	25,8	25,7	26,0	25,85	
Centro da barra direita	0 mm	26,6	26,3	26,7	26,5	26,53	0,24
	250 mm	26,3	26,1	26,7	26,4	26,38	
	500 mm	26,3	26,0	26,7	26,3	26,33	
Extremidade da barra direita	0 mm	26,6	26,6	26,8	26,6	26,65	0,16
	250 mm	26,4	26,7	26,6	26,5	26,55	
	500 mm	26,3	26,6	26,4	26,3	26,40	

Tabela VI. Umidade na cortina de ar sem o sistema umidificador (testemunha).

Posição na barra	Dist. da canaleta	Umidade relativa do ar (%)					Desvio padrão
		Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Média	
Extremidade esquerda da barra central	0 mm	57,9	57,8	56,3	56,0	57,00	0,96
	250 mm	57,1	58,6	58,5	56,6	57,70	
	500 mm	58,2	58,9	58,1	57,0	58,05	
Extremidade direita da barra central	0 mm	56,5	58,4	58,5	53,0	56,60	2,27
	250 mm	58,3	58,8	59,0	53,5	57,40	
	500 mm	60,5	58,5	58,5	56,0	58,38	
Centro da barra direita	0 mm	61,9	60,1	53,2	56,8	58,00	2,69
	250 mm	62,0	59,8	57,7	56,9	59,10	
	500 mm	62,2	60,0	58,5	56,8	59,38	
Extremidade da barra direita	0 mm	56,6	56,2	53,7	52,8	54,83	1,53
	250 mm	57,3	56,2	56,6	55,2	56,33	
	500 mm	57,8	56,9	57,4	54,9	56,75	

Tabela VII. Umidade na cortina de ar com vazão de 1,92 L.min.⁻¹ no sistema umidificador.

Posição na barra	Dist. da canaleta	Umidade relativa do ar (%)					Desvio padrão
		Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Média	
Extremidade esquerda da barra central	0 mm	60,8	61,3	63,4	63,4	62,23	4,82
	250 mm	64,1	72,4	71,5	71,0	69,75	
	500 mm	63,3	72,5	72,0	71,1	69,73	
Extremidade direita da barra central	0 mm	66,7	71,1	71,0	69,4	69,55	3,40
	250 mm	65,0	72,0	67,0	66,4	67,60	
	500 mm	60,4	70,0	66,0	64,2	65,15	
Centro da barra direita	0 mm	64,0	64,5	64,8	64,2	64,38	1,31
	250 mm	61,5	62,6	63,2	63,2	62,63	
	500 mm	61,4	61,0	63,0	61,6	61,75	
Extremidade da barra direita	0 mm	60,0	58,5	60,5	60,8	59,95	1,33
	250 mm	57,7	57,3	58,4	59,5	58,23	
	500 mm	56,8	57,2	58,0	58,6	57,65	

Tabela VIII. Umidade na cortina de ar com vazão de $0,96 \text{ L.min.}^{-1}$ no sistema umidificador.

Posição na barra	Dist. da canaleta	Umidade relativa do ar (%)					Desvio padrão
		Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Média	
Extremidade esquerda da barra central	0 mm	70,0	70,0	70,2	68,7	69,73	5,03
	250 mm	64,3	64,6	64,0	64,3	64,30	
	500 mm	58,0	58,4	57,7	57,8	57,98	
Extremidade direita da barra central	0 mm	68,6	68,0	64,8	65,0	66,60	2,23
	250 mm	66,7	65,0	64,0	63,0	64,68	
	500 mm	67,0	62,0	62,2	63,0	63,55	
Centro da barra direita	0 mm	62,6	61,0	62,2	60,0	61,45	1,44
	250 mm	61,3	59,3	60,6	58,5	59,93	
	500 mm	60,8	58,8	60,7	58,0	59,58	
Extremidade da barra direita	0 mm	58,5	55,2	55,6	56,0	56,33	1,09
	250 mm	57,3	55,6	56,4	55,7	56,25	
	500 mm	58,0	55,3	55,7	55,8	56,20	

Tabela IX. Umidade na cortina de ar com vazão de $0,48 \text{ L.min.}^{-1}$ no sistema umidificador.

Posição na barra	Dist. da canaleta	Umidade relativa do ar (%)					Desvio padrão
		Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Média	
Extremidade esquerda da barra central	0 mm	61,8	60,3	62,3	63,0	61,85	0,94
	250 mm	62,8	61,5	63,3	63,7	62,83	
	500 mm	63,0	63,3	62,3	62,5	62,78	
Extremidade direita da barra central	0 mm	62,8	60,0	62,6	63,4	62,20	1,74
	250 mm	61,6	59,0	61,6	62,8	61,25	
	500 mm	60,8	57,4	61,0	60,7	59,98	
Centro da barra direita	0 mm	53,3	58,1	62,7	60,3	58,60	2,83
	250 mm	58,9	58,0	63,3	60,0	60,05	
	500 mm	58,5	58,0	63,5	60,0	60,00	
Extremidade da barra direita	0 mm	58,7	58,7	62,2	60,3	59,98	1,40
	250 mm	57,7	60,0	60,6	60,0	59,58	
	500 mm	57,5	60,0	61,3	59,1	59,48	

Tabela X. Umidade na cortina de ar com vazão de 0,16 L.min.⁻¹ no sistema umidificador.

Posição na barra	Dist. da canaleta	Umidade relativa do ar (%)					Desvio padrão
		Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Média	
Extremidade esquerda da barra central	0 mm	60,0	58,3	60,4	58,5	59,30	0,86
	250 mm	58,7	58,5	60,5	58,4	59,03	
	500 mm	58,8	58,5	59,6	58,1	58,75	
Extremidade direita da barra central	0 mm	60,0	60,5	60,0	60,0	60,13	0,52
	250 mm	60,0	60,3	60,3	59,0	59,90	
	500 mm	59,3	60,1	60,0	58,9	59,58	
Centro da barra direita	0 mm	57,9	59,5	57,8	58,1	58,33	1,05
	250 mm	57,2	59,0	57,6	57,4	57,80	
	500 mm	57,2	59,6	56,0	57,2	57,50	
Extremidade da barra direita	0 mm	57,4	59,3	56,4	57,2	57,58	1,16
	250 mm	56,6	58,9	56,0	57,0	57,13	
	500 mm	56,7	59,0	56,0	57,0	57,18	

Tabela XI. Médias da temperatura na cortina de ar em relação a vazões no umidificador.

Tratamento	Média geral (°C)
Testemunha	27,28 ± 0,34
1,92 L. min. ⁻¹	25,76 ± 0,42
0,96 L. min. ⁻¹	25,82 ± 0,42
0,48 L. min. ⁻¹	25,76 ± 0,17
0,16 L. min. ⁻¹	26,21 ± 0,11

Tabela XII. Temperatura (°C) na cortina de ar nas posições da barra em relação às vazões no umidificador.

Trat.	Extremidade esquerda da barra central	Extremidade direita da barra central	Centro da barra direita	Extremidade da barra direita
Testemunha	26,91 ± 0,32	27,42 ± 0,80	26,63 ± 0,64	28,17 ± 0,60
1,92 L.min. ⁻¹	24,42 ± 0,67	24,83 ± 0,42	25,94 ± 0,36	27,59 ± 0,35
0,96 L.min. ⁻¹	24,88 ± 0,27	24,33 ± 0,32	25,97 ± 0,29	27,89 ± 0,47
0,48 L.min. ⁻¹	24,83 ± 0,09	25,73 ± 0,13	26,09 ± 0,19	26,19 ± 0,19
0,16 L.min. ⁻¹	26,17 ± 0,07	25,71 ± 0,15	26,41 ± 0,13	26,53 ± 0,09

Tabela XIII. Temperatura (°C) na cortina de ar nas distâncias da canaleta em relação a vazões no umidificador.

Trat.	Média na saída da canaleta	Média a 250 mm da canaleta	Média a 500 mm da canaleta
Testemunha	28,00 ± 0,70	26,96 ± 0,46	26,89 ± 0,43
1,92 L.min. ⁻¹	25,77 ± 0,61	25,66 ± 0,81	25,86 ± 0,78
0,96 L.min. ⁻¹	25,82 ± 0,87	25,79 ± 0,67	25,83 ± 0,68
0,48 L.min. ⁻¹	25,74 ± 0,32	25,73 ± 0,30	25,80 ± 0,28
0,16 L.min. ⁻¹	26,20 ± 0,24	26,22 ± 0,16	26,20 ± 0,13

Tabela XIV. Média da umidade na cortina de ar em relação às vazões no umidificador.

Tratamentos	Média geral (%)
Testemunha	57,46 ± 0,61
1,92 L.min. ⁻¹	64,05 ± 1,34
0,96 L.min. ⁻¹	61,38 ± 1,26
0,48 L.min. ⁻¹	60,71 ± 0,61
0,16 L.min. ⁻¹	58,51 ± 0,31

Tabela XV. Porcentagem da umidade na cortina de ar nas posições da barra em relação a vazões no umidificador.

Trat.	Extremidade esquerda da barra central	Extremidade direita da barra central	Centro da barra direita	Extremidade da barra direita
Testemunha	57,58 ± 0,54	57,46 ± 1,29	58,83 ± 1,52	55,97 ± 0,87
1,92 L.min. ⁻¹	67,23 ± 2,73	67,43 ± 1,92	62,92 ± 0,74	58,61 ± 0,75
0,96 L.min. ⁻¹	64,00 ± 2,85	64,94 ± 1,26	60,32 ± 0,81	56,26 ± 0,61
0,48 L.min. ⁻¹	62,48 ± 0,53	61,14 ± 0,99	59,55 ± 1,60	59,68 ± 0,79
0,16 L.min. ⁻¹	59,03 ± 0,49	59,87 ± 0,29	57,88 ± 0,59	57,29 ± 0,65

Tabela XVI. Porcentagem da umidade na cortina de ar nas distâncias da canaleta em relação a vazões no umidificador.

Trat.	Média na saída da canaleta	Média a 250 mm da canaleta	Média a 500 mm da canaleta
Testemunha	56,61 ± 1,25	57,63 ± 0,96	58,14 ± 0,87
1,92 L.min. ⁻¹	64,03 ± 1,89	64,55 ± 2,52	63,57 ± 2,60
0,96 L.min. ⁻¹	63,53 ± 2,65	61,29 ± 1,81	59,33 ± 1,52
0,48 L.min. ⁻¹	60,66 ± 1,27	60,93 ± 0,95	60,56 ± 1,00
0,16 L.min. ⁻¹	58,83 ± 0,63	58,46 ± 0,68	58,25 ± 0,68