

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Avaliação de controlador automático de seções e pulverização

Étore Francisco Reynaldo

**Dissertação apresentada para obtenção do título
de Mestre em Agronomia. Área de
concentração: Máquinas Agrícolas**

**Piracicaba
2009**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Étore Francisco Reynaldo
Engenheiro Agrônomo

Avaliação de controlador automático de seções e pulverização

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ PAULO MOLIN**

**Dissertação apresentada para obtenção do título
de Mestre em Agronomia. Área de
concentração: Máquinas Agrícolas**

Piracicaba
2009

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Reynaldo, Étore Francisco
Avaliação de controlador automático de seções e pulverização / Étore Francisco
Reynaldo. - - Piracicaba, 2009.
90 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009.
Bibliografia.

1. Agricultura de precisão 2. Produtos fitossanitários 3. Pulverizadores 4. Sistema de
Posicionamento Global I. Título

CDD 631.3
R459a

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

A Deus, acima de tudo, por sempre me iluminar nos momentos difíceis ao longo de minha vida.

OFEREÇO

À minha família, por sempre me amparar nas dificuldades, me apoiando incondicionalmente nas minhas decisões.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, por meio do Programa de Pós-Graduação em Máquinas Agrícolas, pela oportunidade do aprendizado e realização do mestrado.

Ao professor e amigo José Paulo Molin, pela orientação, paciência e confiança.

À empresa Máquinas Agrícolas Jacto S.A. nas pessoas do Fábio Pernassi Torres, João Batista Kimura Filho, Fernando Delarco e Wilson Marcos Stanislavski.

À empresa Santiago & Cintra nas pessoas do Rodrigo Tamani e Rinaldo Lorenzoni.

Aos amigos em especial, que me ajudaram na realização deste trabalho: Fabrício Pinheiro Povh (Sloveno), José Vitor Salvi (Zé). E aos demais amigos: Tiago Carletti Antunes de Oliveira (Porca), Vanderson Rabelo de Paula (Pomborsom), Marcio Luis Carreira (Jackie Chan) e Felipe de Araújo Lopes (Curupira) e Roselane Balan (Balangandã).

Aos demais professores do departamento: Marcos Milan, Casimiro Dias Gadanha Júnior, Tomas Caetano Ripoli e Thiago Libório Romanelli.

A toda equipe do Departamento de Engenharia Rural – ESALQ/ USP, Áureo, Juarez, Francisco, Afonso, Fernanda, Davilmar, Dona Lourdes, José Geraldo e Dona Vera, pela amizade e apoio ao longo do curso.

E a minha namorada Lucilene, pela grande paciência e ajuda para comigo, ao longo da execução deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	13
LISTA DE TABELAS	19
1 INTRODUÇÃO.....	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1 Aplicação de Produtos Fitossanitários	25
2.2 Evolução histórica dos equipamentos para a aplicação de defensivos	26
2.3 A Inserção de GNSS no contexto da agricultura e na aplicação de defensivos.....	30
2.4 Sistemas de Navegação Global por Satélites – GNSS.....	31
2.5 Controladores eletrônicos	33
2.6 Sistemas de controle	35
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.1 Tempos para aberturas e fechamento das válvulas de acionamento elétrico.....	55
4.2 Início e término da pulverização.....	68
4.3 Análises comparativas dos dados	74
4.4 Projeções de distâncias de início e término da aplicação ao longo da barra.....	77
5 CONCLUSÃO.....	83
REFERÊNCIAS	85

RESUMO

Avaliação de controlador automático de seções e pulverização

Atualmente observa-se um aumento significativo do uso de sistemas eletrônicos no maquinário agrícola, proporcionando melhora significativa na eficiência em campo e melhores rendimentos operacionais. Na aplicação de produtos fitossanitários, a utilização de equipamentos que controlam automaticamente as seções da barra e a pulverização já é realidade, entretanto ainda não há resultados que demonstrem a sua eficácia. Por esse motivo, este trabalho teve por finalidade desenvolver uma metodologia para a avaliação de um equipamento comercial que controla automaticamente as seções da barra de pulverizadores e a pulverização. Para a avaliação do controlador foram utilizados três níveis de acurácia do sinal de GPS (Firmware, VBS e RTK), três ângulos para a simulação de entrada e saída da barra de pulverização em relação a borda do talhão (0, 45 e 60°) e três velocidades de trabalho (1,66, 5,00 e 8,33 m s⁻¹). O pulverizador autopropelido foi instrumentado com diversos sensores a fim de se determinar os tempos de abertura ou fechamento das seções da sua barra de pulverização em relação à linha delimitadora da borda do talhão. O controlador automático de seção e pulverização avaliado foi o AgGPS[®] EZ-Boom[™] Trimble, modelo 2010, montado em um pulverizador autopropelido da marca comercial UNIPORT 2500 STAR[®]. A metodologia proposta possibilitou a determinação dos tempos para a abertura e fechamento das válvulas de acionamento elétrico das seções. Os coeficientes de variação calculados para os tempos e distâncias de abertura e fechamento das válvulas de acionamento elétrico, e início ou término da pulverização, indicaram uma variação considerável entre os valores para as diferentes repetições, sendo mais expressivos nos tratamentos com simulação de entrada e saída da barra de pulverização em ângulos de 45 e 60°. Foram identificadas algumas interações significativas em função do tipo de sinal GPS utilizado, entretanto, não se pode dizer qual foi o melhor sinal de GPS no âmbito geral. As interações entre as diferentes velocidades e ângulos, tendem a aumentar a variação dos tempos e distâncias de início e término da pulverização. A configuração recomendada pelo fabricante e adotada para a avaliação do controlador automático de seções e pulverização, não atende a todas as situações simuladas, sendo necessária para cada velocidade uma configuração específica, a fim de se reduzir o início prematuro, falhas e sobreposições excessivas durante a pulverização.

Palavras-chave: Microcontroladores; GNSS; Aplicação de produtos fitossanitários; Sistemas eletrônicos; Agricultura de precisão

ABSTRACT

Evaluation of an automatic boom sections and spraying controller

Currently there is a significant increase in the use of electronic systems in agricultural machinery, providing significant improvement in field efficiency. In the application of pesticides, the use of equipment that automatically controls the sections of the boom and the spray is already reality. However there are no results to show its effectiveness. Therefore, this work was to develop a methodology for the evaluation of commercial equipment which automatically controls the sections of the boom and the spraying. For the evaluation of the controller were used three levels of GPS accuracy signal (Firmware, VBS and RTK), three angles for the simulation of entrance and exit of the spray boom crossing the field boundary (0, 45 and 60 °) and three working speeds (1.66, 5.00 and 8.33 m s⁻¹). The self-propelled sprayer was instrumented with various sensors in order to determine the time of opening or closing sections of the spray boom when crossing the field boundary. The automatic boom section and spraying controller evaluated was an AgGPS[®] EZ-Boom[™] Trimble, model 2010, mounted on a self-propelled sprayer Uniport 2500 STAR[®]. The proposed methodology allowed the determination of opening and closing times of the electric valves. The coefficients of variation calculated for the times and distances of opening and closing the electric valves, and start or stop spraying, indicated a considerable variation among the values for the different replications, and more significant in the treatments with simulation of entrance and exit of the boom at angles of 45 and 60°. Significant interactions have been identified depending on the type of GPS signal used, however, it cannot be said what was the best GPS signal. The interactions between different speeds and angles, tend to increase the variation in times and distances of the start and stop spraying. The recommended configuration by the manufacturer, used for the evaluation of the automatic boom sections and spraying controller, does not meet all the simulated situations, being required a specific configuration for each speed in order to reduce gaps and overlaps in the spraying.

Keywords: Microcontroller; GNSS; application of pesticides; electronic systems; precision agriculture

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Diagrama funcional de sistemas de controle de malha fechada, adaptado de Menegaldo (2008).....35
- Figura 2 - Módulo de comando do controlador automático de seções da barra de pulverização AgGPS® EZ-Boom™ modelo 2010 (a) e sistema de guia por barra de luz EZ-Guide® 500 utilizado como display de configuração para o controlador (b).37
- Figura 3 - Pulverizador autopropelido (Uniport 2500 Star®) no qual foi instalado o equipamento controlador automático das seções da barra de pulverização submetido ao ensaio.38
- Figura 4 - Esquema de montagem do controlador automático de seções e pulverização e suas respectivas posições de fixação.40
- Figura 5 - Sensor de radar de velocidade e posição de fixação no centro do eixo traseiro do pulverizador autopropelido.....41
- Figura 6 - Transdutor de pressão (a), acoplagem do transdutor de pressão ao bico de pulverização (b) e localização na barra de pulverização do ponto de fixação do bico (c).41
- Figura 7 - Sensor fotodiodo emissor e receptor (a) e posição de fixação na extremidade da barra de pulverização (b e c).42
- Figura 8 - Posição dos sensores na barra de pulverização, sensores fotodiodos (a), sensores transdutores de pressão (b) e faixas refletivas (c).43

- Figura 9 - Estação base RTK, antena transmissora UHF (a), rádio transmissor UHF (b), antena GPS (c) e receptor de GPS (d). 45
- Figura 10 - Detalhamento dos ângulos de simulação para entrada e saída da barra de pulverização em relação à borda do talhão demarcada no solo: ângulo de 0° (vermelho); ângulo de 45° (verde) e ângulo de 60° (azul claro). 46
- Figura 11 - Diagrama das variáveis utilizadas para o ensaio do controlador automático de seções e pulverização. 47
- Figura 12 - Nomenclatura utilizada para a denominação dos tratamentos durante a realização do ensaio do controlador automático de seções e pulverização. 48
- Figura 13 - Montagem do guia por barras de luzes e as antenas de GPS e do rádio que recebia o sinal de correção RTK no carro-de-mão (a) e contorno das áreas para geração dos arquivos para o ensaio do controlador automático de seção e pulverização (b). 49
- Figura 14 - Representação gráfica dos formatos dos talhões gerados com o contorno da pista de ensaio através do uso do guia por barra de luzes com correção do sistema RTK para os ângulos de 0°(a), 45° (b) e 60° (c). 49
- Figura 15 - Representação dos dados coletados analogicamente; em destaque dados do sensor fotodiodo utilizado para sinalizar a entrada e saída da barra de pulverização no talhão em ângulo de 45°; no eixo x estão representados os tempos em horas e no eixo y o sinal. 50
- Figura 16 - Seleção dos dados para o cálculo de velocidades e da pressão média durante o percurso..... 50

- Figura 17 - Distâncias calculadas para simulação de entrada ou saída das seções em função da linha delimitadora da borda do talhão para o ângulo de 45°.52
- Figura 18 - Distâncias calculadas para simulação de entrada ou saída das seções em função da linha delimitadora da borda do talhão para o ângulo de 60°.52
- Figura 19 - Tempos para abertura (a) e fechamento (b) das válvulas elétricas das seções da barra do pulverizador para a simulação de sua entrada e saída com ângulo de 0° em relação à borda e a barra de pulverização e GPS com filtro interno (firmware) para as velocidades de 1,66, 5,00 e 8,33 m s⁻¹.56
- Figura 20 - Tempos para abertura (a) e fechamento (b) das válvulas elétricas das seções da barra do pulverizador para a simulação de sua entrada e saída com ângulo de 0° em relação à borda e a barra de pulverização e GPS com correção VBS para as velocidades de 1,66, 5,00 e 8,33 m s⁻¹.59
- Figura 21 - Tempos para abertura (a) e fechamento (b) das válvulas elétricas das seções da barra do pulverizador para a simulação de sua entrada e saída com ângulo de 0° em relação à borda e a barra de pulverização e GPS com sistema de correção RTK para as velocidades de 1,66, 5,00 e 8,33 m s⁻¹.60
- Figura 22 - Tempos para abertura (a) e fechamento (b) das válvulas elétricas das seções da barra do pulverizador para a simulação de sua entrada e saída com ângulo de 45° em relação à borda e a barra de pulverização e GPS com filtro interno (firmware) para as velocidades de 1,66, 5,00 e 8,33 m s⁻¹.61

- Figura 23 - Tempos para abertura (a) e fechamento (b) das válvulas elétricas das seções da barra do pulverizador para a simulação de sua entrada e saída com ângulo de 45° em relação à borda e a barra de pulverização e GPS com correção VBS para as velocidades de 1,66, 5,00 e 8,33 m s⁻¹..... 62
- Figura 24 - Tempos para abertura (a) e fechamento (b) das válvulas elétricas das seções da barra do pulverizador para a simulação de sua entrada e saída com ângulo de 45° em relação à borda e a barra de pulverização e GPS com sistema de correção RTK para as velocidades de 1,66, 5,00 e 8,33 m s⁻¹..... 63
- Figura 25 - Tempos para abertura (a) e fechamento (b) das válvulas elétricas das seções da barra do pulverizador para a simulação de sua entrada e saída com ângulo de 60° em relação à borda e a barra de pulverização e GPS com algoritmo interno (firmware) para as velocidades de 1,66, 5,00 e 8,33 m s⁻¹..... 65
- Figura 26 - Tempos para abertura (a) e fechamento (b) das válvulas elétricas das seções da barra do pulverizador para a simulação de sua entrada e saída com ângulo de 60° em relação à borda e a barra de pulverização e GPS com correção VBS para as velocidades de 1,66, 5,00 e 8,33 m s⁻¹..... 66
- Figura 27 - Tempos para abertura (a) e fechamento (b) das válvulas elétricas das seções da barra do pulverizador para a simulação de sua entrada e saída com ângulo de 60° em relação à borda e a barra de pulverização e GPS com sistema de correção RTK para as velocidades de 1,66, 5,00 e 8,33 m s⁻¹..... 67
- Figura 28 - Tempos e distâncias de início ou término da aplicação nas seções extremas da barra de pulverização (4 esquerda e direita), com ângulo de 0° para a simulação de entrada e saída da barra em relação à borda, utilizando os sinais de GPS com algoritmo interno (firmware) (a e b), VBS (c e d) e sistema RTK (e e f), nas velocidades 1, 2 e 3..... 68

- Figura 29 - Tempos e distâncias de início ou término da aplicação nas seções extremas da barra de pulverização (4 esquerda e direita), com ângulo de 45° para a simulação de entrada e saída da barra em relação à borda, utilizando o algoritmo interno (firmware) (a e b), VBS (c e d) e sistema RTK (e e f), nas velocidades 1, 2 e 3.72
- Figura 30 - Tempos e distâncias de início ou término da aplicação nas seções da barra de pulverização (4 esquerda e direita), com ângulo de 60° para a simulação de entrada e saída da barra em relação à borda, utilizando o algoritmo interno (firmware) (a e b), VBS (c e d) e sistema RTK (e e f), nas velocidades 1, 2 e 3.....73
- Figura 31 - Projeção para as distâncias de início e término da pulverização, com ângulo de entrada e saída de 0° da barra de pulverização em relação à borda, com a utilização do algoritmo interno (firmware) (a e b), correção VBS (c e d) e sistema RTK (e e f), para as velocidades 1, 2 e 3.78
- Figura 32 - Projeção para as distâncias de início e término da pulverização, com ângulo de entrada e saída de 45° da barra de pulverização em relação à borda, e a com a utilização do algoritmo interno (firmware) (a e b), correção VBS (c e d) e sistema RTK (e e f), para as velocidades 1, 2 e 3.79
- Figura 33 - Projeção para as distâncias de início e término da pulverização, com ângulo de entrada e saída de 60° da barra de pulverização em relação à borda, e a com a utilização do algoritmo interno (firmware) (a e b), correção VBS (c e d) e sistema RTK (e e f), para as velocidades 1, 2 e 3.80

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Estatística descritiva dos tempos (s) de abertura e fechamento das válvulas elétricas para o ensaio do controlador eletrônico em simulação de entrada e saída no talhão variando ângulos, sinal de GPS e velocidade de deslocamento.57
- Tabela 2 - Estatística descritiva para as distâncias de abertura e fechamento das válvulas elétricas para o ensaio do controlador eletrônico em simulação de entrada e saída no talhão variando ângulos, sinal de GPS e velocidade de deslocamento.58
- Tabela 3 - Estatística descritiva dos tempos (s) para início e término da pulverização para o ensaio do controlador eletrônico em simulação de entrada e saída no talhão, variando sinal de GPS, ângulos e velocidade de deslocamento.69
- Tabela 4 - Estatística descritiva das distâncias (m) para início e término da pulverização para o ensaio do controlador eletrônico em simulação de entrada e saída no talhão variando sinal de GPS, ângulos e velocidade de deslocamento.70
- Tabela 5 - Tratamentos com interações significativas entre os diferentes sinais de GPS, ângulos e velocidades, para os tempos e distâncias de início e término da pulverização.....75
- Tabela 6 - Tratamentos com tempos significativos após desmembramento em função do sinal GPS utilizado.....75
- Tabela 7 - Tratamentos com distâncias significativos após desmembramento em função do sinal GPS utilizado.....76
- Tabela 8 - Tempos de mudança de posição das válvulas de acionamento elétrico77

1 INTRODUÇÃO

A busca por maiores eficiências é uma constante em todos os setores da economia globalizada, para se manter a competitividade. Na agricultura, não poderia ser diferente. A cada dia que passa os produtores rurais se aproximam mais de verdadeiros empresários, utilizando-se das mais novas técnicas de produção disponíveis no mercado, melhorando sua produtividade, reduzindo custos e possibilitando aumento na margem de lucros.

Durante todo o ciclo de produção de matérias primas destinadas a alimentos, fibras e energia, a aplicação dos produtos fitossanitários é um dos pontos críticos. Os defensivos químicos representam uma das principais formas de se combater as pragas, doenças e plantas daninhas das culturas. Contudo, a aplicação dos produtos fitossanitários têm sido alvos de crescente preocupação por parte dos diversos segmentos da sociedade, por serem consideradas substâncias perigosas para a saúde humana, animal e para o ambiente.

Cada vez mais se exige do produtor rural a utilização correta e criteriosa desses insumos. As formas de uso e aplicação dos produtos fitossanitários são as mais diversas possíveis, dependendo da finalidade do tratamento, da fase da cultura e do nível econômico e tecnológico da propriedade.

A aplicação dos produtos fitossanitários é uma atividade que envolve riscos ambientais e econômicos por se tratar de operações que envolvem produtos químicos de grande periculosidade e de valores agregados relativamente elevados, empregados no controle de plantas daninhas, pragas, insetos, etc. Sua utilização vem aumentando constantemente, no entanto a eficiência dessa utilização também carece de melhorias.

Neste contexto, a agricultura de precisão (AP), através da aplicação localizada de insumos, pode proporcionar melhor qualidade, segurança e retorno econômico nas aplicações dos produtos fitossanitários. Isso se deve em grande parte aos avanços da eletrônica, sensores, atuadores e controladores microprocessados e talvez o mais importante, que foi o grande viabilizador da AP, o Sistemas de Navegação Global por Satélites (GNSS).

A AP baseia-se no gerenciamento localizado de sistemas agrícolas, utilizando recursos como mapeamento dos fatores de produção, ferramentas de suporte à decisão e aplicação localizada de insumos, visando à redução de perdas. Assim, os sistemas de manejo tradicionais, com o ineficiente tratamento da variabilidade de fatores que afetam a produção (fertilidade, água,

controle fitossanitário, etc.) a partir de valores médios em extensas áreas de produção, podem dar lugar a estratégias econômicas e ecologicamente mais eficientes.

A aplicação localizada e em taxas variáveis tem sido utilizada com sucesso. Isto torna possível que os produtos fitossanitários sejam aplicados em doses variáveis e somente nos locais necessários, eliminando a aplicação de doses uniformes em área total e aplicação em zonas desnecessárias. Segundo Batte e Ehsani (2006) outra inovação é a utilização de sistemas que controlam automaticamente as seções e a pulverização podem reduzir significativamente a sobreposição, poupando produtos fitossanitários, combustível, e o tempo durante o processo de aplicação, resultando em um maior rendimento operacional e também evitando as falhas entre as passadas.

As sobreposições implicam em custos adicionais na aplicação, além de danos à cultura, ao ambiente, ou ainda a ambos, enquanto as falhas de aplicação devem ser evitadas ao máximo para garantir a eficiência da distribuição correta do insumo, garantindo um controle fitossanitário eficiente, proporcionando o retorno econômico esperado. Essas sobreposições podem ser minimizadas com o controle automatizado da abertura e fechamento da barra de pulverização, de parte, caracterizado por seções, ou mesmo dos bicos, individualmente. Além da maior eficiência nas operações mecânicas, a implantação de sistemas de controle para a aplicação dos produtos fitossanitários, diminui o cansaço gerado pelo labor, aumenta seu rendimento e qualidade de trabalho.

Contudo, o tempo de resposta é um dos fatores mais importantes no desempenho para as máquinas de aplicação de produtos fitossanitários dotadas de controle eletrônico, principalmente em sistemas de aplicação localizada. O erro de aplicação pode ter origem de várias fontes, como georreferenciamento do mapa, atrasos devido à resposta do sistema de controle e os erros advindos da posição do pulverizador no campo.

A posição da máquina no campo é fornecida por um receptor de GNSS, por meio do qual é permitido o controle da aplicação de insumos onde ainda não foram aplicados. Tais equipamentos são concebidos para certas condições de acurácia de sinal de posicionamento, o que deve ser considerado ao utilizá-los. No entanto, essas combinações precisam ser estudadas e exploradas, especialmente nas condições brasileiras onde há limitações de disponibilidade de sinais.

Assim o presente trabalho tem por finalidade desenvolver critérios e procedimentos para avaliar um equipamento que controla automaticamente a abertura e fechamento das sessões de

pulverizadores de barra. Como o desempenho desse tipo de dispositivo é dependente de fatores tais como a qualidade do sinal de GNSS, formato do contorno das lavouras expresso pelo ângulo de entrada e saída da barra pulverizadora em relação à borda do talhão e a velocidade de operação, estes foram utilizados para avaliar o desempenho de um equipamento comercial que controla automaticamente as seções e a pulverização.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A agropecuária sempre teve enorme relevância econômica durante toda a história do Brasil. Os principais ciclos econômicos que o país atravessou desde o início da colonização européia em 1500, estiveram ligados a produtos agrícolas ou de caráter extrativo, como o pau-brasil, a cana-de-açúcar, o fumo, o algodão, o café, a borracha e o cacau (NOGUEIRA, 2001).

A globalização de hoje influencia diretamente o desenvolvimento do setor primário, modificando assim a agricultura brasileira. As aplicações de novas tecnologias contribuem para a constante evolução de setores como a informática e a eletrônica, formam um conjunto de fatores propícios à sua aplicação no setor primário, envolvendo tecnologias como o geoprocessamento e GNSS. Dentre outros fatores, tais tecnologias estão proporcionando à agricultura uma nova forma de se enxergar a exploração das propriedades, transformando o produtor rural em empresário.

2.1 Aplicação de Produtos Fitossanitários

O segmento de agroquímicos vem apresentando faturamento crescente no mercado interno, atingindo US\$ 7,1 bilhões em 2008, com alta de 30% em relação a 2007 (US\$ 5,4 bilhões). Os números colocam o Brasil na liderança no consumo mundial de agroquímicos, posição antes ocupada pelos Estados Unidos (ABIFINA, 2009).

No Brasil o Decreto 4.074, de 4 de janeiro de 2002, que regulamenta a Lei 7.802/1989, em seu artigo 1º, inciso IV, define os agroquímicos como “produtos e agentes de processos físicos, químicos ou biológicos destinados ao uso nos setores de produção, armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou plantadas, e de outros ecossistemas e de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos, bem como as substâncias de produtos empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores de crescimento”.

De acordo com Martins (2000), têm surgido novas terminologias para agroquímicos, sendo também denominados de defensivos agrícolas, agrotóxicos, pesticidas, praguicidas ou biocidas. Os termos agroquímicos e defensivos agrícola são, normalmente, utilizados pelo setor industrial, enquanto os demais são empregados por agricultores, ecologistas e pesquisadores.

O controle de doenças, pragas e plantas daninhas nas áreas de cultivo constitui uma preocupação constante do agricultor. Esse processo só pode ser feito de maneira correta e rentável com emprego de tecnologia adequada. Frequentemente dá-se muita importância ao produto fitossanitário e pouca à técnica de aplicação. A consequência é a perda em eficácia, quando não o fracasso total do tratamento, com superdosagens ou subdosagens, que levam à perda em rentabilidade dos cultivos e a danos ao ambiente e à própria saúde das pessoas que realizam a aplicação (CUNHA; TEIXEIRA, 2003).

A tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários continua sendo um dos pontos de estrangulamento na produção agrícola, pois se necessita melhorar a eficiência nas aplicações em lavouras, diminuindo gastos e desperdícios, aumentando assim o retorno econômico e evitando contaminações ambientais. Dentre as várias etapas que constituem o processo de produção agrícola, a aplicação de defensivos é uma das mais exigentes, pois deve atender não somente ao tratamento da área cultivada, mas também a cuidados com a preservação do ambiente (CHRISTOFOLETTI, 1999).

2.2 Evolução histórica dos equipamentos para a aplicação de defensivos

Consta no registro histórico de que o primeiro instrumento de aplicação de um produto para a proteção de plantas tenha sido uma brocha de pintura, molhada com uma calda de sulfato de cobre e cal e agitada sobre folhas de parreiras, na França (KISSMANN, 2001).

A partir de então foram surgindo novas formas de aplicação desses produtos. Antes de 1868, as plantas eram esfregadas ou lavadas com panos ou escovas, embebidos com a mistura "tóxica" onde se utilizavam determinados tipos de regadores para aumentar a velocidade de aplicação e a uniformidade da distribuição do produto nas culturas. Nesse período começaram a ser utilizados espanadores ou vassouras para arremessar líquidos sobre as plantas e desde então surgiram equipamentos contendo tanques sobre rodas, bombas manuais de recalque e alguns tipos de "espanadores" especiais para esses tipos de máquinas (CHAIN, 1996).

Para a aplicação de caldas líquidas, surgiram os pulverizadores costais manuais, primeiro de folha-de-flandres, depois de latão, e que se prestavam bem para tratamentos em pequenas áreas. Ainda hoje tais equipamentos, feitos de plásticos, prestam excelente serviço nas pequenas propriedades. No Brasil o primeiro instrumento pode ter sido a "máquina de matar formigas", com

um bojo metálico contendo brasas e arsênico ou enxofre, formando gases tóxicos que eram insuflados pelos olheiros dos formigueiros. Com o passar do tempo a aplicação de herbicidas iniciada nas culturas de cana, trigo e soja, exigiu a pulverização de calda líquida em grandes áreas (KISSMANN, 2001). Houve-se então a necessidade de equipamentos com maior capacidade de campo.

De acordo com Cunha (2009), o uso de aviões para fins agrícolas começou antes da Segunda Guerra Mundial. Inicialmente o número de aeronaves era pequeno. Empregavam-se aviões militares modificados. Com o tempo a atividade foi se desenvolvendo e no final da década de 1940 surge o primeiro avião projetado e construído para fins agrícolas. No Brasil, a atividade teve início em 1947, objetivando o controle de gafanhotos no Rio Grande do Sul.

Segundo Ramos e Pio (2008) dentre os métodos de aplicação em uso hoje a aplicação via líquida, com o emprego de água como diluente, é o método predominante, devido à adesividade das partículas líquidas no alvo ser muito superior à do pó, bem como a sua tenacidade.

Nas décadas passadas, pouca atenção era dada à tecnologia de aplicação, pois o interesse consistia em molhar bem a cultura, o que se conseguia mediante um volume de calda bastante elevado. Atualmente, entretanto, existe uma tendência em se reduzir o volume de calda, a fim de reduzir os custos e aumentar a eficiência da pulverização. O uso de menor quantidade de água adicionada aos tanques aumenta a autonomia e a capacidade operacional dos pulverizadores, além de diminuir os riscos de contaminação ambiental, pois reduz o escoamento e, em alguns casos, a evaporação e a deriva. Com o incremento da capacidade operacional, a máquina pode pulverizar áreas maiores (CUNHA; TEIXEIRA, 2003).

Também deve ser considerada a evolução dos produtos fitossanitários e das pontas de pulverização. As pontas de pulverização de jatos planos atualmente disponíveis apresentam capacidade de abrir o ângulo do jato próximo do seu máximo, que na média é de 114° , mantendo a distribuição uniforme das gotas sobre o alvo e produzindo gotas de tamanho adequado, com baixas pressões de operação, possibilitando, dessa forma, a redução do volume de calda nas pulverizações agrícolas (SOUZA; LHAMBY, 2000).

A deriva de gotas é uma das preocupações e em função da necessidade de evitar ao máximo a contaminação ambiental os fabricantes de pontas de pulverização têm lançado no mercado pontas com significativo potencial anti-deriva, as quais produzem gotas de categorias

mais grossas do que as pontas de jatos planos *standard* de mesma vazão, até quando operam com pressões de trabalho maiores (CUNHA et al., 2003).

A evolução da computação e das tecnologias de comunicação tem proporcionado avanços no uso de sistemas computacionais em equipamentos agrícolas, tendência que tem demonstrado resultados positivos no aumento de produtividade (MELLO; CAIMI, 2007). Sensores são incorporados em máquinas agrícolas ou em aeronaves, a fim de fornecer informações úteis sobre as heterogeneidades do solo, culturas e plantas daninhas, por exemplo. Atenção especial pode ser dada à redução de herbicidas utilizadas, que são os principais poluentes na agricultura (BOSSU et al., 2008).

No desenvolvimento dos pulverizadores agrícolas os últimos anos têm sido marcados por constantes avanços, onde os maquinários são equipados com comandos eletrônicos, GNSS como guia e uso da assistência de ar junto à barra dos pulverizadores (BARCELLOS et al., 2006).

Segundo Antuniassi e Baio (2004) o avanço da eletrônica para o monitoramento e controle de equipamentos agrícolas tem sido rápido e pode ser considerado como uma revolução em termos gerenciais e operacionais.

De acordo com Ramos e Pio (2008), no Brasil, com o aumento do número de tratores com cabine, os comandos elétricos de seções tomaram um novo impulso e passaram a ser usados em larga escala, pois nesses casos, dentro da cabine tem-se apenas um painel de controle, sem os riscos da contaminação de produtos e de fácil acionamento pelo operador.

Os sistemas eletrônicos atuais variam desde dispositivos simples, como alarmes eletrônicos, até sistemas complexos para a navegação e controle da aplicação (VAN de ZANDE et al., 1994), cuja localização é dada por um receptor de GNSS (SHUELLER, 2006). De acordo com Batte e Ehsani, (2006) a utilização de sistemas que controlam automaticamente as seções e a pulverização pode reduzir significativamente a sobreposição, poupando produtos fitossanitários, combustível, e o tempo durante o processo de aplicação, resultando em um maior rendimento operacional e também evitando as falhas entre as passadas.

Segundo Zambolim et al. (2008), nos tratamentos fitossanitários com o emprego de herbicidas, a aplicação localizada e a taxa variável pode significar redução de mais de 60% nas quantidades de produtos fitossanitários utilizados. Segundo Scarlett (2001) a implantação de sistemas de controle para a automação pode gerar incrementos da ordem de 15 a 20% na

eficiência de operação de tratores agrícolas. Além disso, ajudam a reduzir os esforços mentais do operador, diminuindo sua fadiga e aumentando seu rendimento e qualidade de trabalho.

Para Nieminen e Sampo (1993), durante as aplicações de produtos fitossanitários os operadores tendem a sobrepor passagens subseqüentes para prevenir os efeitos de falhas nas aplicações. Os dados revelam que a sobreposição pode chegar a 10% da largura da faixa, variando em relação ao tamanho da máquina. Com uma variação ao redor 0,30 m de sobreposição entre as passadas da barra do pulverizador, pode-se causar overdose de até três vezes àquela desejada durante a aplicação dos produtos fitossanitários (RAMON; BAERDEMAEKER, 1997).

Segundo trabalho realizado por Ehsani et al. (2004a,b) estudando a precisão de uma aplicação para dois pulverizadores tradicionais com o sistema de marcador de espuma sob condições de campo, observaram uma razoável variabilidade entre as diferentes passadas e erros entre diferentes operadores. Para um dado operador, a faixa de sobreposição variou de 0.6 a 26% da largura total da barra de pulverização. Eles também encontraram médias dos operadores com sobreposições menores do que 5%, havendo muitas ocorrências de falhas de aplicação.

Uma solução para o problema seria a aplicação localizada de defensivos, que pode contemplar a variação, tanto da dose de defensivo quanto do volume de calda aplicada (ANTUNIASSI, 1998).

Alguns pulverizadores modernos são equipados com sistemas de controle sofisticados, que uma vez conhecida as bordas e obstáculos na lavoura e com auxílio de sistema de posicionamento (GNSS), orienta o pulverizador pelo campo. Quando o mapa de contorno da lavoura já existe, o mesmo pode ser inserido diretamente no computador, da mesma forma que as atualizações podem ser feitas quando um novo obstáculo aparece ou desaparece na área (ANTHONIS et al., 2006).

Segundo Mialhe (2001), o sistema de controle é formado por um conjunto de componentes eletrônicos associados ao circuito hidráulico do pulverizador. Os componentes eletro-eletrônicos de controle incluem: 1) microcontrolador que consiste num circuito integrado que contém muitos dos itens que um computador possui como CPU e memória, mas que não contém nenhuma interface humana como teclado, monitor ou “mouse”; 2) interface do operador que é um conjunto de botões/teclas e “display” de cristal líquido, através dos quais tanto se injeta informações no microcontrolador, como dele se recebe informações; 3) entradas e saídas ou conjunto de sensores (de pressão, vazão e deslocamento do trator), atuadores (servomotor e solenóides de acionamento

das válvulas, comandados pelo microcontrolador) e sinalizadores (sonoros ou luminosos, para chamar a atenção do operador).

Rietz et al. (1998) comenta que os equipamentos para aplicação de defensivos agrícolas devem ter acurácia suficiente para que possam ser comercializados e atinjam um uso otimizado dos defensivos agrícolas. Para Shueller (2006) os sistemas devem ainda ser baratos, seguros, e fáceis para os operadores, normalmente com baixa instrução escolar.

Para Anthonis et al. (2006) para a escolha correta do equipamento a ser utilizado na aplicação, deve-se atentar para equipamentos que possuam tempos de abertura e fechamento tão baixos quanto possível para que possam minimizar os tempos perdidos, tempo de pressurização e tempo de estabilização do sistema hidráulico.

O tempo de resposta é um dos fatores mais importantes de desempenho para as máquinas de aplicação dotadas de controle eletrônico, principalmente em sistemas de aplicação localizada. O erro de aplicação pode ter origem de várias fontes, como georreferenciamento do mapa original (BAJWA; TIAN, 2001), erro na posição do pulverizador (SULLIVAN et al., 2001), e os atrasos devido ao sistema de controle de resposta (PAICE et al., 1995) devido à elevada complexidade do software responsável pelo cálculo e tratamento das informações (UMEZU et al., 2006).

2.3 A inserção de GNSS no contexto da agricultura e na aplicação de defensivos

No Brasil, segundo Molin (2001), o uso de GPS na agricultura se iniciou em 1995, onde alguns poucos proprietários de aviões e pilotos agrícolas adquiriram as primeiras (mais precisamente, duas) unidades de GPS e barra de luzes para instalação em aviões agrícolas. Desde então o GPS vem sendo usado para o posicionamento de várias operações agrícolas, desde colheitas até a aplicação localizada de insumos.

A adoção de tecnologias que permitam identificar e tratar dados individualmente remete para o campo de estudos denominado de Agricultura de Precisão (AP) (McBRATNEY, 2005). A AP surge com a promessa de reverter à situação atual, possibilitando a aplicação de insumos agrícolas de forma localizada e somente na quantidade necessária (LIMA, 2006).

O foco da agricultura de Precisão está na aplicação do conceito de utilização de técnicas e estratégias que visem minimizar perdas, como o uso da precisão dessa tecnologia, que permite a localização com o mínimo de erro, por meio do GPS. Assim, os sistemas de manejo tradicionais,

com o ineficiente tratamento da variabilidade de fatores que afetam a produção (fertilidade, umidade, controle fitossanitário, etc.) pela média de extensas áreas de produção, podem dar lugar a estratégias econômicas e ecologicamente mais eficientes (ZAMBOLIM et al., 2008).

2.4 Sistemas de Navegação Global por Satélites – GNSS

Os sistemas mais conhecidos são o “Global Positioning System” ou Sistema de Posicionamento Global (GPS) dos EUA, o Sistema de Satélites de Navegação Global (GLONASS), da Rússia e o Sistema de Satélite de Navegação Europeu (Galileo), da União Européia, ainda em desenvolvimento (ADAMCHUK et al., 2008). O GNSS é o resultado da soma dos sistemas GPS, GLONASS e GALILEO com a finalidade de garantir a melhoria na geometria, disponibilidade para todas as regiões do globo, integridade e confiança aos usuários (SEGANTINE, 2005).

O GPS é na atualidade o sistema de posicionamento global mais difundido e utilizado, por estar totalmente disponível; foi projetado pelo Departamento de Defesa Norte Americano (DoD) e desenvolvido pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) para uso em aplicações militares para a Marinha e Aeronáutica dos EUA. É um sistema de geoposicionamento por satélites artificiais, baseado na transmissão e recepção de ondas de radiofrequência captadas pelos receptores GPS (ROCHA, 2004).

O princípio básico de funcionamento de um sistema de navegação por satélite é a mensuração da distância entre os satélites e o receptor pela medida do tempo que o sinal de rádio leva para chegar ao receptor. Os sinais de rádios viajam a velocidade da luz. Os satélites são equipados com relógios atômicos e os receptores com avançados relógios de quartzo. A distância é calculado multiplicando o tempo de viagem pela velocidade da luz (aproximadamente $300.000,00 \text{ km s}^{-1}$). O local exato do satélite no espaço é uma condição prévia para este procedimento. Isto é possível porque as órbitas são muito estáveis e previsíveis (LECHNER, 2000; MONICO, 2007).

Os sistemas de posicionamento por satélites têm ampliado sua utilização na agricultura em atividades como mapeamento cadastral, mapeamento topográfico, amostragem de solo georreferenciados, demarcações, georreferenciamento de imagens aéreas e orbitais, auxílio na implementação e manutenção de bancos de dados para Sistemas de Informações Geográficas

(SIG), localização de infestações de pragas e plantas daninhas, mapeamento da produtividade, localização de equipamentos de aplicação de insumos a taxas variáveis, entre outras (CAPPELLI et al., 2004).

Os receptores GNSS são parte integrante dos sistemas de aplicação de taxas variáveis e mais recentemente têm sido usados para orientação de veículos em diversos tipos de aplicações. Podem ainda, ser usados para auxiliar o operador nas decisões de direção ou integrados a sistemas de piloto automático (TAYLOR et al., 2003).

De acordo com Stafford (1996), as aplicações de GNSS na área de AP, requerem acurácias dos receptores, dependentes da operação e dos indicativos de variabilidade que cada operação demanda. Sugere que a acurácia necessária numa aplicação de fertilizantes é de 30 m, na geração de mapas de produtividade é de 10 m, na aplicação de herbicidas é de 1 m, no controle da sobreposição de pulverização é 0,10 m e no cultivo de plantação em fileiras e deposição de sementes no sulco é de 0,05 m.

A carência de informações técnicas sobre o desempenho de receptores de GNSS tem gerado dúvidas entre os usuários, especialmente sobre qual categoria de receptor utilizar para trabalhos específicos (MACHADO, 2008). Algumas das atividades podem fazer uso diretamente dos receptores de navegação, pois não exigem acurácia elevada, outras podem fazer uso destes receptores por meio de correções posteriores ou em tempo real.

Marques (2000) afirma que nas medidas de pseudodistâncias, encontram-se diversos tipos de erros, a saber: erros dos relógios dos satélites, erros dos relógios dos receptores, erros das efemérides (órbitas dos satélites), atraso ionosférico, atraso troposférico, multicaminhamento, erros relativísticos, condições relativas à geometria dos satélites (DOP), erros na recepção do sinal e erros referentes a ruídos no receptor. Esses erros na medição do posicionamento, dependendo do tipo da aplicação, podem interferir significativamente nos resultados esperados.

Para obter maior acurácia do GPS, pode ser utilizada a técnica de correção diferencial, sendo esse sistema conhecido como Sistema de Posicionamento Global Diferencial (DGPS) ou GPS diferencial. O DGPS permite obter menor erro na determinação do posicionamento, sendo uma técnica empregada para remover a maioria dos erros aleatórios na utilização do GPS. O funcionamento do mesmo baseia-se na hipótese de que o erro na determinação de um ponto é semelhante para todos os receptores situados em um raio de até centenas de quilômetros. A

eliminação desse erro permite que o usuário reduza significativamente o erro total presente (LIMA et al., 2006).

O sistema de correção de base fixa faz-se uso de um segundo receptor de GPS, geralmente denominado de estação base ou de referência, fixado em um ponto de coordenadas conhecidas, que pode operar simultaneamente com vários receptores de GPS móveis. Os receptores de GPS móveis são utilizados na determinação das coordenadas do usuário, permitindo, assim, calcular a diferença entre a posição obtida por meio desse receptor de GPS base e a posição real (LIMA et al., 2006). De acordo com Guo (2002), embora alguns dos receptores de GPS sejam mais acurados, como os que utilizam o sistema denominado de “*Real Time Kinematics* (RTK), que é capaz de prover um nível de exatidão centimétrica, a maioria dos sistemas de GPS de baixo custo, geralmente usados em máquinas agrícolas, normalmente possui um nível maior de erro de posicionamento, e não pode satisfazer a exigência de exatidão de muitas operações agrícolas.

O segmento de mercado de GNSS para aplicações agrícolas se intensifica com a adoção de práticas de AP, que exigem a utilização de receptores para monitoramentos e navegação na coleta de dados, nas colhedoras, nas máquinas aplicadoras de insumos e em muitas outras aplicações (MOLIN; CARREIRA, 2006).

A correção diferencial pode ser realizada de duas formas: pós-processada ou em tempo real. Nessa última, o sinal de correção é enviado em tempo real ao receptor móvel para realizar as devidas correções no sinal recebido. As fontes mais utilizadas de geração do sinal de correção diferencial são os rádios-faróis operados pela Marinha, estações de rádio terrestres ou ainda satélites de comunicação. Uma alternativa para a geração do sinal de correção diferencial é a utilização de uma estação de correção privada com receptor fixo e transmissão de sinal via rádio, tendo em vista que outras fontes de geração do sinal de correção podem ser inviáveis por questões geográficas, econômicas e políticas (LIMA et al., 2006).

No Brasil segundo Molin (1998) os serviços comerciais de correção com sistemas via satélite ou “*satellite-based augmentation system*” (SBAS), surgiram no ano de 1997.

2.5 Controladores eletrônicos

Umezu e Cappelli (2006) preconizam que sistemas de controle têm sido cada vez mais utilizados em máquinas e equipamentos agrícolas. É comum se encontrar tratores e colhedoras

equipadas com diversos sistemas automáticos para controle de tarefas que tradicionalmente eram realizadas pelo próprio operador da máquina.

A automatização permite que as máquinas executem as tarefas de forma produtiva, eficiente, segura, e precisa, sem a necessidade de um grande número de pessoas para seu controle. Um exemplo disto é o controlador agrícola mais famoso, sendo um sistema de controle automático, desenvolvido por Harry S. Ferguson em 1920, que permitiu variar a profundidade dos implementos de preparo de solo para manter uma carga de tração constante no trator.

Para Figueiredo et al. (2000 apud STONE, 1991), o avanço da tecnologia de microeletrônica para o controle de sistemas agrícolas foi rápido. Os microprocessadores foram introduzidos no início dos anos 1970, quando era praticamente impossível se disponibilizar sistemas portáteis por um custo acessível para uso na agricultura. Hoje, entretanto, estão disponíveis na forma de computadores portáteis e de fácil instalação, permitindo o monitoramento das operações agrícolas.

Os microcontroladores estão cada vez mais presentes, e mesmo imperceptíveis, agregam conforto e facilidades ao nosso cotidiano (SENAI, 2006). Segundo Numajiri (2003), o microcontrolador é definido como sendo um sistema computacional integrado, pois possui unidade de processamento, memória e entradas e saídas integradas em um único chip. É assim denominado, pois, a partir de dados de entrada, executa algum processamento, mediante um programa armazenado em uma memória, gerando um sinal de saída.

Os microcontroladores são dispositivos de tamanho reduzido, capazes de realizar controle de máquinas e equipamentos com grande diversidade de aplicações e por isso a quantidade de microcontroladores desenvolvidos para um modelo projetado é bastante grande, havendo a diluição de grande parte do investimento de desenvolvimento, que por sua vez torna o componente bastante atrativo em termos de custo (SENAI, 2006).

Um microcontrolador é um sistema computacional completo. As partes integrantes de qualquer computador, e que também estão presentes em menor escala nos microcontroladores são: unidade central de processamento (CPU); sistema de *clock* para dar seqüência às atividades da CPU; memória para armazenamento de instruções e para manipulação de dados; entradas para interiorizar na CPU informações do mundo externo; saídas para exteriorizar informações processadas pela CPU e programa (*firmware*) para definir um objetivo ao sistema (CARTOLANO Jr.; AVEGLIANO, 2005).

A tecnologia atual possibilita a construção de sistemas microcontrolados bastante eficientes e a baixos custos (EMBRAPA, 1997).

Os microcontroladores normalmente são classificados em famílias, dependendo da aplicação a que se destinam. A partir da aplicação que a família se destina, um conjunto de periféricos específicos e escolhido é integrado a um determinado microprocessador. Apesar da classificação dos microcontroladores em famílias, existem periféricos necessários a praticamente todas as aplicações, que são a memória de dados e a memória de programa. A memória de dados mais utilizada é a RAM (*Random Access Memory*), que é uma memória volátil, ou seja, não preserva o seu conteúdo sem uma fonte de alimentação (BAZANELLA, 2005).

2.6 Sistemas de controle

Segundo Bazanella et al. (2005) os sistemas de controles são divididos em controles de malha aberta e de malha fechada. Sistemas de controle de malha aberta são aqueles em que a saída do processo não exerce nenhum efeito sobre a entrada e sistemas de controle de malha fechada (Fig. 1) são aqueles em que a energia de entrada no sistema é de alguma forma uma função da própria saída (sistema de controle por realimentação).

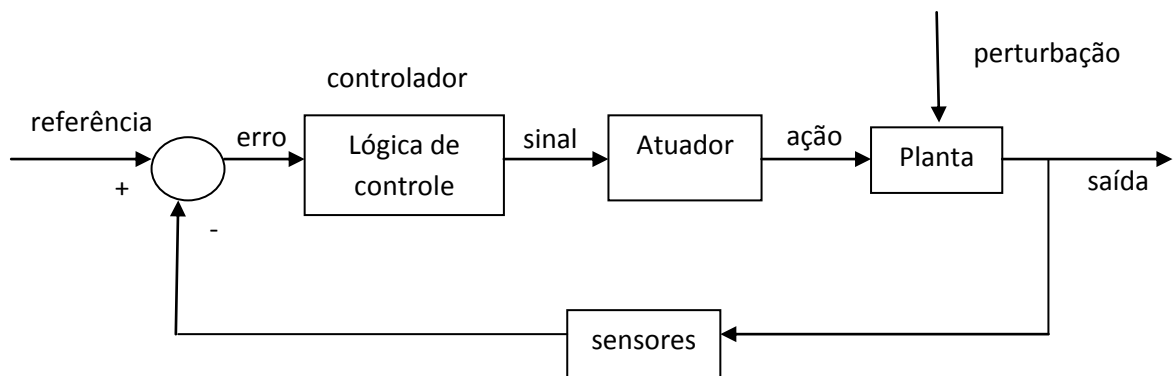


Figura 1 - Diagrama funcional de sistemas de controle de malha fechada, adaptado de Menegaldo (2008)

Para Menegaldo (2008) os sistemas de malha aberta são mais baratos por não necessitarem de sensores, são convenientes quando não se pode medir a saída, são de construção simples e manutenção fácil. Como desvantagens, cita que são sensíveis a perturbações e imprecisos; um

sistema de controle de malha aberta fornecerá a saída desejada se não ocorrerem perturbações externas que alterem o valor da saída ou alterações paramétricas internas do sistema. Se alguma destas ocorrer, a saída muda, mas a ação de controle continua exatamente a mesma. Já os sistemas de malha fechada têm como vantagem boa precisão quando comparados aos sistemas em malha aberta e rejeitam o efeito das perturbações sobre a variável do processo. Como desvantagens, são mais complexos e caros, pois necessitam do uso de sensores.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho consistiu inicialmente no desenvolvimento de uma metodologia para a caracterização do desempenho de um equipamento comercial, que acoplado aos pulverizadores montados, de arrasto ou autopropelidos, controla automaticamente as seções da barra de pulverização. Depois de definido o procedimento, submeteu-se o equipamento a um ensaio de campo, realizado nas dependências do Centro de Pesquisa & Desenvolvimento da empresa Máquinas Agrícolas Jacto S.A., situadas nas coordenadas geográficas 22°06'39"S e 50°15'08"W, no município de Pompéia, SP.

O equipamento submetido à avaliação foi o controlador automático de seções e pulverização AgGPS® EZ-Boom™ Trimble, modelo 2010, (Figura 2a) com controle automatizado das seções da barra, compatível com até 10 seções, atuando no controle de taxa de aplicação e com corrente de alimentação de 12V DC.

O sistema de controle automático das seções da barra de pulverização trabalha em conjunto com o sistema de guia por barra de luzes AgGPS EZ-Guide® 500 (Figura 2b), utilizado como *display* de configuração para o controlador. O sistema de guia por barra de luzes possui *display* colorido de 171 mm (7") e 31 LEDs (luzes) indicativos para visualização rápida da orientação, uma porta USB para transferência de arquivos relativos ao registro das operações, conexão para sistema guia automático (piloto automático) de atuador com motor elétrico ou de atuador hidráulico.



Figura 2 - Módulo de comando do controlador automático de seções da barra de pulverização AgGPS® EZ-Boom™ modelo 2010 (a) e sistema de guia por barra de luz EZ-Guide® 500 utilizado como display de configuração para o controlador (b)

O sistema de guia por barra de luzes é equipado com processador de 400 MHz de velocidade, os cálculos de sobreposição são realizados a cada 250 ms (Hz) e a voltagem de entrada é de 11 – 16 V, 14 V nominal. O sistema de guia por barra de luzes possui um receptor de GPS L1/L2 integrado.

Para a sua avaliação dentro do contexto das aplicações para as quais é recomendado, o equipamento foi montado em um pulverizador autopropelido da marca comercial Uniport 2500 Star[®] (Máquinas Agrícolas Jacto S.A.). As principais especificações técnicas do pulverizador autopropelido apresentado na Figura 3, são sintetizadas no Quadro 1.



Figura 3 - Pulverizador autopropelido (Uniport 2500 Star[®]) no qual foi instalado o equipamento controlador automático das seções da barra de pulverização submetido ao ensaio

O esquema de montagem do controlador automático das seções da barra de pulverização é sistematizado na Figura 4. A antena do receptor de GPS fixada no teto da cabine do veículo é conectada ao sistema de guia por barra de luzes utilizada como display para a configuração e inserção de dados para o conjunto, que por sua vez é conectado ao controlador automático de seções da barra e de pulverização, ambos instalados dentro da cabine do pulverizador autopropelido. O controlador automático de seções e pulverização é ligado diretamente às

válvulas de acionamento elétrico, que são responsáveis pela abertura ou fechamento (liga ou desliga a pulverização) em cada seção da barra do pulverizador.

Peso sem carga	7060 kgf
Dimensões	
Largura c/ barras fechadas	3,20m
Altura	3,70m
Distância entre eixos	3,30m
Bitola	de 2,10 a 2,70m
Vão livre do solo	1,35m
Motor	
Marca	Perkins 4 cilindros
Potência	101,49 kW
Direção	hidrostática
Freio	hidráulico
Pneus	12,4 x 36 - 12 lonas
Suspensão	pneumática
Barras	
Comprimento	24 m
Altura de trabalho	de 0,50 a 1,90 m
Número de seções	8
Modelo do porta-bicos	Bijet ou Quadrijet
Espaçamento entre bicos	35/50 cm
Número de portas-bico	69/49
Tanque de defensivo	
Capacidade	2500 L
Bomba	
Modelo	JP-100
Capacidade de recalque	100 L min ⁻¹ a 540 RPM
Controlador de pulverização	JMC 1000
Agitação da calda	mecânica com variador de rotação

Quadro 1 - Especificações técnicas do pulverizador autopropelido (Uniport 2500 Star®) utilizado juntamente com o equipamento controlador eletrônico de pulverização submetido ao ensaio

O controlador automático de seções e pulverização tem a possibilidade de controlar de 1 a 10 seções. A barra do pulverizador autopropelido utilizado para a montagem do controlador para a realização do ensaio foi dividida em 8 seções. Cada seção é composta por 6 bicos (pontas) de

pulverização, espaçados de 0,5 m, resultando em um espaçamento total de 3,0 m para cada seção, com exceção da primeira seção do lado esquerdo, que devido à arquitetura da barra de pulverização, tem um bico a mais, resultando em 7 bicos, com largura total da seção de 3,5 m. Quando o controlador atua fechando a seção de forma a cessar a aplicação, automaticamente a válvula de alívio do comando se abre liberando a pressão do sistema de forma a retornar o fluxo ao tanque de armazenamento.



Figura 4 - Esquema de montagem do controlador automático de seções e pulverização e suas respectivas posições de fixação

Para se determinar a velocidade de deslocamento durante os percursos do veículo (pulverizador autopropelido) foi utilizado o sensor de radar de velocidade modelo RGSS-201, da marca Mid-Tech, acoplado a uma coluna de sustentação, que possibilita a regulagem de altura do sensor de radar de velocidade em relação ao solo, fixado centralizadamente no eixo traseiro, na parte inferior do veículo (Figura 5).



Figura 5 - Sensor de radar de velocidade e posição de fixação no centro do eixo traseiro do pulverizador autopropelido

Para a determinação do tempo exato do início ou término da pulverização em relação à borda do talhão foram utilizados dois transdutores elétricos de pressão que convertem os valores de variação de pressão em grandezas elétricas. O modelo utilizado foi o C-10, marca Wika (faixa de trabalho 0 - 2,41 MPa). Os transdutores foram acoplados aos últimos bicos de pulverização, nas extremidades da barra do pulverizador. Na Figura 6 tem-se o transdutor de pressão, posição de montagem nos bicos de pulverização e localização dos transdutores de pressão na barra de pulverização.

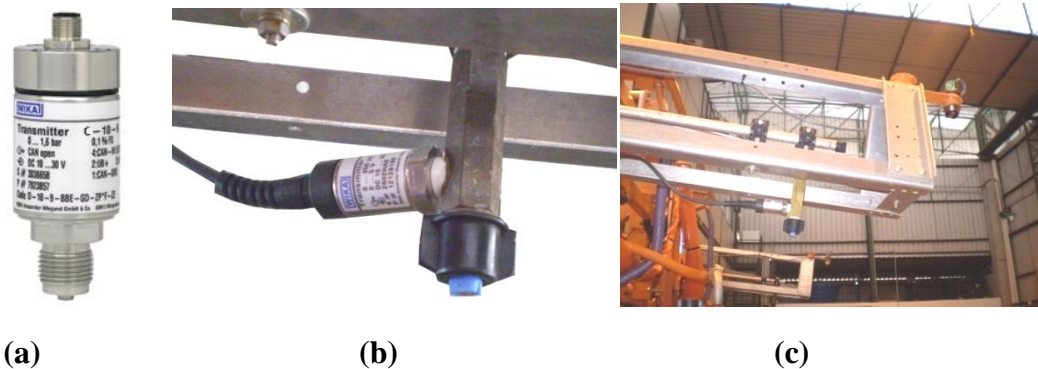


Figura 6 - Transdutor de pressão (a), acoplagem do transdutor de pressão ao bico de pulverização (b) e localização na barra de pulverização do ponto de fixação do bico (c)

Para se determinar o ponto exato de entrada ou saída da ponta da barra de pulverização do pulverizador autopropelido foram utilizados dois sensores fotodiodos da marca SENSE. Os fotodiodos foram fixados nas extremidades das barras de pulverização (Figura 7), possibilitando a detecção do ponto exato da entrada ou saída da ponta da barra sobre a linha delimitadora do talhão (borda do talhão). As principais características do sensor fotodiodo são sintetizadas no Quadro 2.

Características técnicas, modelo OR6K-30GI70-A2	
Sistema	Refletivo
Diâmetro	30 mm
Distância sensora	6 m
Alvo padrão	espelho 50x60 (op.)
Tempo de resposta	<20 ms
Imunidade a luz solar	10.000 Lux
Imunidade a luz incandescente	3.500 Lux
Luz emitida	infravermelha
Corrente de consumo	<30 mA
Tipo de saída	PNP
Configuração de saída	NA + NF
Número de fios	4
Corrente máxima de saída	200 mA
Sinalização	led
Temperatura de operação	0°C a +60°C
Peso	210 g

Quadro 2 - Principais características do sensor fotodiodo segundo dados do seu fabricante

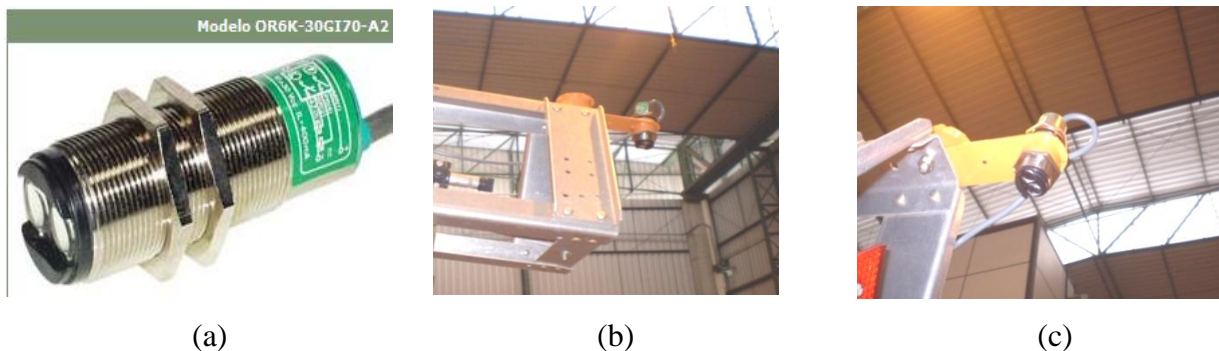


Figura 7 - Sensor fotodiodo emissor e receptor(a) e posição de fixação na extremidade da barra de pulverização (b e c)

Os fotodiodos são sensores emissores e receptores que trabalham na faixa do espectro da luz infravermelha e para não haver interferência do sinal emitido e recebido por eles foram utilizadas faixas refletivas sob a linha delimitadora da borda do talhão, de forma que com a barra de pulverização passando sobre as mesmas, o sinal fosse refletido de volta para o sensor fotodiodo. As faixas tinham dimensões de 0,15 m de largura por 2,0 m de comprimento, sendo alocadas de acordo com as marcações em solo para cada ângulo de entrada e saída da barra de pulverização em relação à borda do talhão, sempre sob a projeção das extremidades da barra. Na Figura 8 tem-se a localização dos sensores fotodiodos e as posições das faixas refletivas em solo sob os sensores e os transdutores de pressão.

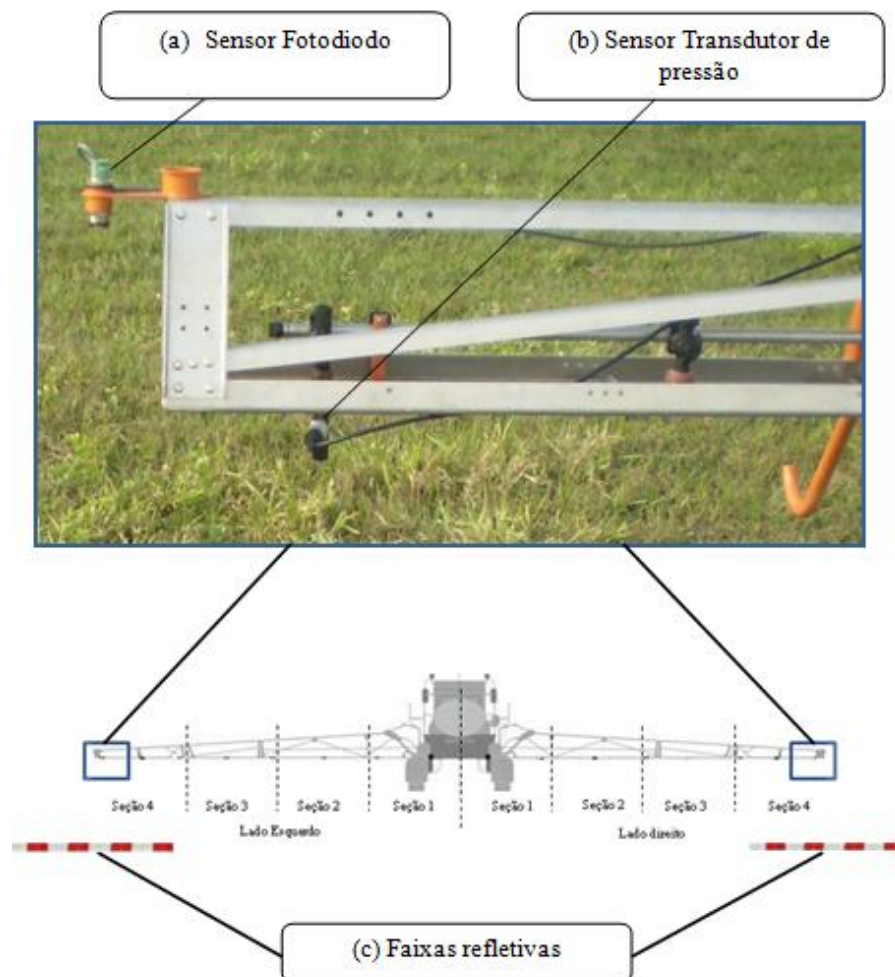


Figura 8 - Posição dos sensores na barra de pulverização, sensores fotodiodos (a), sensores transdutores de pressão (b) e faixas refletivas (c)

O dispositivo utilizado para coletar os dados advindos dos diferentes sensores instalados no pulverizador autopropelido foi o sistema de aquisição de dados de marca comercial LYNX, modelo ADS-2000. O sistema de aquisição é composto por um gabinete compacto, fonte de alimentação AC (90~240 V) e DC (10 a 18V), até 32 canais e comunicação em rede Ethernet/IP e frequência de coleta de até 1 kHz. No ensaio foi utilizada a frequência de 200 Hz, considera suficiente para a identificação das variáveis em estudo. O software utilizado pelo coletor para a aquisição dos dados foi o AqDados 7.0 da Lynx Tecnologia Eletrônica Ltda. Para o armazenamento dos dados foi utilizado um computador portátil Compaq Evo, modelo N1020v (Figura 9).

Para a demarcação da pista de ensaio, bem como para os diferentes tratamentos referentes aos ângulos de entrada e saída do talhão foi utilizado um teodolito topográfico ótico mecânico, de marca comercial CST, modelo CST 56-SCT1. Foram demarcadas as posições em solo para os diferentes ângulos de entrada e de saída da barra de pulverização em relação à borda do talhão. Na seqüência foram cravados piquetes e ligados através de cordas para facilitar a visualização e posterior colocação das faixas refletivas para cada ângulo a ser utilizado no ensaio.

Para a avaliação do controlador automático de seções e pulverização foram estabelecidos tratamentos envolvendo as variáveis de sinal de GPS, velocidades de deslocamento do veículo e ângulos de simulação para entrada e saída da barra de pulverização em relação à borda do talhão.

Foram selecionados os sinais de GPS que expressam os maiores contrastes e representam as reais possibilidades de utilização perante a disponibilidade do mercado. Os sinais avaliados foram um sistema RTK, um sinal de correção comercial SBAS (“*satellite-based augmentation system*”, ou via satélite) e um receptor de GPS L1 apenas com recursos de algoritmo interno de filtragem de erros de posicionamento (firmware), comum no mercado brasileiro para aplicações em sistema de guia por barra de luzes.

O sistema RTK representa um sinal com alto valor de aquisição, porém sem custos referentes a taxas anuais; a acurácia, segundo o fabricante, é de aproximadamente 2,5 cm, desde que a estação base de correção seja alocada próxima ao receptor em uso. A estação base RTK utilizada para a correção dos erros de posicionamento do pulverizador autopropelido durante os ensaio foi composta pelo receptor AgGPS 332 com 12 canais, antena do GPS do tipo ZephyrTM geodetic, rádio transmissor Trimble[®] HPB - 450 de 450 MHz e antena para o rádio transmissor HPB - 450 UHF. A antena receptora do sinal de rádio RTK montada no pulverizador

autopropelido foi do modelo SiteNet 450 multicanal UHF. Foi utilizada uma bateria de 12 V como fonte de energia para a estação base (Figura 4). A estação base foi montada cerca de 100 m do local de ensaio.

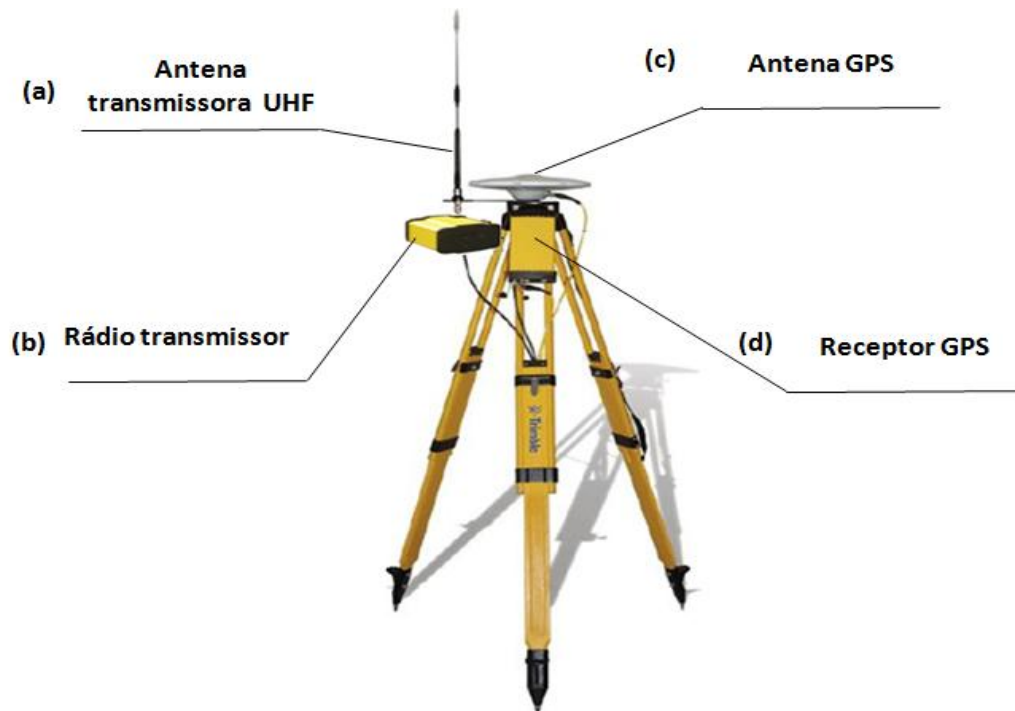


Figura 9 - Estação base RTK, antena transmissora UHF (a), rádio transmissor UHF (b), antena GPS (c) e receptor de GPS (d)

O sinal SBAS VBS, da empresa Omnistar é um sinal de correção conhecido no meio agrícola brasileiro, transmitido através de satélite geoestacionário, com custo de utilização na ordem de 1200 US\$/ano e acurácia sub-métrica. O sinal de GPS utilizando apenas o software interno do receptor é denominado pelo fabricante de “firmware”, e serve como recurso de filtro de erros de posicionamento, sem custo de utilização pelos usuários.

Para associar a qualidade de posicionamento com o tempo de resposta do sistema de controle foram selecionadas três velocidades de deslocamento para o veículo, sugeridas pelo seu fabricante. Utilizou-se como metas as velocidades de 1,66, 5,00 e 8,33 m s⁻¹ (6, 18 e 30 km h⁻¹).

Para avaliar especialmente a geometria dos talhões e dos obstáculos internos a estes, onde o sistema deve atuar para controlar automaticamente a abertura e fechamento das seções da barra de pulverização visando minimizar a sobreposição e as falhas na pulverização foram adotados três ângulos para a simulação de entrada e saída da barra de pulverização do pulverizador

autopropelido em relação à borda do talhão. A Figura 10 mostra a pista e os diferentes ângulos demarcados. A pista foi demarcada no sentido noroeste – sudeste, com os percursos do pulverizador autopropelido realizados nos dois sentidos.

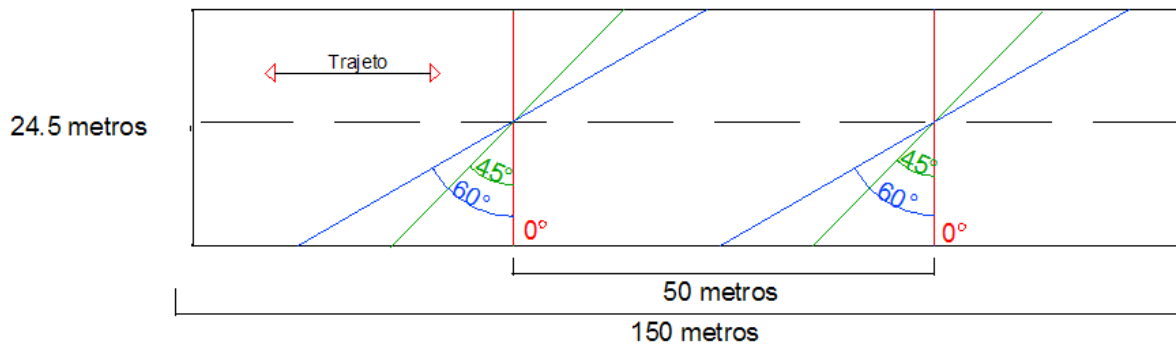


Figura 10 - Detalhamento dos ângulos de simulação para entrada e saída da barra de pulverização em relação à borda do talhão demarcada no solo: ângulo de 0° (vermelho); ângulo de 45° (verde) e ângulo de 60° (azul claro)

Com isso estabeleceram-se as variáveis e o delineamento experimental, representado no diagrama da Figura 11. Na Figura 12 está representada a nomenclatura proposta para facilitar o trabalho e o controle interno durante a realização dos ensaios.

Para a geração dos arquivos com os formatos da área do talhão para os diferentes ângulos de simulação de entrada e saída da barra de pulverização em relação à borda há a possibilidade de inserção de arquivo do polígono ou o percurso feito com o próprio veículo pulverizador. Por se tratar de área muito pequena (pista de ensaio) montou-se o sistema de guia por barra de luzes e as antenas do GPS e do rádio que recebia o sinal de correção da base RTK em um carro-de-mão para a realização do contorno da área, seguindo a demarcação em solo com cordas (Figura 13). Na Figura 14 são representados graficamente os formatos dos talhões assim gerados com o contorno da pista de ensaio para os ângulos de 0° , 45° e 60° .

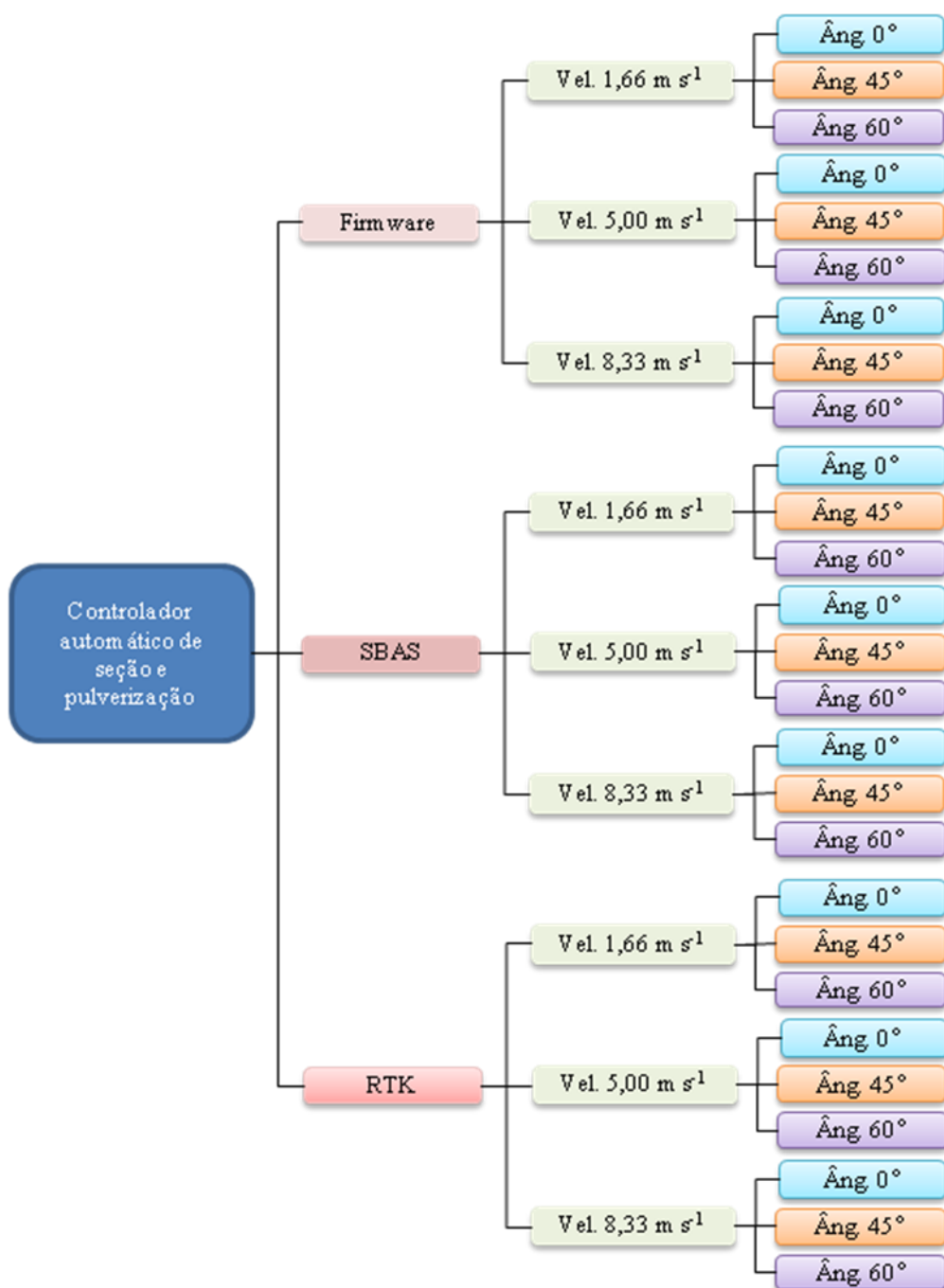


Figura 11 - Diagrama das variáveis utilizadas para o ensaio do controlador automático de seções e pulverização

Código do nome do arquivo - testes com o controlador automático de seção e pulverização

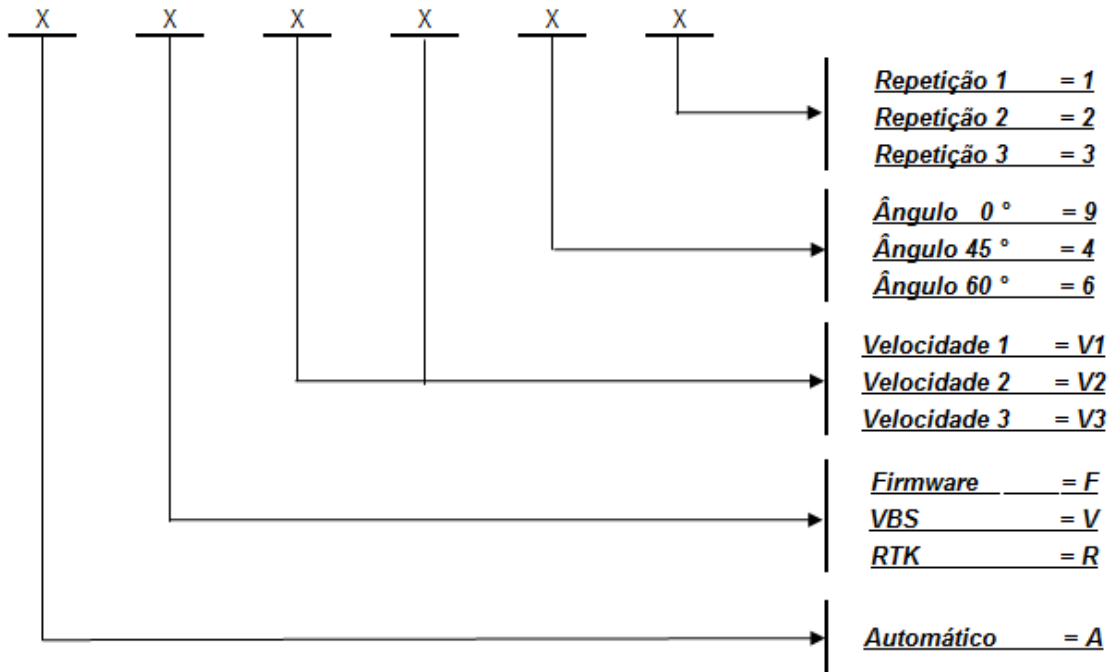


Figura 12 - Nomenclatura utilizada para a denominação dos tratamentos durante a realização do ensaio do controlador automático de seções e pulverização

Para esta conversão foi utilizado o software *AqDAnalysis 7.0* da empresa Lynx Tecnologia Eletrônica Ltda. Primeiramente aplicou-se um filtro para a remoção da maioria dos ruídos normalmente encontrados nestes tipos de dados. Após essa remoção procedeu-se a transformação dos arquivos. Basicamente coletaram-se a variável tempo e os sinais elétricos (pulsos) advindos dos sensores instalados.

Na Figura 15 é apresentado um exemplo do gráfico emitido pelo software mostrando os pulsos gerados pelo sensor óptico (fotodiodo) no momento que a barra de pulverização cruza a linha delimitadora do talhão (borda). A linha verde representa o comportamento do sensor ao longo do percurso da pista de ensaio e com seu valor fixo em torno de 7 V. Quando o mesmo passa sobre as faixas refletivas alocadas na linha que delimita o talhão, apresenta um pico próximo a 0 V (zero), indicando o tempo exato da entrada da barra pulverizadora no talhão.



Figura 13 - Montagem do guia por barras de luzes e as antenas de GPS e do rádio que recebe o sinal de correção RTK no carro-de-mão (a) e contorno das áreas para geração dos arquivos para o ensaio do controlador automático de seção e pulverização (b)

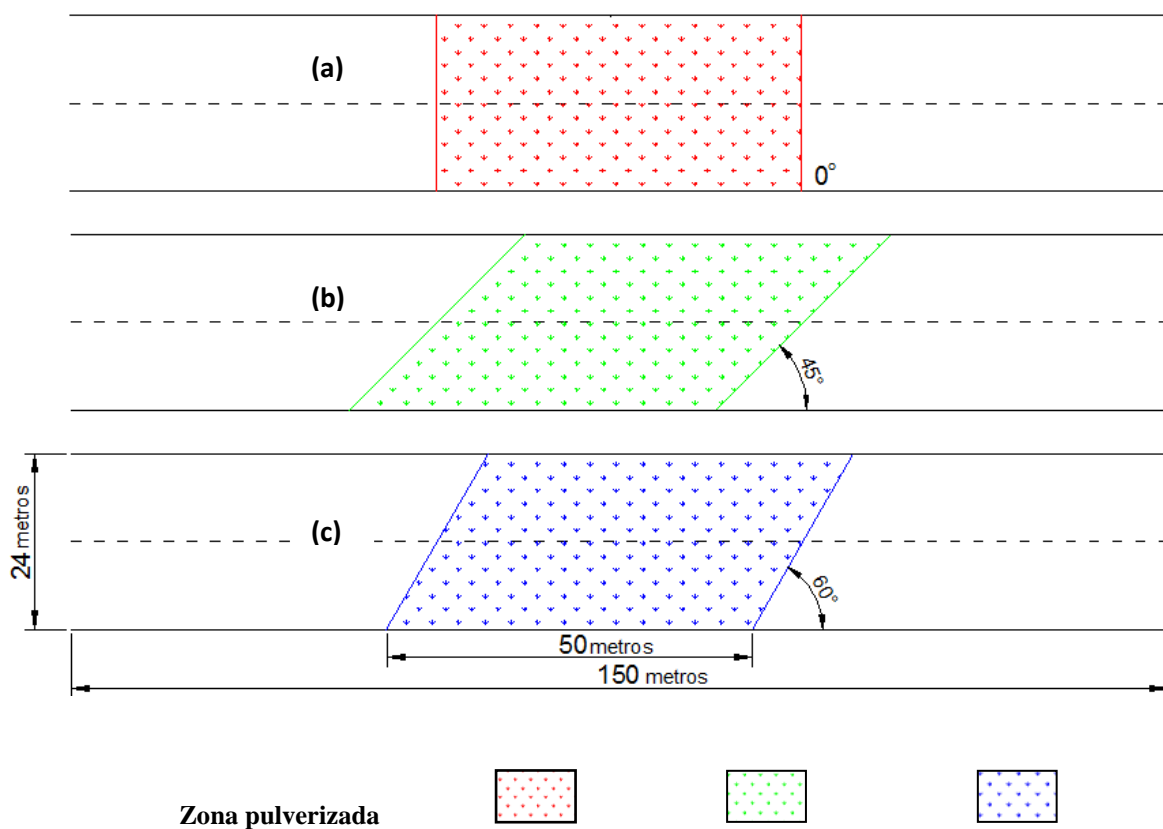


Figura 14 - Representação gráfica dos formatos dos talhões gerados com o contorno da pista de ensaio através do uso do guia por barra de luzes com correção do sistema RTK para os ângulos de 0° (a), 45° (b) e 60° (c)

Para se calcular as velocidades e pressões médias ao longo dos percursos do ensaio, se utilizou da ferramenta estatística do software *AqDAnalysis* 7.0. As médias de velocidade e de pressão foram obtidas ao longo dos percursos, delimitados pelos limites do talhão (Figura 16).

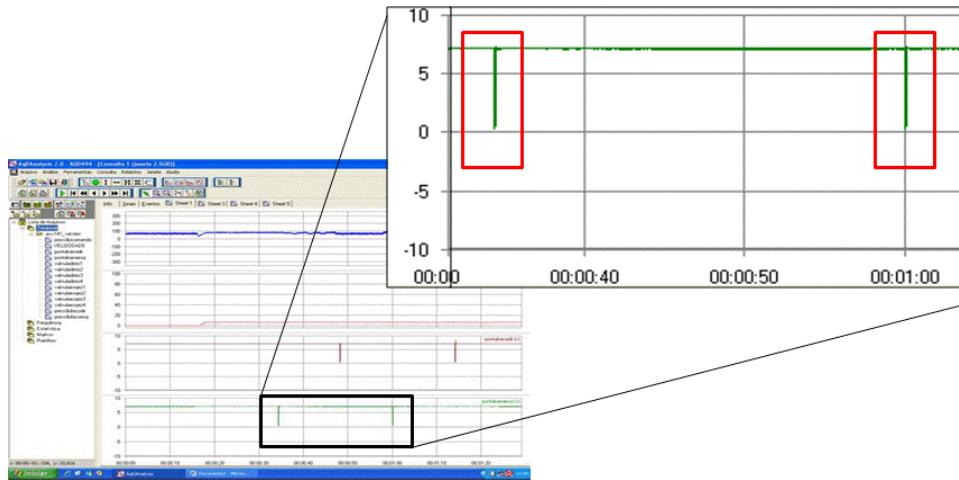


Figura 15 - Representação dos dados coletados analiticamente; em destaque dados do sensor fotodiodo utilizado para sinalizar a entrada e saída da barra de pulverização no talhão em ângulo de 45°; no eixo x estão representados os tempos em horas e no eixo y o sinal

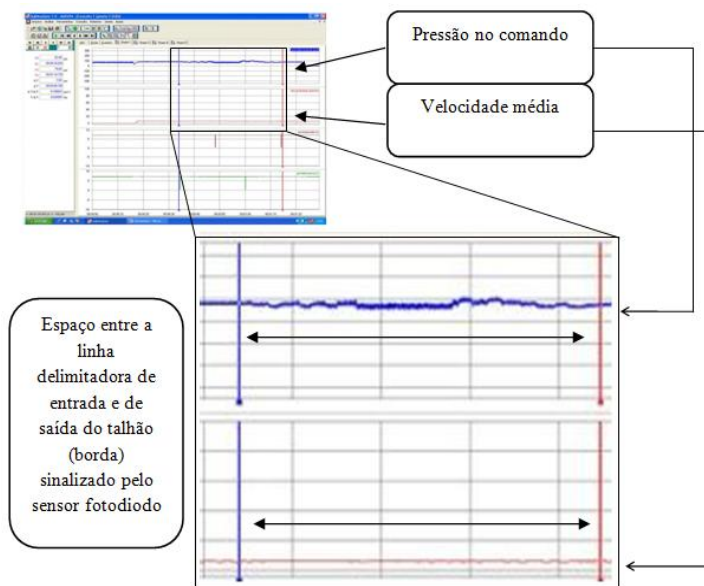


Figura 16 - Seleção dos dados para o cálculo de velocidades e da pressão média durante o percurso

Para se determinar o tempo em que as válvulas de acionamento elétrico abriram ou fecharam, ou ainda, o início ou término da pulverização em função da linha delimitadora da borda do talhão, aplicou-se a Equação 1 para obter os tempos de abertura ou fechamento das válvulas de acionamento elétrico que controlam as seções, para os caso com tratamentos com ângulo de 0°. Se o valor encontrado é negativo (-), significa que a válvula de acionamento elétrico abriu antes que o pulverizador autopropelido ultrapassasse a borda do talhão, e se o valor é positivo (+) significa que ele abriu após ultrapassar a linha delimitadora da borda do talhão.

$$T_a \text{ (ou } T_f) = T_{va} - T_{fd} \quad (1)$$

em que:

T_a - tempo de abertura (s);

T_f = tempo de fechamento (s);

T_{va} - tempo da válvula (s);

T_{fd} - tempo do fotodiodo (s);

Os tempos de abertura ou fechamento das válvulas de acionamento elétrico, bem como o início ou término da pulverização para os tratamentos que envolviam os ângulos de 45° e 60° foram determinados geometricamente. Para isso houve a necessidade de se fixar um ponto de origem (P_o) para efeito dos cálculos geométricos para a determinação do ponto exato (tempos ou distância) no qual cada seção deveria abrir ou fechar, ou ainda iniciar ou terminar a pulverização. O P_o nada mais é que o sensor fotodiodo da extremidade da barra que ultrapassa primeiramente a linha delimitadora da borda do talhão. Tal ação é necessária para que se possam determinar também as distâncias para cada seção, em função da linha delimitadora da borda do talhão, a partir do P_o .

Com o auxílio de um software CAD (Desenho Assistido por Computador), se determinou as distâncias para a abertura ou fechamento das válvulas para cada seção em função da linha delimitadora da borda do talhão e de acordo com o ângulo utilizado. Nas Figuras 17 e 18 são apresentadas as distâncias da linha delimitadora da borda do talhão em função do ângulo utilizado.

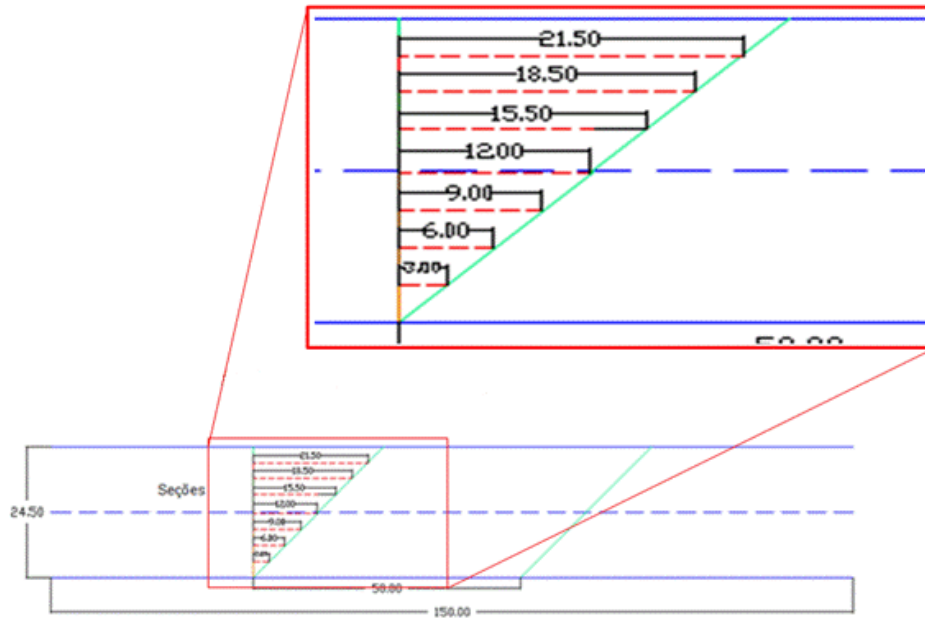


Figura 17 - Distâncias calculadas para simulação de entrada ou saída das seções em função da linha delimitadora da borda do talhão para o ângulo de 45°

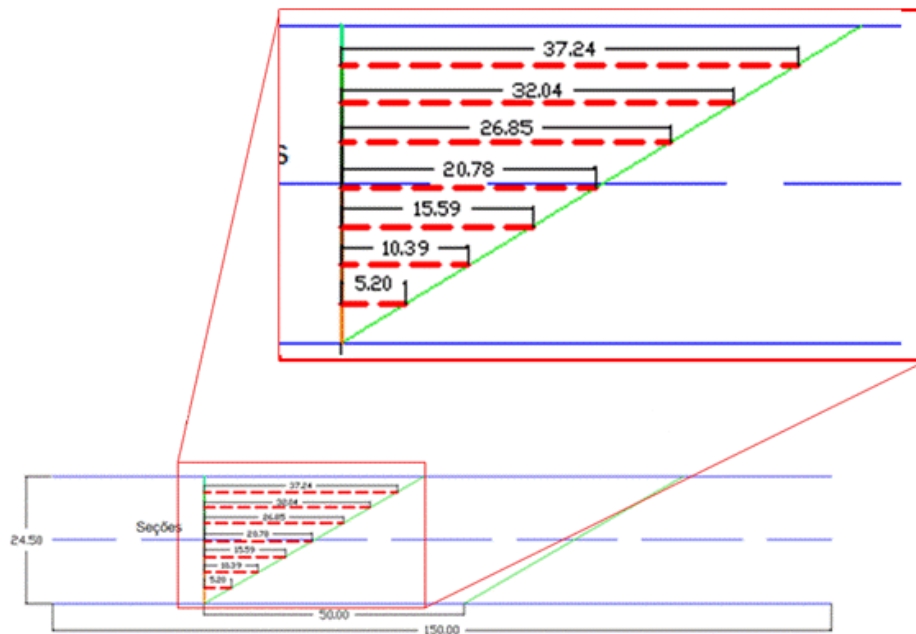


Figura 18 - Distâncias calculadas para simulação de entrada ou saída das seções em função da linha delimitadora da borda do talhão para o ângulo de 60°

Após se determinar o P_o e suas respectivas distâncias para cada seção, calculou-se então o tempo calculado (T_c). O T_c expressa o tempo (definido por geometria a partir do P_o) exato onde o controlador deveria atuar de forma a abrir ou fechar as válvulas, ou ainda, início ou término da pulverização no caso das seções monitoradas. O T_c é o resultado da divisão das distâncias entre a linha delimitadora da borda do talhão (metros) até a seção n (W_s) pela velocidade média ($m\ s^{-1}$) da repetição (Equação 2).

Após se determinar o T_c determina-se o tempo teórico (T_t). O T_t expressa o tempo real em que o controlador atuou abrindo ou fechando, ou ainda, o início ou término da pulverização, em relação ao P_o . O T_t é o resultado da subtração dos tempos entre o P_o e os tempos de abertura ou fechamento da seção n (T_{sc}), ambos em segundos (Equação 3).

Por fim, calculam-se os tempos de abertura ou fechamento das válvulas de acionamento elétrico ou início ou término da pulverização em ângulo (T_{aa}), que é o resultado da subtração entre o T_t (tempo este que sinaliza a posição da linha delimitadora da borda do talhão) e o T_c (tempo real de abertura ou fechamento das válvulas, ou ainda o início ou término da pulverização nas seções monitoradas).

$$T_c = W_s / \text{Vel.} \quad (2)$$

em que:

T_c - tempo calculado (s);

W_s - espaço entre o ponto de origem e a válvula de acionamento elétrico da seção n (m);

Vel. - velocidade média ($m\ s^{-1}$).

$$T_t = T_o - T_{sc} \quad (3)$$

em que:

T_c - tempo teórico (s);

P_o - tempo do ponto de origem (s);

T_{sc} - tempo da seção n (s);

$$T_{a\hat{a}} \text{ (ou } T_{f\hat{a}}) - T_t - T_c \quad (4)$$

em que:

$T_{\hat{a}}$ - tempo de abertura/fechamento ângulo (s);

T_c - tempo calculado (s);

T_t - tempo teórico (s);

Os tempos de abertura ou fechamento das válvulas, bem como de início ou término da pulverização das seções extremas (seção 4, esquerda e direita) são apresentados em segundos. Para se determinar as distâncias em relação à linha delimitadora da borda do talhão, basta multiplicar o tempo pela velocidade média de deslocamento, ou seja, 1,66; 5,00 ou 8,33 m s⁻¹.

O delineamento do ensaio para a validação da metodologia e avaliação do controlador automático de seção e pulverização compreendeu um experimento com arranjo fatorial 3x3x3. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa SAS (1998). Primeiramente se aplicou a análise de homogeneidade dos dados e posteriormente procedeu-se a remoção dos dados anormais existentes.

A comparação da interação tripla dos tratamentos e da relação entre as variáveis foi avaliada por meio de análise de variância, verificando-se a significância pelo teste F de Snedecor a 5 % de significância. Para os tratamentos significativos aplicou-se o desmembramento em matriz pelo teste Tukey a 5% de significância, em função da variável sinal de GPS.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram divididos em três partes. Na primeira são apresentados os tempos para a abertura e o fechamento por válvulas de acionamento elétrico das seções do pulverizador autopropelido e discutida a estatística descritiva dos tempos de abertura e fechamento das válvulas (do conjunto). Na segunda parte é apresentado o contexto de caracterização dos tempos de início e término da aplicação (pulverização) e por fim, uma projeção dos tempos de início e término da pulverização para as demais seções da barra do pulverizador autopropelido.

4.1 Tempos para aberturas e fechamento das válvulas de acionamento elétrico

Na Figura 19 têm-se os tempos médios para a abertura e o fechamento das válvulas de acionamento elétrico das seções da barra do pulverizador autopropelido, calculados a partir da linha delimitadora da borda do talhão, para a simulação de entrada (Fig. 19a) e saída (Fig. 19b) do pulverizador. Nesse caso simulou-se o ângulo de 0° da barra do pulverizador em relação à borda do talhão, utilizando o sinal de GPS apenas com algoritmo interno (firmware) para a correção dos erros de posicionamento, para as velocidades de 1,66, 5,00 e 8,33 m s^{-1} , respectivamente.

Nota-se que as válvulas de acionamento elétrico das seções tiveram sua abertura antes da barra do pulverizador autopropelido ter cruzado a linha delimitadora da borda do talhão, para as velocidades 1, 2 e 3. Em média, os tempos para a abertura foram: -0,25, -1,45 e -1,23 s para as velocidades 1, 2 e 3 respectivamente (Tabela 1). Convertendo os tempos para distâncias, as suas aberturas ocorrerão a -0,45, -7,06 e -9,91 m da borda (Tabela 2). Os coeficientes de variação calculados para os tempos de abertura das válvulas de acionamento elétrico foram de 73,8, 25,4 e 16,7% para as velocidades 1, 2 e 3, respectivamente. Nota-se que com o aumento da velocidade diminui o valor do CV.

Para os tempos de fechamento (Figura 19b), as válvulas apresentaram comportamentos semelhantes ao dos tempos de abertura, abrindo antes que a barra do pulverizador autopropelido ultrapassasse a borda do talhão. Nota-se que há comportamentos distintos para o desvio padrão

dos tempos de abertura e fechamento das válvulas entre os dois lados da barra do pulverizador autopropelido, em que o lado esquerdo se apresenta com valores diferenciados em relação aos valores observados no lado direito (Figura 19a e b), se dando o fechamento das válvulas 0,50 a 0,11 s depois da barra do pulverizador ter ultrapassado a borda do talhão.

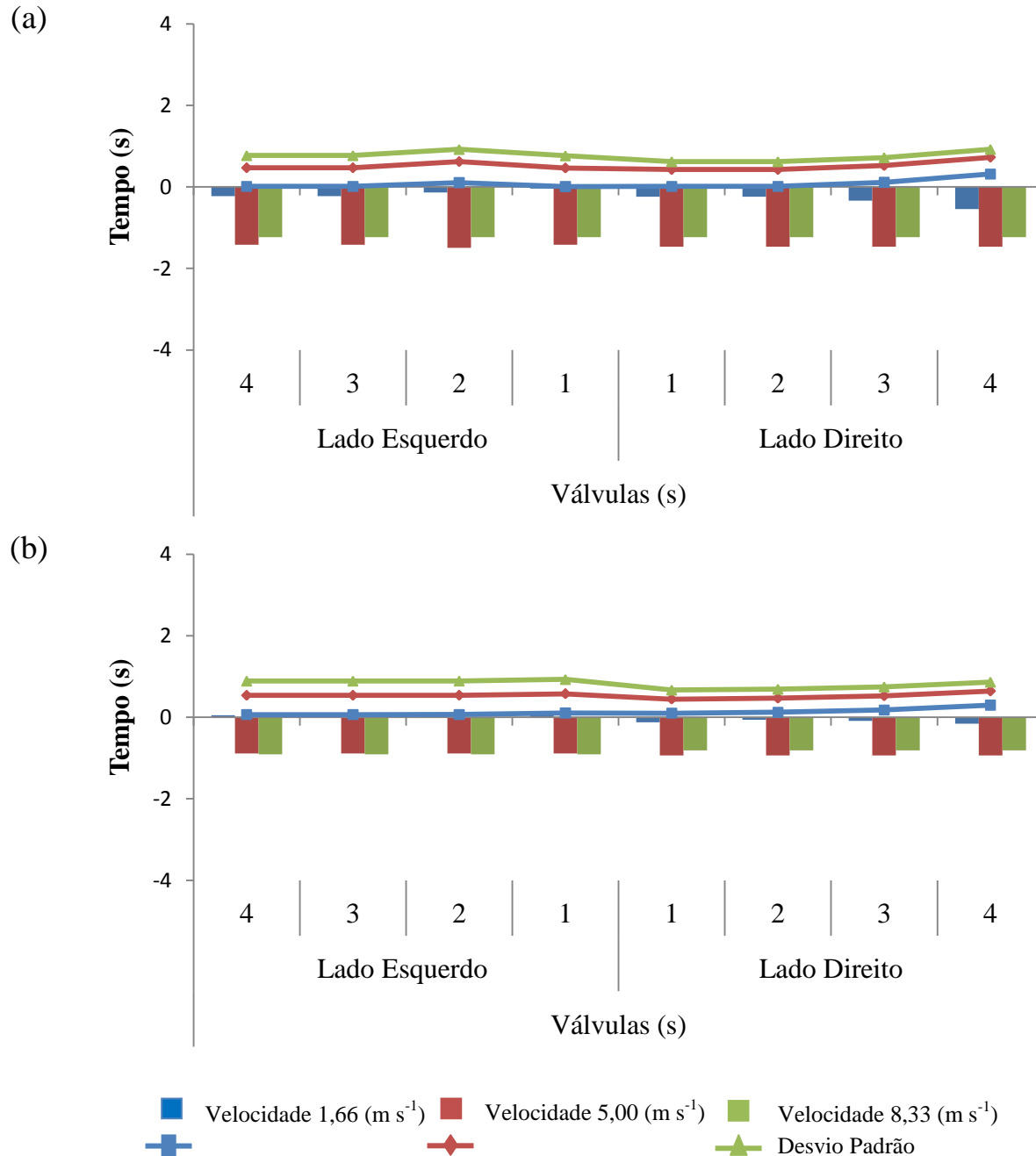


Figura 19 - Tempos para abertura (a) e fechamento (b) das válvulas elétricas das seções da barra do pulverizador para a simulação de sua entrada e saída com ângulo de 0° em relação à borda e a barra de pulverização e GPS com filtro interno (firmware) para as velocidades de 1,66, 5,00 e $8,33 \text{ m s}^{-1}$

Tabela 1 - Estatística descritiva dos tempos (s) de abertura e fechamento das válvulas elétricas para o ensaio do controlador eletrônico em simulação de entrada e saída no talhão variando ângulos, sinal de GPS e velocidade de deslocamento

Sinal de GPS	Velocidade (m s-1)	Ângulo	Tempos (s)									
			Abertura					Fechamento				
			Máximo	Mínimo	Média	DP*	CV (%)	Máximo	Mínimo	Média	DP*	CV (%)
Firmware	1,66	0°	-0,03	-0,86	-0,25	0,18	73,83	0,25	-0,54	-0,02	0,13	79,87
		45°	0,68	-3,10	-1,70	1,13	56,83	2,91	-0,95	0,53	1,06	83,52
		60°	0,27	-3,64	-2,11	1,50	68,80	4,54	-0,35	1,41	1,75	118,76
	5,00	0°	-0,90	-1,84	-1,45	0,37	25,44	-0,34	-1,21	-0,91	0,34	37,21
		45°	-0,48	-1,90	-1,01	0,56	55,46	0,57	-0,94	0,04	0,19	32,25
		60°	-0,44	-1,89	-1,08	0,43	39,56	1,16	-0,32	0,48	0,36	64,87
	8,33	0°	-1,04	-1,58	-1,23	0,21	16,67	-0,61	-1,31	-0,86	0,24	28,35
		45°	-0,75	-1,72	-1,27	0,34	26,85	0,06	-0,87	-0,48	0,30	61,01
		60°	-0,75	-1,61	-1,22	0,22	17,95	0,24	-0,48	-0,07	0,15	80,59
VBS	1,66	0°	-0,81	-1,64	-1,32	0,34	25,81	0,21	-1,29	-0,81	0,33	38,73
		45°	0,18	-2,44	-0,86	0,97	110,16	2,20	-0,56	1,26	0,85	59,69
		60°	-0,21	-3,06	-2,04	0,94	45,95	3,46	0,43	1,65	1,03	62,21
	5,00	0°	-1,13	-1,50	-1,25	0,13	10,17	-0,58	-0,90	-0,73	0,11	15,24
		45°	-0,64	-1,58	-1,18	0,33	28,23	0,32	-0,64	-0,25	0,16	41,49
		60°	-0,56	-1,76	-1,15	0,34	29,72	0,96	-0,24	0,44	0,31	63,61
	8,33	0°	-1,14	-1,39	-1,27	0,08	6,51	-0,55	-0,91	-0,73	0,14	18,52
		45°	-0,96	-1,55	-1,17	0,22	18,75	-0,20	-0,74	-0,44	0,20	45,82
		60°	-0,84	-1,86	-1,37	0,31	22,83	0,19	-0,69	-0,30	0,21	57,52
RTK	1,66	0°	-0,83	-1,42	-1,29	0,07	5,09	-0,45	-1,19	-0,78	0,25	32,48
		45°	-0,53	-1,48	-1,07	0,22	20,44	1,36	0,72	0,99	0,20	20,43
		60°	-0,84	-2,00	-1,48	0,29	19,67	2,55	1,42	2,04	0,33	16,14
	5,00	0°	-1,07	-1,40	-1,23	0,09	7,58	-0,66	-0,94	-0,76	0,10	13,15
		45°	-0,67	-1,43	-1,13	0,14	12,29	0,12	-0,40	-0,13	0,12	77,15
		60°	-0,96	-1,58	-1,29	0,17	13,38	0,46	0,05	0,24	0,12	48,67
	8,33	0°	-1,14	-1,36	-1,23	0,08	6,25	-0,81	-0,94	-0,89	0,04	4,51
		45°	-0,93	-1,32	-1,13	0,09	8,35	-0,26	-0,61	-0,38	0,09	23,37
		60°	-1,07	-1,44	-1,24	0,09	7,31	-0,01	-0,45	-0,19	0,12	66,07

* Desvio Padrão

Tabela 2 - Estatística descritiva para as distâncias de abertura e fechamento das válvulas elétricas para o ensaio do controlador eletrônico em simulação de entrada e saída no talhão variando ângulos, sinal de GPS e velocidade de deslocamento

GPS	Velocidade (m s ⁻¹)	Ângulo	Distâncias (m)									
			Abertura					Fechamento				
			Máximo	Mínimo	Média	DP*	CV (%)	Máximo	Mínimo	Média	DP*	CV (%)
Firmware	1,66	0°	-0,05	-1,60	-0,45	0,32	72,35	0,46	-0,96	-0,03	0,22	77,50
		45°	1,20	-5,23	-2,90	1,93	56,31	5,14	-1,60	0,97	1,89	84,90
		60°	0,47	-6,28	-3,65	2,60	68,70	7,99	-0,60	2,48	3,07	119,05
	5,00	0°	-4,42	-8,89	-7,06	1,76	24,97	-1,70	-5,87	-4,42	1,66	37,54
		45°	-2,29	-9,02	-4,82	2,64	54,64	2,77	-4,45	0,20	0,88	31,46
		60°	-2,11	-8,97	-5,15	2,01	39,07	5,57	-1,52	2,33	1,74	64,98
	8,33	0°	-8,33	-12,70	-9,91	1,71	17,22	-4,87	-10,53	-6,93	2,02	29,20
		45°	-5,92	-13,45	-9,96	2,65	26,57	0,47	-6,81	-3,73	2,34	60,92
		60°	-5,97	-12,54	-9,63	1,65	17,18	1,91	-3,74	-0,51	1,14	79,93
VBS	1,66	0°	-1,40	-2,82	-2,27	0,60	26,29	0,37	-2,22	-1,40	0,60	40,95
		45°	0,32	-4,19	-1,49	1,67	109,45	3,88	-0,97	2,21	1,49	59,98
		60°	-0,38	-5,33	-3,53	1,61	45,54	6,09	0,75	2,88	1,82	63,32
	5,00	0°	-5,55	-7,23	-6,09	0,59	9,72	-2,83	-4,34	-3,56	0,54	15,04
		45°	-3,07	-7,53	-5,64	1,58	27,99	1,56	-3,06	-1,17	0,74	41,32
		60°	-2,67	-8,38	-5,52	1,60	29,00	4,64	-1,14	2,10	1,48	63,77
	8,33	0°	-9,30	-11,18	-10,23	0,64	6,29	-4,44	-7,32	-5,87	1,07	18,25
		45°	-7,57	-12,11	-9,23	1,67	18,13	-1,59	-5,82	-3,46	1,56	45,25
		60°	-6,63	-14,59	-10,79	2,44	22,62	1,53	-5,42	-2,35	1,62	57,36
RTK	1,66	0°	-1,42	-2,42	-2,22	0,24	10,64	-0,78	-2,07	-1,34	0,43	32,20
		45°	-0,93	-2,59	-1,85	0,38	20,55	2,35	1,24	1,72	0,35	20,57
		60°	-1,45	-3,53	-2,58	0,52	20,05	4,46	2,46	3,57	0,59	16,38
	5,00	0°	-5,15	-6,90	-6,01	0,49	8,20	-3,20	-4,61	-3,72	0,49	13,28
		45°	-3,21	-6,86	-5,42	0,66	12,25	0,56	-1,91	-0,64	0,55	76,98
		60°	-4,56	-7,56	-6,17	0,84	13,60	2,16	0,24	1,15	0,56	48,51
	8,33	0°	-9,12	-10,97	-9,87	0,65	6,59	-6,55	-7,52	-7,14	0,30	4,24
		45°	-7,22	-10,31	-8,88	0,73	8,23	-2,05	-4,81	-2,96	0,70	23,68
		60°	-8,37	-11,30	-9,73	0,72	7,37	-0,08	-3,47	-1,48	0,98	65,97

* Desvio Padrão

Na velocidade 1 a abertura ou fechamento das válvulas ocorreu mais próximo à linha delimitadora da borda do talhão. Apresentando-se uma redução nos desvios padrão dos tempos de abertura e fechamento das válvulas, sendo mais expressivos com o uso do sistema RTK (Figura 21) e conseqüentemente redução nos coeficientes de variação, que ficaram abaixo de 7,6%. Tal fato pode ser explicado pela alta acurácia de posicionamento que o sistema RTK proporciona.

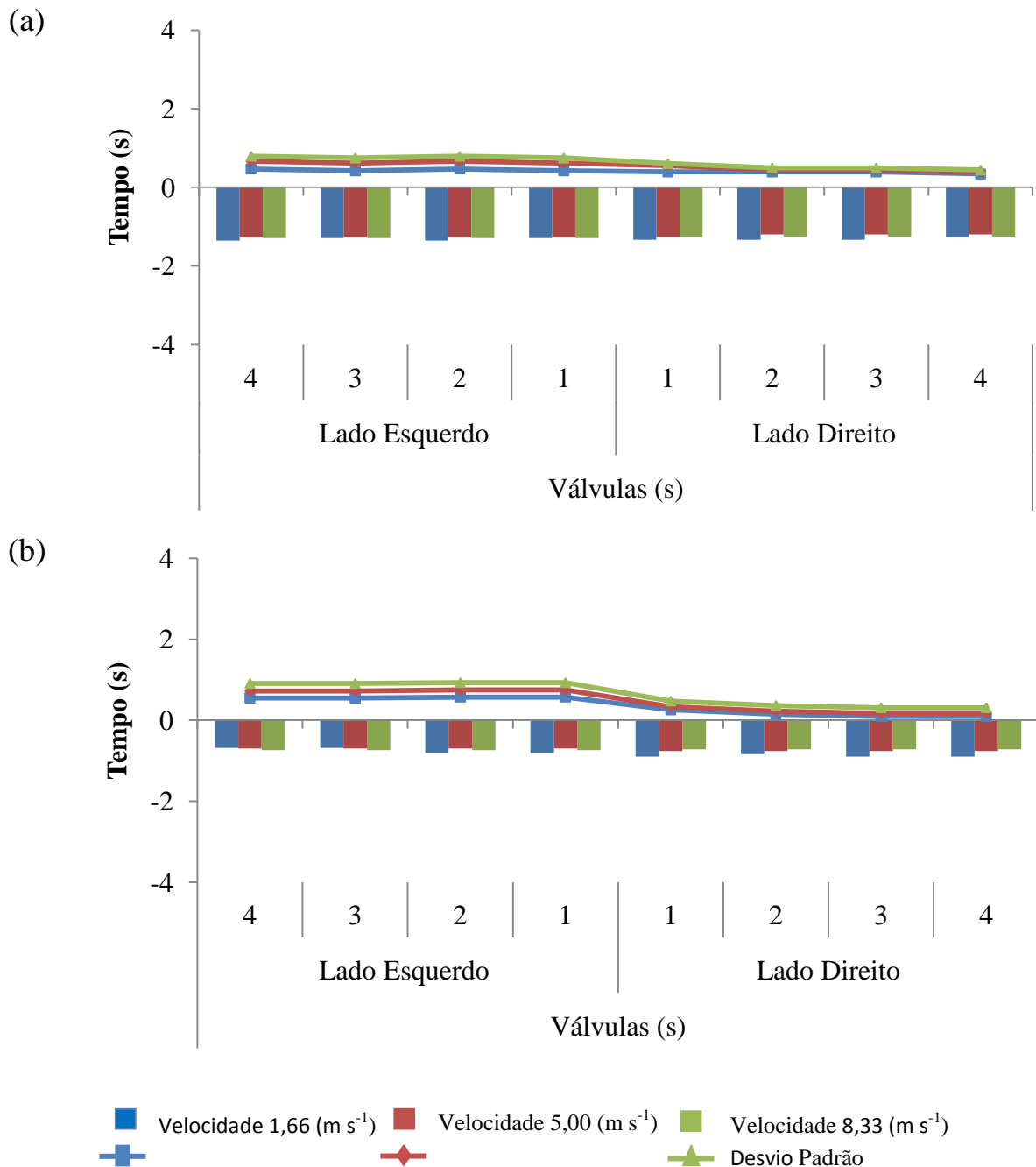


Figura 20 - Tempos para abertura (a) e fechamento (b) das válvulas elétricas das seções da barra do pulverizador para a simulação de sua entrada e saída com ângulo de 0° em relação à borda e a barra de pulverização e GPS com correção VBS para as velocidades de 1,66, 5,00 e 8,33 m s⁻¹

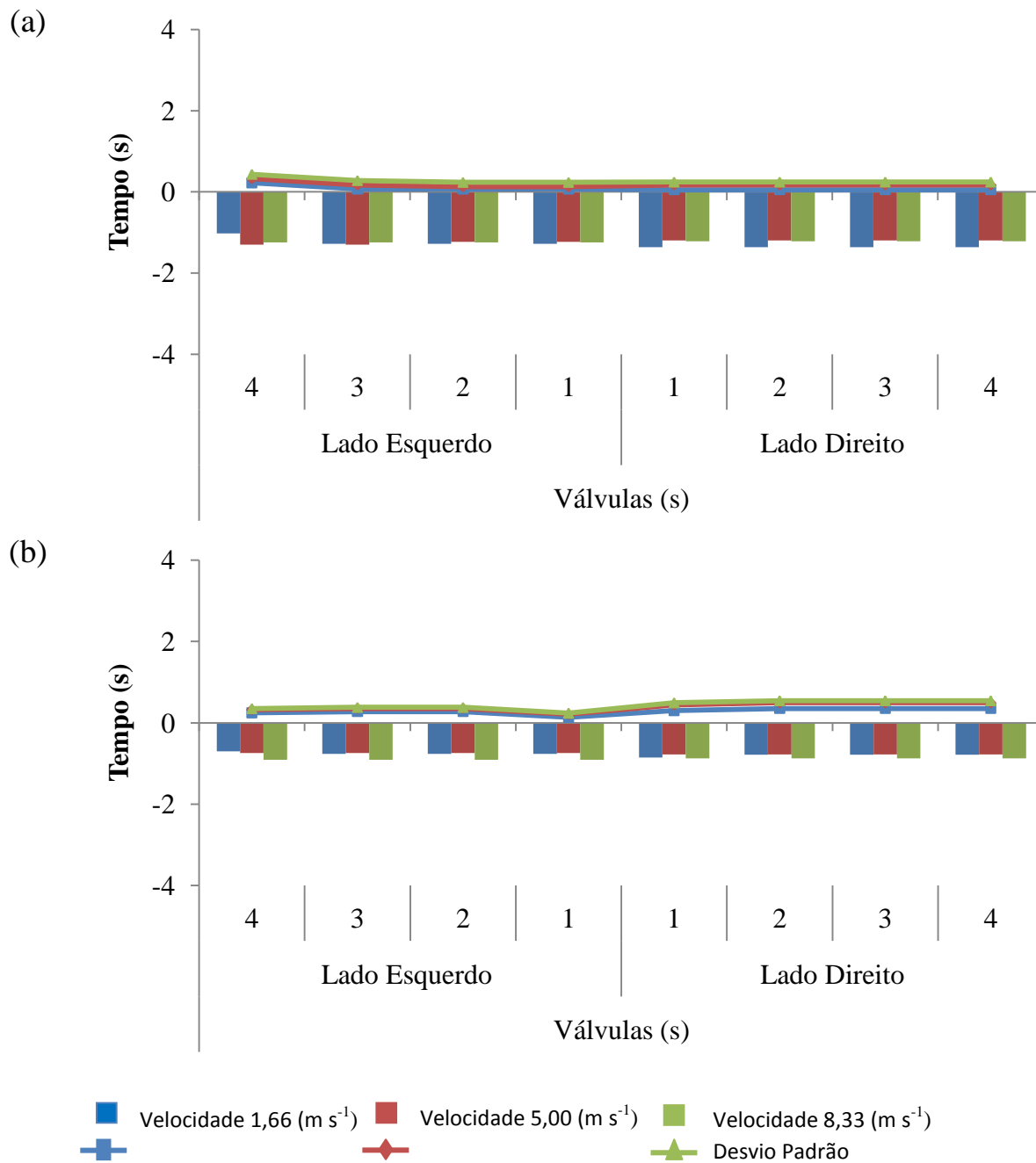


Figura 21 - Tempos para abertura (a) e fechamento (b) das válvulas elétricas das seções da barra do pulverizador para a simulação de sua entrada e saída com ângulo de 0° em relação à borda e a barra de pulverização e GPS com sistema de correção RTK para as velocidades de 1,66, 5,00 e $8,33 \text{ m s}^{-1}$

Nas Figuras 22, 23 e 24 têm-se os tempos para a abertura e o fechamento das válvulas de acionamento elétrico das seções da barra do pulverizador autopropelido, com ângulo em 45° de inclinação da barra de pulverização em relação à borda do talhão, utilizando o software interno

do GPS (firmware), VBS e sistema RTK para correção dos erros de posicionamento para as velocidades 1, 2 e 3.

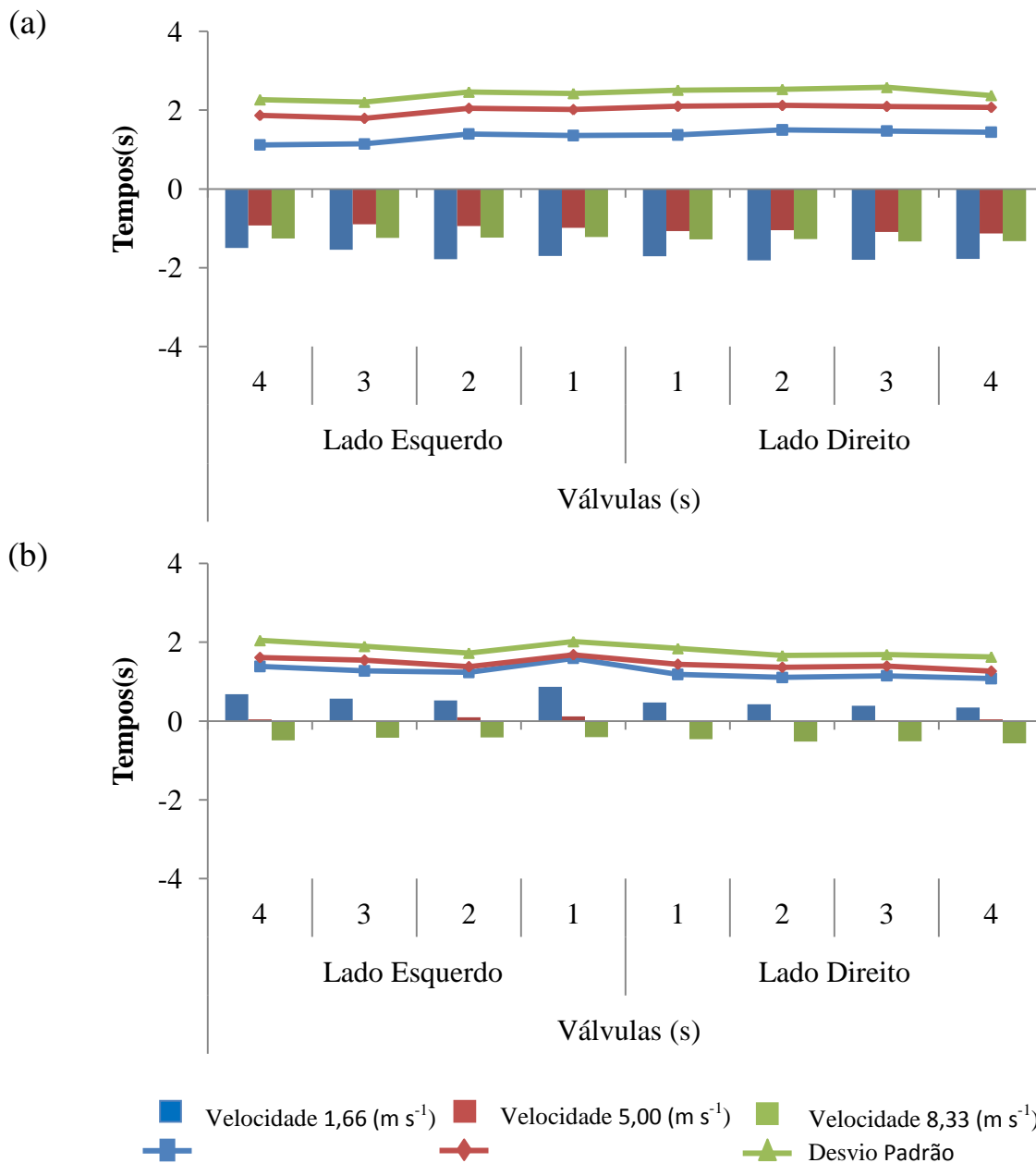


Figura 22 - Tempos para abertura (a) e fechamento (b) das válvulas elétricas das seções da barra do pulverizador para a simulação de sua entrada e saída com ângulo de 45° em relação à borda e a barra de pulverização e GPS com filtro interno (firmware) para as velocidades de 1,66, 5,00 e $8,33 \text{ m s}^{-1}$

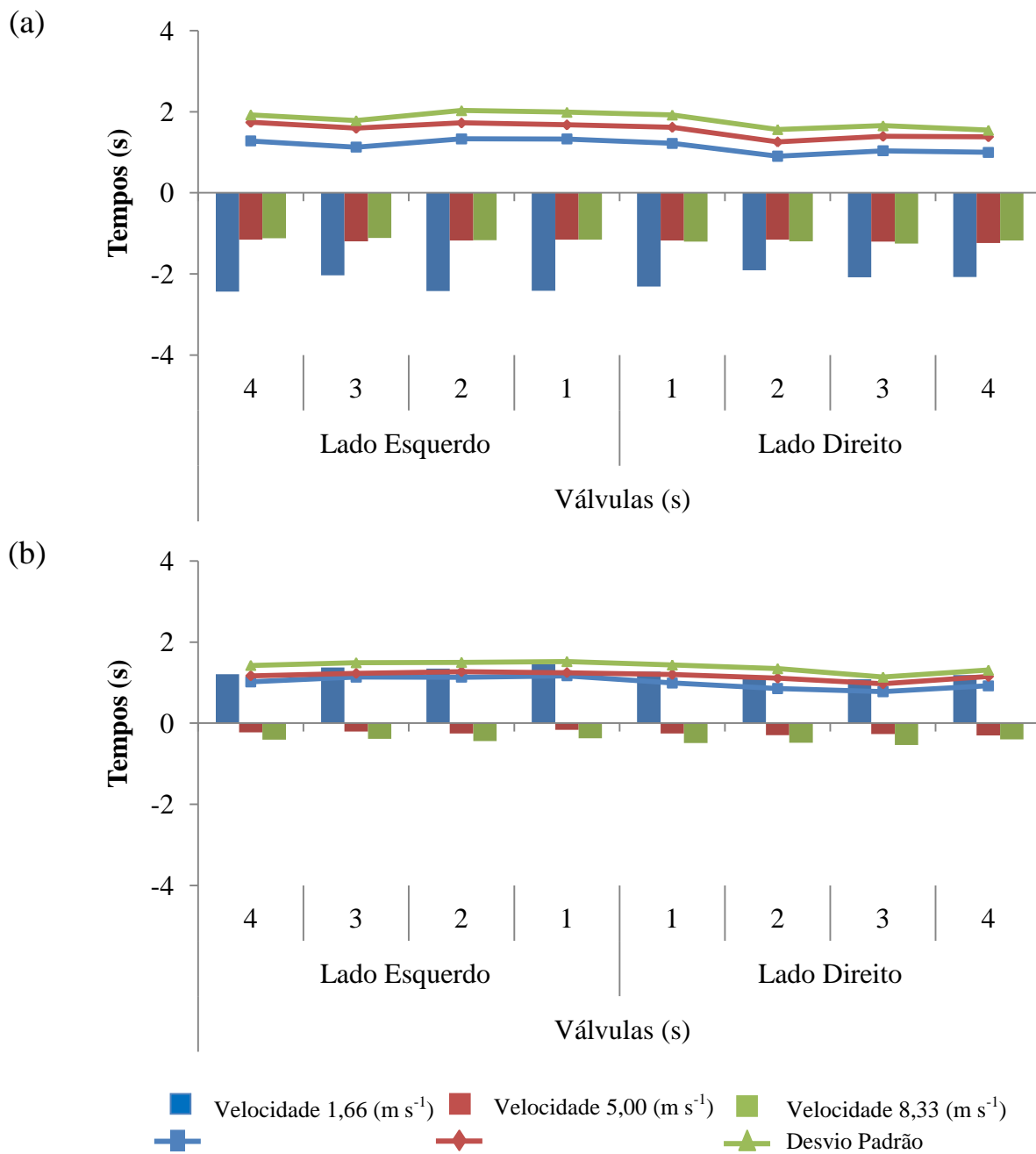


Figura 23 - Tempos para abertura (a) e fechamento (b) das válvulas elétricas das seções da barra do pulverizador para a simulação de sua entrada e saída com ângulo de 45° em relação à borda e a barra de pulverização e GPS com correção VBS para as velocidades de 1,66, 5,00 e $8,33 \text{ m s}^{-1}$

A menor velocidade ($1,66 \text{ m s}^{-1}$) apresentou os maiores tempos de abertura das válvulas de acionamento elétrico das seções da barra do pulverizador autopropelido, com ângulo em 45° de inclinação da barra de pulverização em relação à borda do talhão, utilizando o sinal de GPS com algoritmo interno (firmware) (Figura 22a), VBS (Figura 23a) e sistema RTK (Figura 24a),

com tempos médios de -3,10, -2,44 e -1,48 s antes da barra do pulverizador autopropelido cruzar a borda do talhão, apresentando também, os maiores coeficientes de variação, 56,8, 110,2 e 20,4% respectivamente.

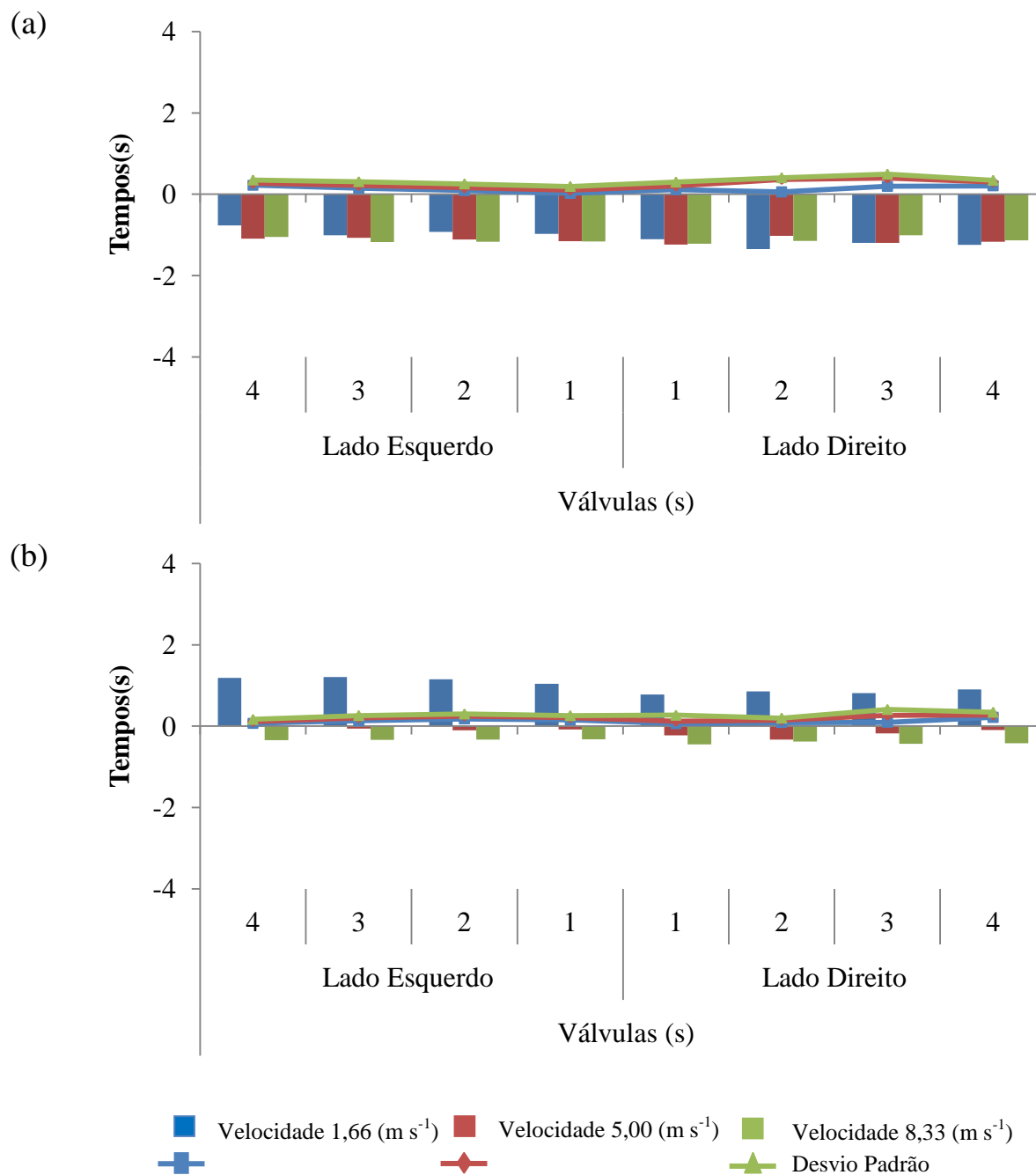


Figura 24 - Tempos para abertura (a) e fechamento (b) das válvulas elétricas das seções da barra do pulverizador para a simulação de sua entrada e saída com ângulo de 45° em relação à borda e a barra de pulverização e GPS com sistema de correção RTK para as velocidades de 1,66, 5,00 e 8,33 m s⁻¹

Assim como os tempos dos tratamentos com o ângulo em 0° de inclinação da barra de pulverização em relação à borda do talhão, a velocidade 1 ($1,66 \text{ m s}^{-1}$) apresentou, para o caso dos tempos de fechamento das válvulas das seções da barra do pulverizador autopropelido, com ângulo em 45° , tempos semelhantes. Ocorrendo o fechamento das válvulas das seções da barra após o pulverizador ultrapassar a linha delimitadora da borda do talhão, em média de 0,53, 1,26 e 0,99 s para os sinais de GPS com firmware, VBS e sistema RTK, respectivamente.

Porém como apresentado na Figura 24 e independentemente das velocidades utilizadas, os desvios padrão calculados para os tempos de abertura e fechamento foram menores para o tratamento utilizando o sistema RTK para a correção dos erros de posicionamento variando de 0,20 a 0,08 s. Embora os desvios sejam menores que os demais tratamentos (VBS e firmware), ainda indicam uma variação considerada entre os tempos de fechamento das válvulas das diferentes seções, nas diferentes repetições.

Na Figura 25 têm-se os tempos para a abertura e o fechamento das válvulas de acionamento elétrico das seções da barra do pulverizador autopropelido, com ângulo em 60° de inclinação da barra de pulverização em relação à borda do talhão, utilizando o sinal de GPS com algoritmo interno (firmware) para correção dos erros de posicionamento para as velocidades 1, 2 e 3.

Nota-se que de forma semelhante aos tempos de abertura e de fechamento das válvulas de acionamento elétrico das seções do pulverizador, dos tratamentos com ângulo de 45° para a simulação de entrada e saída do talhão, a velocidade 1 se diferenciou das demais, independentemente do sinal de GPS utilizado, abrindo antes e fechando após as demais velocidades.

Tal fato pode estar ligado à lógica de programação (algoritmo interno) do equipamento, visto que a mesma configuração de porcentagem de sobreposição (porcentagem da seção da barra de pulverização que ao entrar na área aplicada ou não, determina o momento de abertura ou fechamento da seção de forma a evitar falhas na aplicação), tempo de aproximação desliga (referente ao tempo em que o controlador deve abrir as válvulas de acionamento elétrico), atraso em desligar (tempo em que o controlador deva fechar as válvulas a fim de se garantir aplicação), largura da barra (compreende as informações de largura da barra de pulverização, bem como de suas seções e etc.) foram as mesmas para os demais tratamentos. No entanto quase sempre se destaca a velocidade 1 com os maiores tempos tanto para abertura quanto para o fechamento das

válvulas de acionamento elétricos das seções, independentemente do sinal de GPS utilizado para posicionamento.

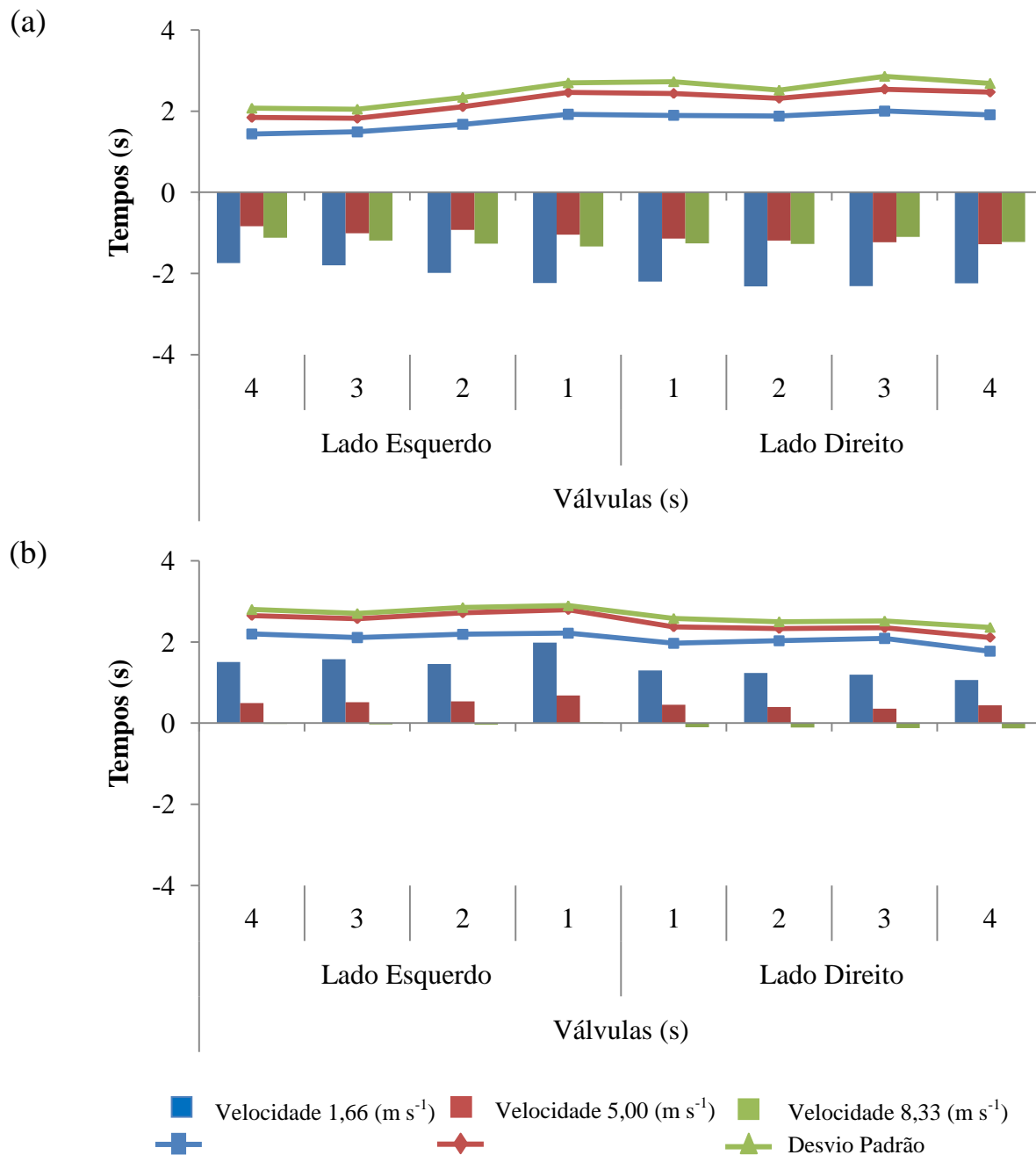


Figura 25 - Tempos para abertura (a) e fechamento (b) das válvulas elétricas das seções da barra do pulverizador para a simulação de sua entrada e saída com ângulo de 60° em relação à borda e a barra de pulverização e GPS com algoritmo interno (firmware) para as velocidades de 1,66, 5,00 e $8,33 \text{ m s}^{-1}$

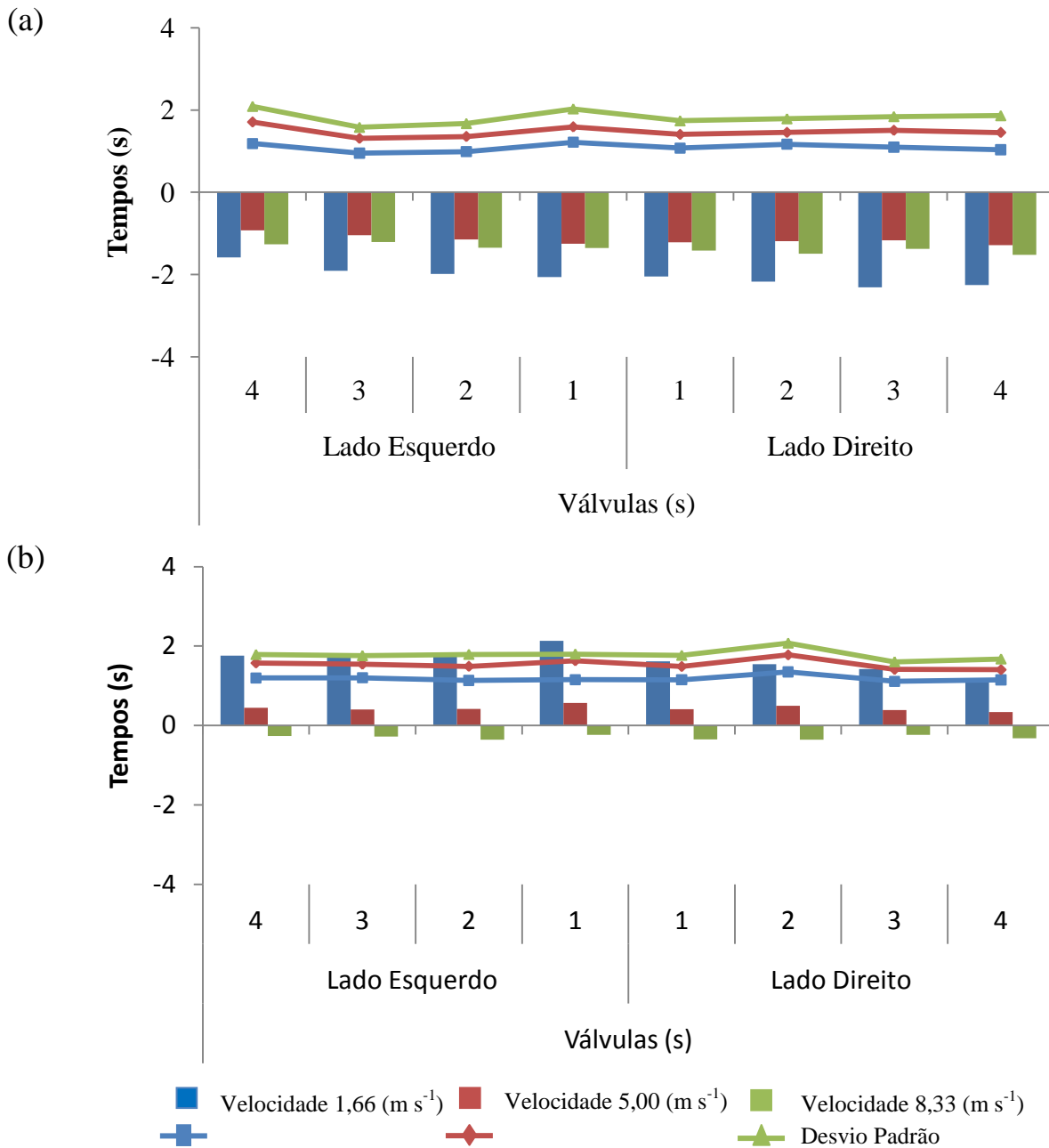


Figura 26 - Tempos para abertura (a) e fechamento (b) das válvulas elétricas das seções da barra do pulverizador para a simulação de sua entrada e saída com ângulo de 60° em relação à borda e a barra de pulverização e GPS com correção VBS para as velocidades de 1,66, 5,00 e $8,33 \text{ m s}^{-1}$

Já para os tempos de abertura das válvulas de acionamento elétricos das seções da barra do pulverizador, há uma proximidade entre os tempos nas diferentes velocidades. Isto se explica, pois, segundo consta no manual do equipamento, o algoritmo interno leva em consideração a

velocidade do deslocamento para o cálculo de abertura das válvulas, somente para o início da aplicação, aproximando-se então do tempo pré-configurado que no presente caso foi de 1 segundo.

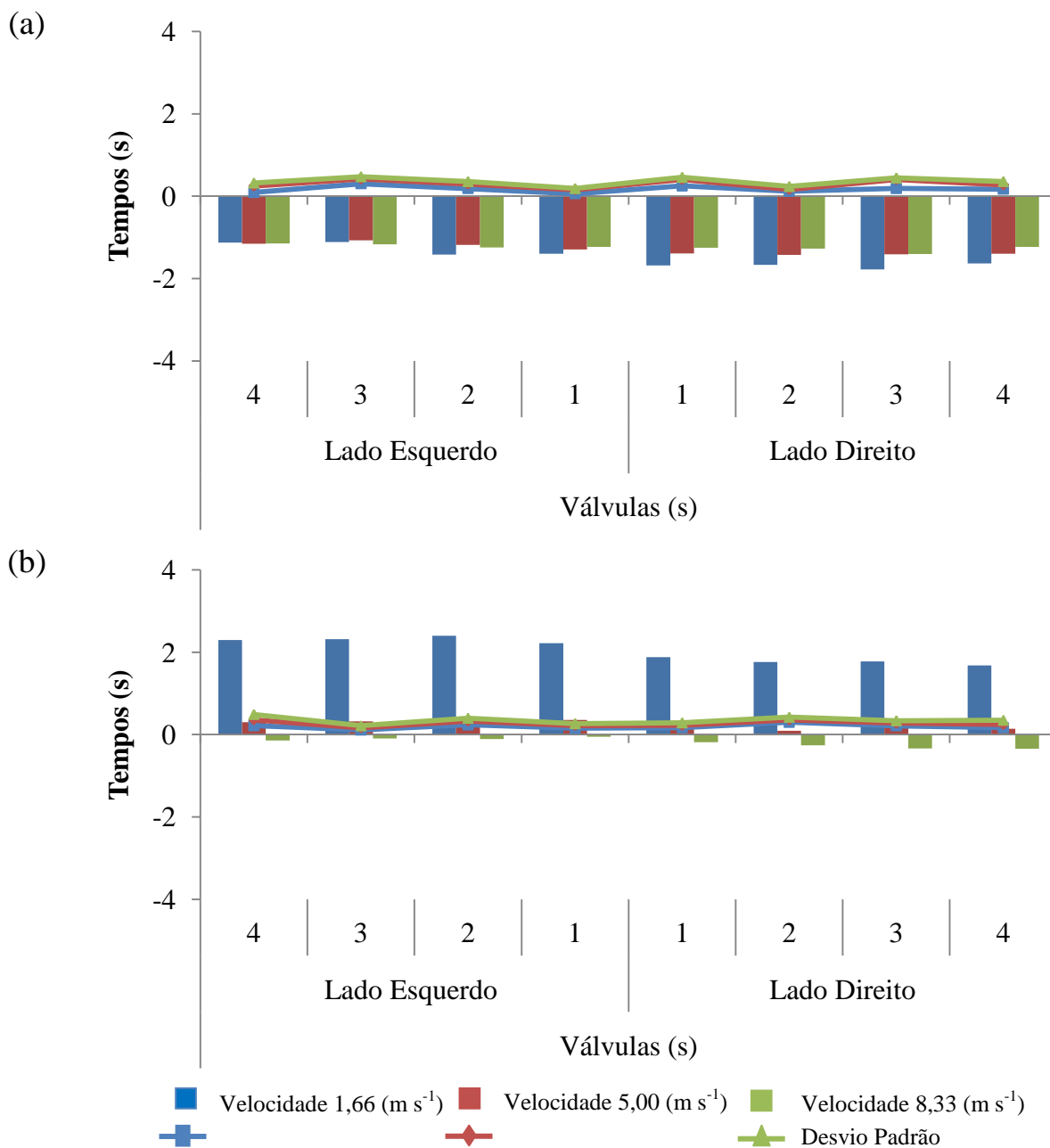


Figura 27 - Tempos para abertura (a) e fechamento (b) das válvulas elétricas das seções da barra do pulverizador para a simulação de sua entrada e saída com ângulo de 60° em relação à borda e a barra de pulverização e GPS com sistema de correção RTK para as velocidades de 1,66, 5,00 e $8,33 \text{ m s}^{-1}$

4.2 Início e término da pulverização

Na Figura 28 têm-se os tempos e distâncias para o início e término da pulverização para as seções extremas (seção 4) esquerda e direita, com ângulo de 0° para a entrada e saída da barra de pulverização em relação à borda do talhão, utilizando o sinal de GPS com algoritmo interno (firmware) (Figura 28a e b), VBS (Figura 28c e d) e sistema RTK (Figura 28e e f), nas velocidades 1,2 e 3.

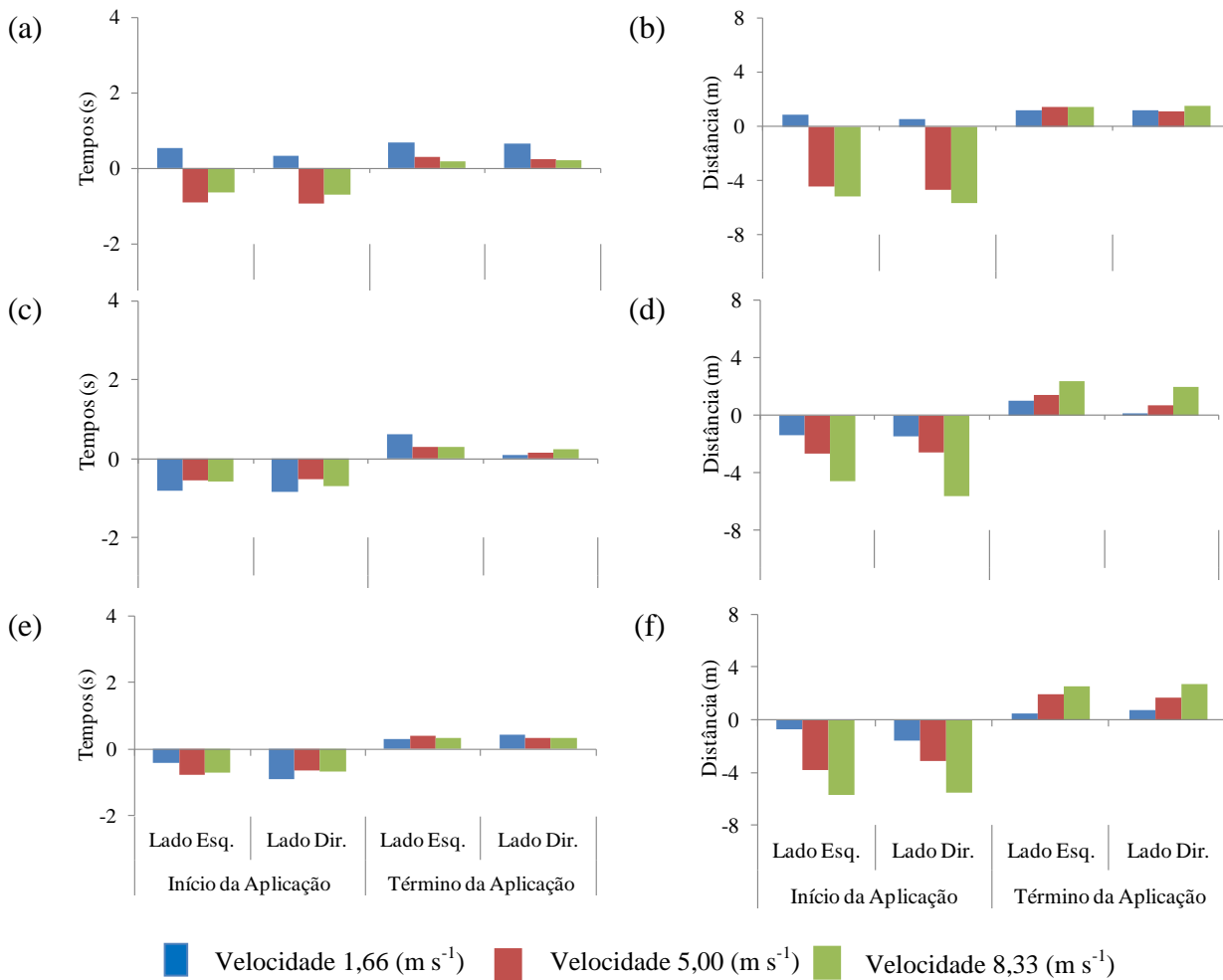


Figura 28 – Tempos e distâncias de início ou término da aplicação nas seções extremas da barra de pulverização (4 esquerda e direita), com ângulo de 0° para a simulação de entrada e saída da barra em relação à borda, utilizando os sinais de GPS com algoritmo interno (firmware) (a e b), VBS (c e d) e sistema RTK (e e f), nas velocidades 1, 2 e 3

Tabela 3 - Estatística descritiva dos tempos (s) para início e término da pulverização para o ensaio do controlador eletrônico em simulação de entrada e saída no talhão, variando sinal de GPS, ângulos e velocidade de deslocamento

Sinal de GPS	Velocidade (m s ⁻¹)	Ângulo	Início da Pulverização (s)								Término da Pulverização (s)							
			Lado Esquerdo				Lado Direito				Lado Esquerdo				Lado Direito			
			Máximo	Mínimo	Média	CV (%)	Máximo	Mínimo	Média	CV (%)	Máximo	Mínimo	Média	CV (%)	Máximo	Mínimo	Média	CV (%)
Firmware	1,66	0°	0,58	0,46	0,52	10,58	0,36	0,27	0,31	15,20	1,58	0,52	1,05	50,40	1,30	0,31	0,93	57,93
		45°	0,93	-2,16	-1,13	40,49	0,77	-2,40	-1,26	49,58	0,95	-0,21	0,30	98,41	-0,34	-1,21	0,24	78,94
		60°	0,80	-2,15	-1,10	44,59	0,62	-3,06	-1,74	61,99	0,44	-0,06	0,18	90,14	0,42	0,00	0,19	109,15
	5,00	0°	-0,55	-1,18	-0,91	35,13	-0,90	-1,74	-0,95	29,86	1,67	-0,18	0,62	107,87	0,47	-0,08	0,11	109,86
		45°	0,29	-1,12	-0,31	107,74	-0,07	-1,26	-0,50	132,44	0,57	0,01	0,30	95,37	0,28	-0,01	0,14	94,87
		60°	0,00	-0,93	-0,46	100,77	-0,21	-1,19	-0,70	69,47	0,54	-0,06	0,30	73,70	0,44	-0,05	0,25	74,52
	8,33	0°	-0,51	-0,77	-0,64	20,65	-0,66	-0,77	-0,70	8,89	0,55	0,02	0,31	87,01	0,83	0,00	0,45	93,46
		45°	-0,46	-1,04	-0,65	50,94	-0,19	-0,92	-0,57	64,21	0,59	0,16	0,40	55,47	0,52	0,04	0,34	75,65
		60°	-0,42	-0,77	-0,57	32,02	-0,70	-0,93	-0,78	16,88	0,54	0,17	0,32	60,84	0,49	0,21	0,34	40,66
VBS	1,66	0°	-0,45	-1,07	-0,80	39,53	-0,51	-1,14	-0,84	37,54	3,63	0,75	1,75	93,61	4,03	0,09	1,48	148,84
		45°	0,45	-1,90	-0,38	121,62	0,19	-1,52	-0,38	121,62	1,53	0,51	1,17	48,92	1,52	0,44	1,14	52,95
		60°	0,14	-1,95	-1,17	77,62	-0,70	-2,40	-1,73	52,55	1,06	0,52	0,88	35,82	0,77	0,27	0,54	46,86
	5,00	0°	-0,33	-0,69	-0,54	34,90	-0,39	-0,64	-0,53	23,45	3,26	1,07	2,35	66,29	3,00	0,50	2,09	66,29
		45°	-0,31	-0,98	-0,74	51,10	-0,34	-0,89	-0,69	43,51	1,18	0,68	0,91	27,63	1,15	0,27	0,68	64,87
		60°	0,07	-0,59	-0,31	76,36	-0,62	-1,05	-0,78	30,31	1,02	0,51	0,76	33,49	0,84	0,62	0,73	14,61
	8,33	0°	-0,44	-0,78	-0,57	32,71	-0,38	-0,86	-0,69	39,90	2,48	2,20	2,30	6,61	2,39	1,88	2,08	13,04
		45°	-0,34	-0,75	-0,53	38,62	-0,56	-1,00	-0,73	32,91	1,20	1,03	1,10	8,08	1,00	0,60	0,85	25,28
		60°	-0,24	-0,88	-0,66	54,97	-0,47	-1,12	-0,89	41,53	1,00	0,73	0,83	17,97	0,80	0,54	0,71	19,82
RTK	1,66	0°	-0,16	-0,60	-0,40	55,14	-0,84	-0,95	-0,88	7,29	5,40	0,91	2,65	90,97	4,53	0,34	1,98	113,41
		45°	0,19	-0,42	-0,20	37,44	-0,56	-0,87	-0,71	21,06	1,86	0,82	1,39	37,83	2,02	0,91	1,52	37,15
		60°	-0,53	-1,83	-0,99	73,08	-0,67	-1,01	-0,89	21,79	1,21	0,40	0,92	48,92	1,02	0,56	0,85	30,33
	5,00	0°	-0,62	-0,98	-0,78	24,52	-0,47	-0,73	-0,63	22,00	4,41	1,99	2,80	49,64	3,57	1,44	2,17	56,31
		45°	-0,35	-0,65	-0,52	29,39	-0,46	-0,63	-0,54	16,60	2,13	1,06	1,66	33,13	1,71	0,56	1,25	49,00
		60°	-0,35	-0,65	-0,52	93,31	-0,60	-1,14	-0,85	31,74	1,54	0,31	0,76	89,59	1,16	0,52	0,74	48,63
	8,33	0°	-0,61	-0,89	-0,71	21,65	-0,55	-0,83	-0,69	20,44	3,47	3,28	3,40	3,10	3,33	2,30	2,76	19,07
		45°	-0,40	-0,60	-0,48	23,09	-0,43	-0,80	-0,63	30,37	1,20	1,03	1,10	4,80	1,18	0,98	1,07	9,58
		60°	-0,11	-0,72	-0,47	67,67	-0,49	-0,91	-0,70	30,13	1,09	0,79	0,99	16,71	0,83	0,43	0,64	30,91

Tabela 4 - Estatística descritiva das distâncias (m) para início e término da pulverização para o ensaio do controlador eletrônico em simulação de entrada e saída no talhão variando sinal de GPS, ângulos e velocidade de deslocamento

Sinal de GPS	Velocidade (m s ⁻¹)	Ângulo	Distância de Início da Pulverização (m)								Distância de Término da Pulverização (m)							
			Lado Esquerdo				Lado Direito				Lado Esquerdo				Lado Direito			
			Máximo	Mínimo	Média	CV (%)	Máximo	Mínimo	Média	CV (%)	Máximo	Mínimo	Média	CV (%)	Máximo	Mínimo	Média	CV (%)
Firmware	1,66	0°	1,07	0,81	0,93	14,18	0,67	0,46	0,56	18,80	2,94	0,92	1,89	53,39	2,26	0,55	1,66	57,94
		45°	1,64	-3,73	-1,91	39,30	1,36	-4,05	-2,14	48,28	4,67	-1,04	1,48	99,15	3,54	-0,99	1,18	79,78
		60°	1,41	-3,71	-1,90	44,00	1,09	-5,28	-3,02	61,60	3,54	-0,44	1,47	90,32	3,42	0,04	-7,31	109,34
	5,00	0°	-2,73	-5,70	-4,42	34,56	-3,27	-5,99	-4,64	29,29	2,86	-0,31	1,07	107,84	0,80	-0,14	0,18	109,79
		45°	1,42	-5,28	-1,44	106,98	-0,32	-5,98	-2,37	131,89	2,80	0,02	1,46	95,33	1,38	-0,02	0,70	94,85
		60°	0,02	-4,43	-2,18	100,33	-1,02	-5,63	-3,35	68,94	4,44	-0,48	2,43	74,21	3,59	-0,36	1,99	74,99
	8,33	0°	-4,08	-6,23	-5,15	20,84	-5,31	-6,20	-9,91	8,61	0,95	0,03	0,53	87,37	1,42	0,00	0,77	93,32
		45°	-3,60	-8,10	-5,11	50,67	-1,50	-7,22	-4,48	64,01	2,93	0,79	1,94	55,64	2,50	0,22	1,68	75,36
		60°	-3,33	-6,05	-4,51	30,98	-5,57	-7,30	-6,17	15,78	4,32	1,36	2,56	60,72	3,92	1,68	2,76	40,60
VBS	1,66	0°	-0,77	-1,83	-1,38	39,62	-0,88	-1,96	-1,45	37,66	6,42	1,29	3,05	95,39	7,13	0,16	2,62	149,37
		45°	0,80	-3,26	-0,65	99,10	0,33	-2,61	-0,65	120,61	7,37	2,42	5,62	49,43	7,34	2,10	5,46	53,41
		60°	0,25	-3,40	-2,02	77,69	-1,23	-4,19	-2,99	52,22	8,36	4,03	6,90	36,00	6,07	2,11	4,23	47,18
	5,00	0°	-1,62	-3,35	-2,63	34,18	-1,94	-3,09	-2,57	22,58	5,76	1,83	4,13	49,58	5,31	0,85	3,68	66,79
		45°	-1,46	-4,69	-3,54	50,88	-1,65	-4,22	-3,30	43,25	5,66	3,26	4,34	28,05	5,50	1,30	3,24	65,25
		60°	0,31	-2,82	-1,46	75,85	-2,98	-5,01	-3,75	29,37	8,02	3,98	5,96	33,90	6,63	4,87	5,75	15,28
	8,33	0°	-3,58	-6,36	-4,57	33,97	-2,98	-6,96	-5,61	40,62	4,28	3,75	3,98	6,87	4,19	3,21	3,61	14,30
		45°	-2,69	-5,86	-4,19	37,89	-4,46	-7,83	-5,72	32,10	5,69	4,94	5,27	7,30	4,81	2,86	4,08	25,99
		60°	-1,89	-6,86	-5,16	54,82	-3,67	-8,80	-7,02	41,33	7,81	5,80	6,49	17,61	6,22	4,30	5,52	19,31
RTK	1,66	0°	-0,27	-1,03	-0,69	55,72	-1,45	-1,64	-1,52	7,03	9,49	1,57	4,64	91,65	7,97	0,58	3,47	113,90
		45°	0,33	-0,74	-0,34	36,90	-0,96	-1,50	-1,24	21,61	8,89	3,89	6,63	38,26	9,67	4,30	7,27	37,58
		60°	-0,94	-3,18	-1,73	72,46	-1,15	-1,76	-1,55	22,28	9,59	3,12	7,27	49,50	8,08	4,34	6,77	31,09
	5,00	0°	-3,02	-4,86	-3,79	25,16	-2,32	-3,57	-3,07	21,54	7,77	3,42	4,88	51,14	6,29	2,44	3,78	57,80
		45°	-1,66	-3,10	-2,50	29,95	-2,17	-3,04	-2,58	17,05	10,27	5,01	7,97	33,79	8,26	2,64	6,01	49,50
		60°	-0,89	-4,67	-2,25	93,48	-2,87	-5,48	-4,09	32,05	12,15	2,43	5,97	89,88	9,15	4,09	5,84	48,97
	8,33	0°	-4,88	-7,11	-5,68	21,92	-4,36	-6,63	-5,49	20,68	6,11	5,69	5,95	3,74	5,88	3,99	4,82	20,03
		45°	-3,08	-4,73	-3,72	23,73	-3,36	-6,28	-4,93	29,92	7,20	6,54	6,79	5,30	5,69	4,65	5,11	10,28
		60°	-0,85	-5,60	-3,72	67,76	-3,83	-7,08	-5,48	29,71	8,49	6,18	7,72	17,27	6,53	3,37	5,01	31,62

Para a menor velocidade ($1,66 \text{ m s}^{-1}$), utilizando o sinal de GPS com o algoritmo interno para a correção dos erros de posicionamento (Figura 28a), o deslocamento da reação de abertura das seções do pulverizador se diferenciou dos demais. Isso decorreu do desvio no ponto de início da pulverização, ocorrendo 0,52 s (Tabela 4) após a barra de o pulverizador autopropelido ter cruzado a linha delimitadora da borda do talhão. Convertendo o tempo médio em distância (Tabela 5), esse deslocamento é de 0,93 m após a barra do pulverizador autopropelido ter cruzado a borda do talhão.

Nos demais tratamentos, com a utilização do sinal VBS e sistema RTK, não foram identificados desvios para o ponto de abertura (falha na aplicação). Entretanto, quando convertendo os tempos em distâncias, tem-se uma abertura prematura para as velocidades 2 e 3, com valores médios (Tabela 4) de -2,63 e -4,57 m para o uso do sinal VBS e de -3,79 e -5,68 m com o uso do sistema RTK, e com a utilização do sinal de GPS com algoritmo interno (firmware) de -4,42 e -5,15 m antes da barra do pulverizador autopropelido cruzar a linha delimitadora, indicando um desperdício de produto em caso da abertura da pulverização se dar distante da borda do talhão.

Os coeficientes de variação, calculados para os tempos de início e término da pulverização (Tabela 3) indicam, além de uma variação entre as diferentes repetições, também um comportamento distinto entre os lados das seções analisadas da barra do pulverizador autopropelido. Vários fatores podem contribuir para esta variação, pois ao se analisar o início e o término da pulverização têm-se a interação de diversos componentes e em especial o circuito hidráulico e seus componentes eletro-eletrônicos (válvulas e controladores) e também a articulação da barra do pulverizador autopropelido.

Na Figura 29 têm-se os tempos e distâncias de início e término da pulverização para as seções extremas (seção 4) esquerda e direita, com ângulo de 45° para a entrada e saída da barra de pulverização em relação à borda do talhão, utilizando o sinal de GPS com algoritmo interno (firmware) (Figura 29a e b), VBS (Figura 29c e d) e sistema RTK (Figura 29e e f), nas velocidades 1,2 e 3.

Os tempos e as distâncias para início e término da pulverização não apresentaram desvios nos pontos de início ou término da aplicação em relação à borda do talhão. Porém, como já comentado para os tempos e distâncias de início e término da pulverização, com ângulo de 0° apresentam grandes distâncias de início ou término da pulverização em relação à borda do talhão.

Tendo distâncias de término da pulverização variando de 3,05 a 6,90 m para o lado esquerdo e de 2,62 a 5,75 m para o lado direito (Tabela 4).

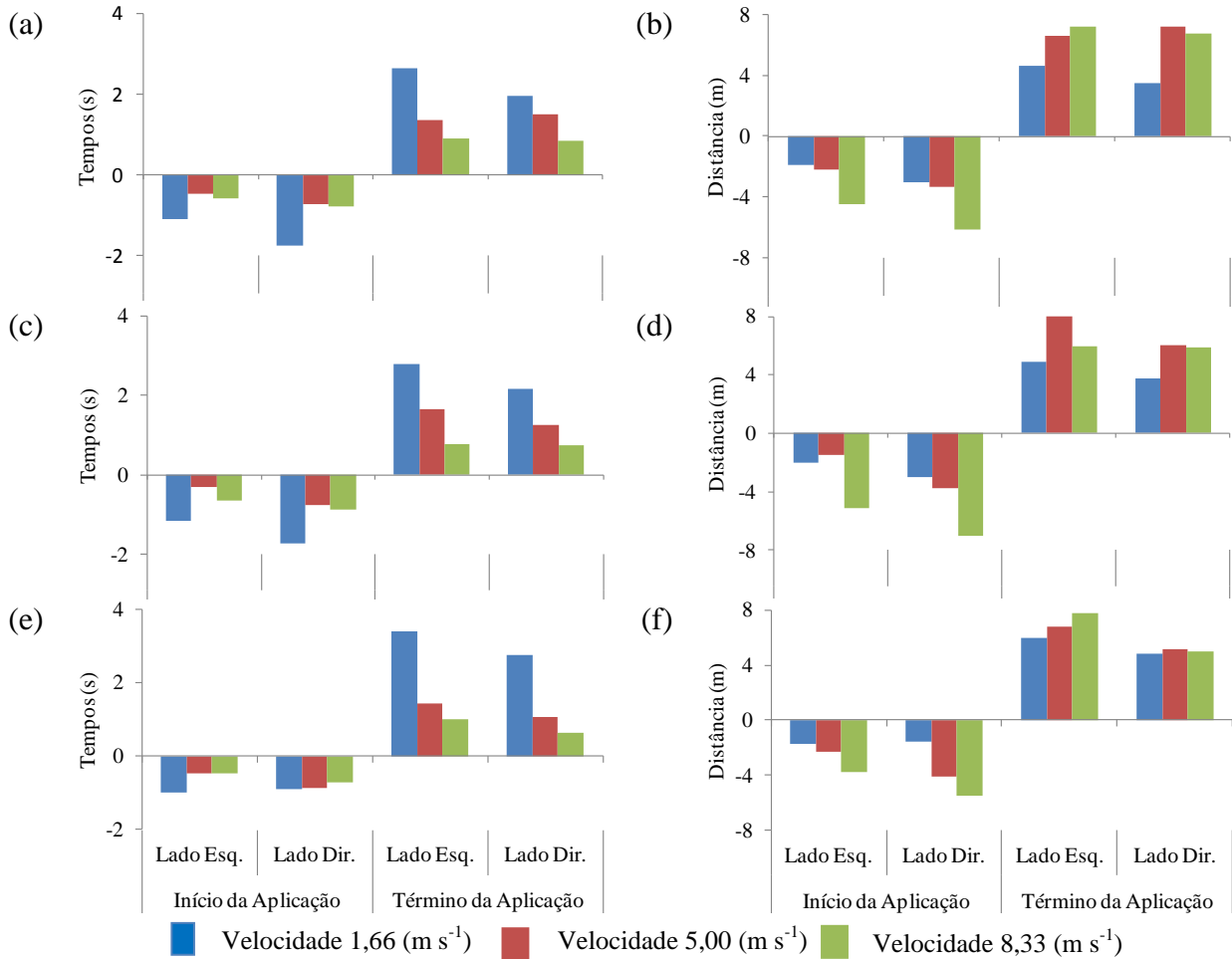


Figura 29 - Tempos e distâncias de início ou término da aplicação nas seções extremas da barra de pulverização (4 esquerda e direita), com ângulo de 45° para a simulação de entrada e saída da barra em relação à borda, utilizando o algoritmo interno (firmware) (a e b), VBS (c e d) e sistema RTK (e e f), nas velocidades 1, 2 e 3

Aparentemente a velocidade tem maior influência no comportamento dos tempos de início ou término da pulverização que o sinal de GPS utilizado, como pode ser observado na Figura 29a, c e e, para as velocidades 1, 2 e 3, sendo mais expressivos nos tempos de término da pulverização. Este fato, como já mencionado anteriormente, é relatado no guia do manual do usuário do controlador automático de seção e pulverização avaliado. O fabricante relata que o algoritmo do controlador não leva em consideração a velocidade de deslocamento para os cálculos, a fim de se determinar o tempo correto para o fechamento das válvulas de acionamento

elétrico de cada seção da barra do pulverizador, resultando em atrasos crescentes nos tempos de término de pulverização entre as diferentes velocidades avaliadas.

Na Figura 30 tem-se os tempos e distâncias de início e término da pulverização para as seções extremas (seção 4) esquerda e direita, com ângulo de 60° para a entrada e saída da barra de pulverização em relação à borda do talhão, utilizando o algoritmo interno (firmware) (Figura 30a e b), VBS (Figura 30c e d) e sistema RTK (Figura 30e e f), nas velocidades 1,2 e 3. Na menor velocidade ($1,66 \text{ m s}^{-1}$) houve predomínio de ocorrência de maiores tempos de início e término da pulverização. Vale frisar que os tempos expressos nos gráficos são as médias das três repetições.

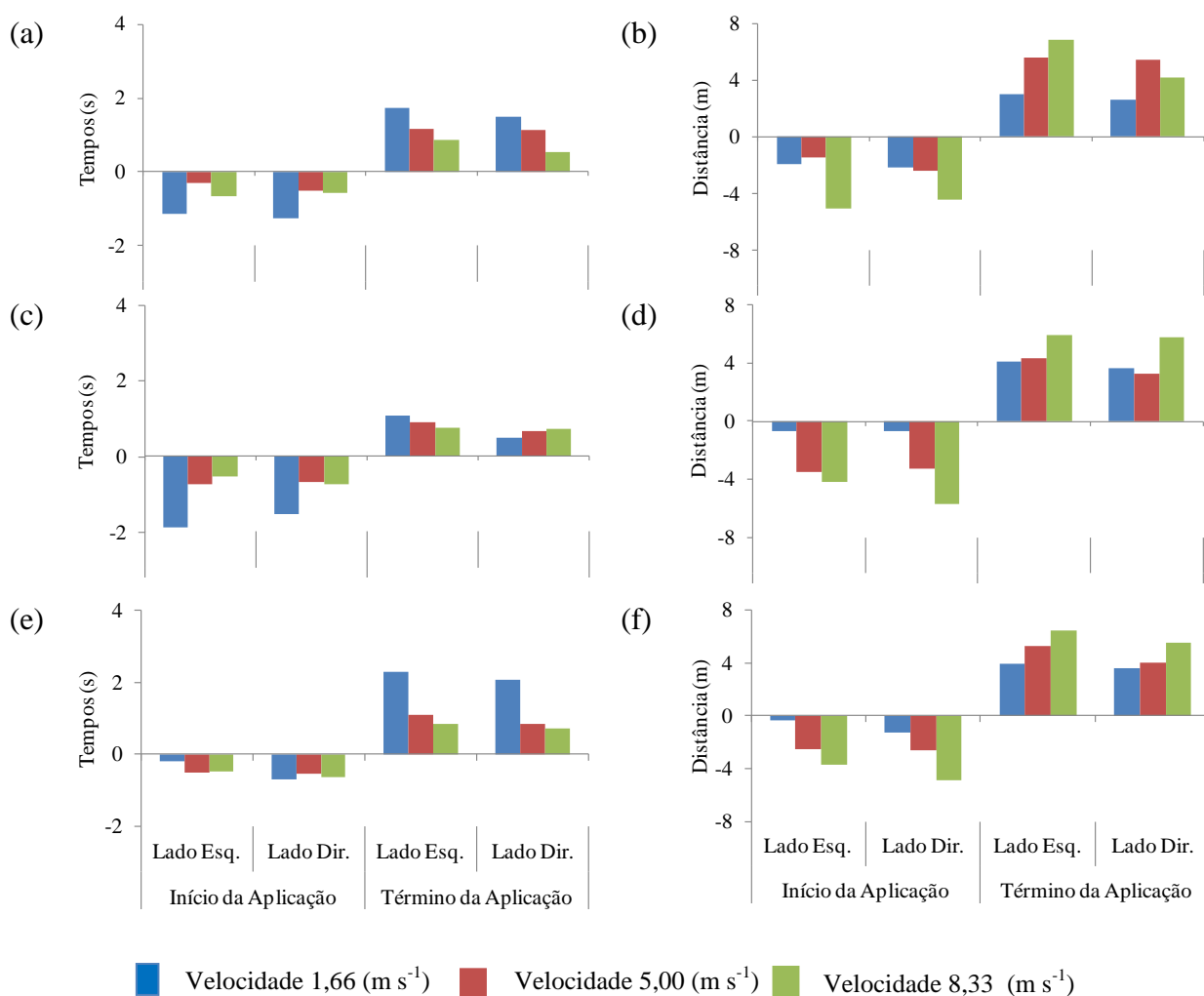


Figura 30 - Tempos e distâncias de início ou término da aplicação nas seções da barra de pulverização (4 esquerda e direita), com ângulo de 60° para a simulação de entrada e saída da barra em relação à borda, utilizando o algoritmo interno (firmware) (a e b), VBS (c e d) e sistema RTK (e e f), nas velocidades 1, 2 e 3

Contudo, quando convertidos esses tempos em distâncias, a velocidade de $8,33 \text{ m s}^{-1}$ se destaca em relação às demais, como pode ser visto na Figura 30. Os maiores coeficientes de variação das distâncias de término da pulverização foram observados para os tratamentos que utilizaram o ângulo de 60° para a entrada e saída da barra de pulverização em relação à borda do talhão (Tabela 3 e 4).

Assim como para os tempos de abertura e fechamento das válvulas de acionamento elétrico, os tempos e distâncias de início e término da aplicação demonstraram uma variação considerável entre as diversas repetições, e entre as seções, resultando em CV expressivos (Tab. 3 e 4). Sendo maiores quando simulado a entrada e a saída da barra de pulverização em ângulo de 60 e 45° .

Todas as distâncias de início ou término da pulverização, independentemente dos sinais de GPS, velocidades e ângulos utilizados, foram maiores que as distâncias apresentadas por Batte e Ehsani (2006), onde utilizando um sistema RTK para as correções dos erros de posicionamento em campo, apresentaram uma distância de $0,05 \text{ m}$ de sobreposição, tanto para a abertura quanto para o fechamento das seções.

4.3 Análises comparativas dos dados

Na Tabela 5 têm-se os resultados das análises de variâncias para os tempos e distâncias de início e término da pulverização, para os lados esquerdo e direito da barra do pulverizador autopropelido. Os tempos de início de pulverização no lado esquerdo, distância no lado direito e distâncias do lado esquerdo e direito para o término da pulverização não foram significativamente distintos pelo teste de Tukey, com o nível de 5% de significância.

Nota-se que a análise de variância para o início da pulverização no lado esquerdo da barra de pulverização do autopropelido, não teve interação significativa para os tempos, porém significativa para as distâncias. Tal evento é explicado pela semelhança entre os tempos de início de pulverização, e quando convertidos e analisados em distâncias se tornam significativos devido à relação direta entre as diferentes velocidades; o mesmo se aplica para os demais tratamentos.

Houve interação significativa entre os diferentes sinais de GPS, ângulos e velocidades para os tempos de início de pulverização no lado direito da barra do pulverizador e direito e esquerdo para o término da pulverização, a 5% de significância pelo teste Tukey (Tabela 5).

Tabela 5 - Tratamentos com interações significativas entre os diferentes sinais de GPS, ângulos e velocidades, para os tempos e distâncias de início e término da pulverização

Pulverização	Lado	Tempos (s)	Distâncias (m)
Início	Esquerdo	n.s	Vel. x Âng. *
	Direito	GPS x Âng. x Vel. *	n.s
Término	Esquerdo	GPS x Âng. x Vel. *	n.s
	Direito	GPS x Âng. x Vel. *	n.s

n.s - Não significativo pelo teste Tukey

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t

Na Tabela 6 têm-se os tratamentos com os valores dos tempos (s) significativos após desmembramento pela matriz de Tukey, o qual possibilita estabelecer as correlações entre os diferentes tratamentos. Para a velocidade de $1,66 \text{ m s}^{-1}$ e ângulo de 45° e 60° , em início de pulverização, no lado direito da barra do pulverizador autopropelido, o melhor tratamento foi o obtido com o uso do sistema RTK, com médias de $-0,74$, e $-0,89$ s (menores tempos sem falhas).

Tabela 6 - Tratamentos com tempos significativos após desmembramento em função do sinal GPS utilizado

Operação	Lado	Interação			Tempos	
		Sinal de GPS	Velocidade (m s^{-1})	Ângulo de simulação	Média	Pr > t
Início da pulverização	Direito	Firmware	1,66	45°	-1,26	0,0219
		VBS			-1,52	
		Firmware	1,66	45°	-1,26	0,0400
		RTK			-0,71	
Término da pulverização	Direito	Firmware	1,66	60°	-1,74	< 0,0001
		RTK			-0,89	
		Firmware	1,66	45°	1,48	< 0,0001
		RTK			2,08	
Término da pulverização	Direito	VBS	1,66	60°	0,5	< 0,0001
		RTK			2,76	

No caso dos tratamentos com velocidade de $1,66 \text{ m s}^{-1}$, ângulo de 45° em término de pulverização no lado direito da barra do pulverizador autopropelido, o melhor resultado foi obtido com o uso do sinal de GPS com algoritmo interno (firmware).

Em ângulo de 60° com a velocidade de $1,66 \text{ m s}^{-1}$, em término de pulverização no lado direito da barra do pulverizador autopropelido, o melhor resultado foi obtido com o uso do sinal VBS para a correção dos erros de posicionamento, com média de tempo de atraso de 0,5 s.

Com exceção das distâncias de início ou término da pulverização, que deram significativos para os diferentes sinais de GPS, independentemente da velocidade simulada, os tratamentos que se mostraram significativos para o uso dos diferentes sinais de GPS, se concentraram na velocidade de $1,66 \text{ m s}^{-1}$ e ângulos com inclinação (45 ou 60°) para a entrada ou a saída da barra do pulverizador. Uma explicação para tal fenômeno é que se aumentado a velocidade de trabalho se diluí o erro de acurácia dos diferentes sinais de GPS, ou seja, há outros fatores com maior influência nos resultados, como ângulo e velocidade.

Na Tabela 7 têm-se o teste de médias para os tratamentos com as distâncias (m) significativas após desmembramento pela matriz de correlação entre as médias dos diferentes tratamentos.

Não foram observadas diferenças significativas entre os sinais de GPS VBS e sistema RTK, porém, ambos diferem do tratamento que utilizou do sinal de GPS com algoritmo interno (firmware). Nota-se que a interação se deu para ângulo 0° em simulação de entrada. Porém, para os demais tratamentos não foram identificadas interações significativas em função do sinal GPS.

Tabela 7 - Tratamentos com distâncias significativamente distintas após desmembramento em função do sinal GPS utilizado.

Operação	Lado	Interação		Distância (m)	
		Sinal de GPS	Ângulo de simulação	Média	Pr > t
Início da pulverização	Direito	Firmware	0°	-0,95	< 0,0001
		VBS		-0,53	
		Firmware	0°	-0,95	
		RTK		-0,63	

Segundo Stafford (1996) menciona que no processo de pulverização e controle da sobreposição é indicado uma acurácia de cerca de 0,10 m, e em nosso caso, utilizando um sistema RTK que garante uma acurácia de 0,025 m, e utilizando a configuração recomendada pelo

fabricante, não conseguimos um controle eficaz das faixas de sobreposição, resultando em até 9 m de sobreposição. Isto significa que a máquina (pulverizador autopropelido) pode não estar respondendo os requisitos mínimos para o perfeito funcionamento do controlador.

4.4 Projeções de distâncias de início e término da aplicação ao longo da barra

Na Tabela 8 têm-se os tempos de mudança de posição das válvulas de acionamento elétrico das seções. O tempo médio gasto para a mudança de posição de fechado para aberto foi, em média, de 0,56 s, com CV de 30,2% e de fechado para aberto a média foi de 1,07 s com CV de 18,7%.

Com base nos tempos médios em que as válvulas de acionamento elétrico levaram para mudar de posição, adicionados às médias dos tempos de cada válvula, tem-se a projeção das distâncias para as demais seções da barra do pulverizador, apresentadas nas Figuras 31, 32 e 33.

Tabela 8 - Tempos de mudança de posição das válvulas de acionamento elétrico

	Tempos para mudança de posição das válvulas (s)	
	Fechado/Abrir	Aberto/Fechar
Máximo	1,22	1,54
Mínimo	0,01	0,01
Média	0,56	1,07
DP*	0,17	0,20
CV (%)	30,1	18,7

* Desvio padrão

Na Figura 31 tem-se projetadas as distâncias para o início e ou término da pulverização para as seções da barra do pulverizador autopropelido, com ângulo de entrada e saída de 0° da barra de pulverização em relação à borda. Também estão incluídas as variáveis sinal de GPS, com algoritmo interno (firmware) (a e b), correção VBS (c e d) e sistema RTK (e e f) e as velocidades 1, 2 e 3.

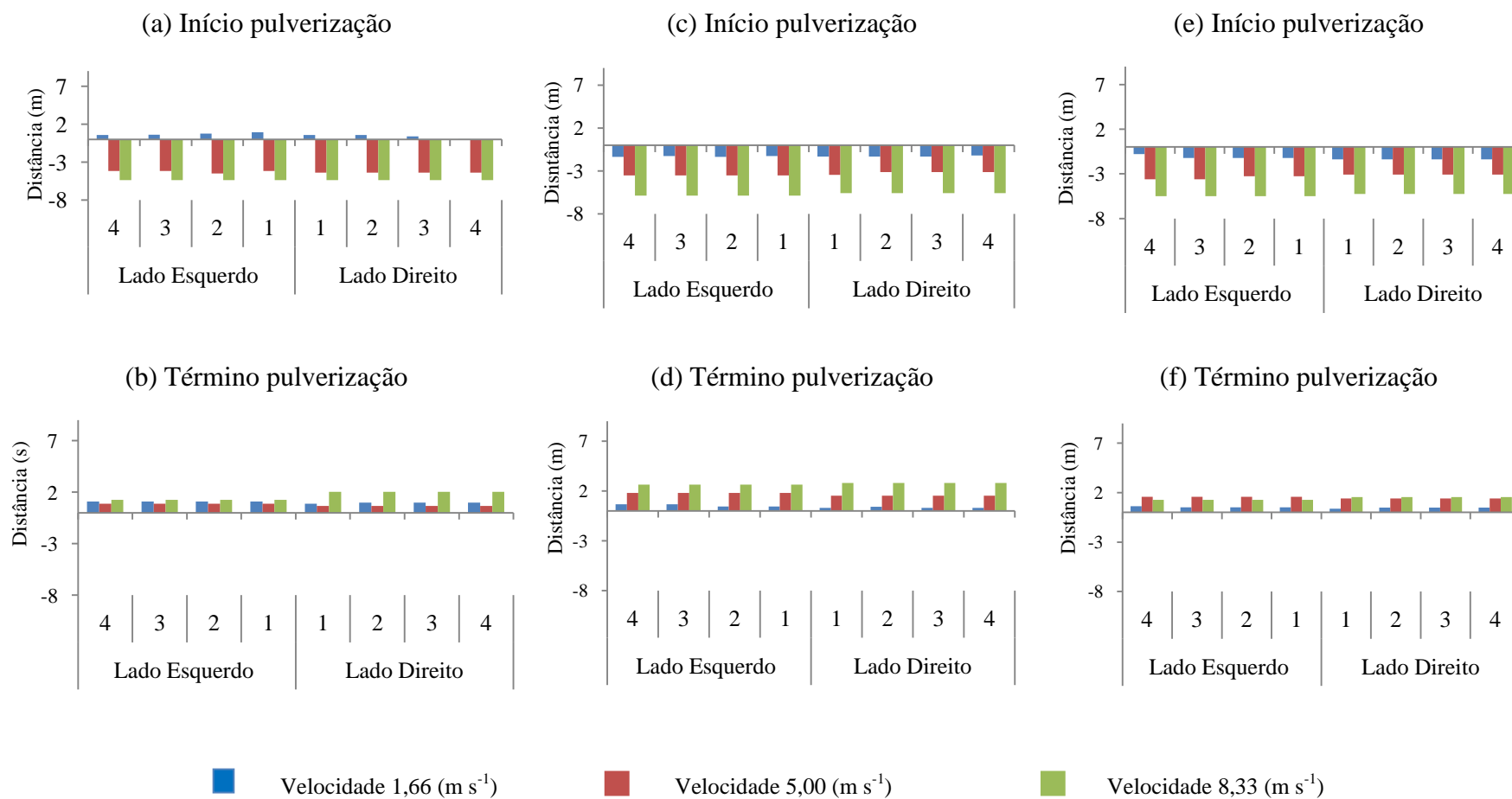


Figura 31 - Projeção para as distâncias de início e término da pulverização, com ângulo de entrada e saída de 0° da barra de pulverização em relação à borda, com a utilização do algoritmo interno (firmware) (a e b), correção VBS (c e d) e sistema RTK (e e f), para as velocidades 1, 2 e 3

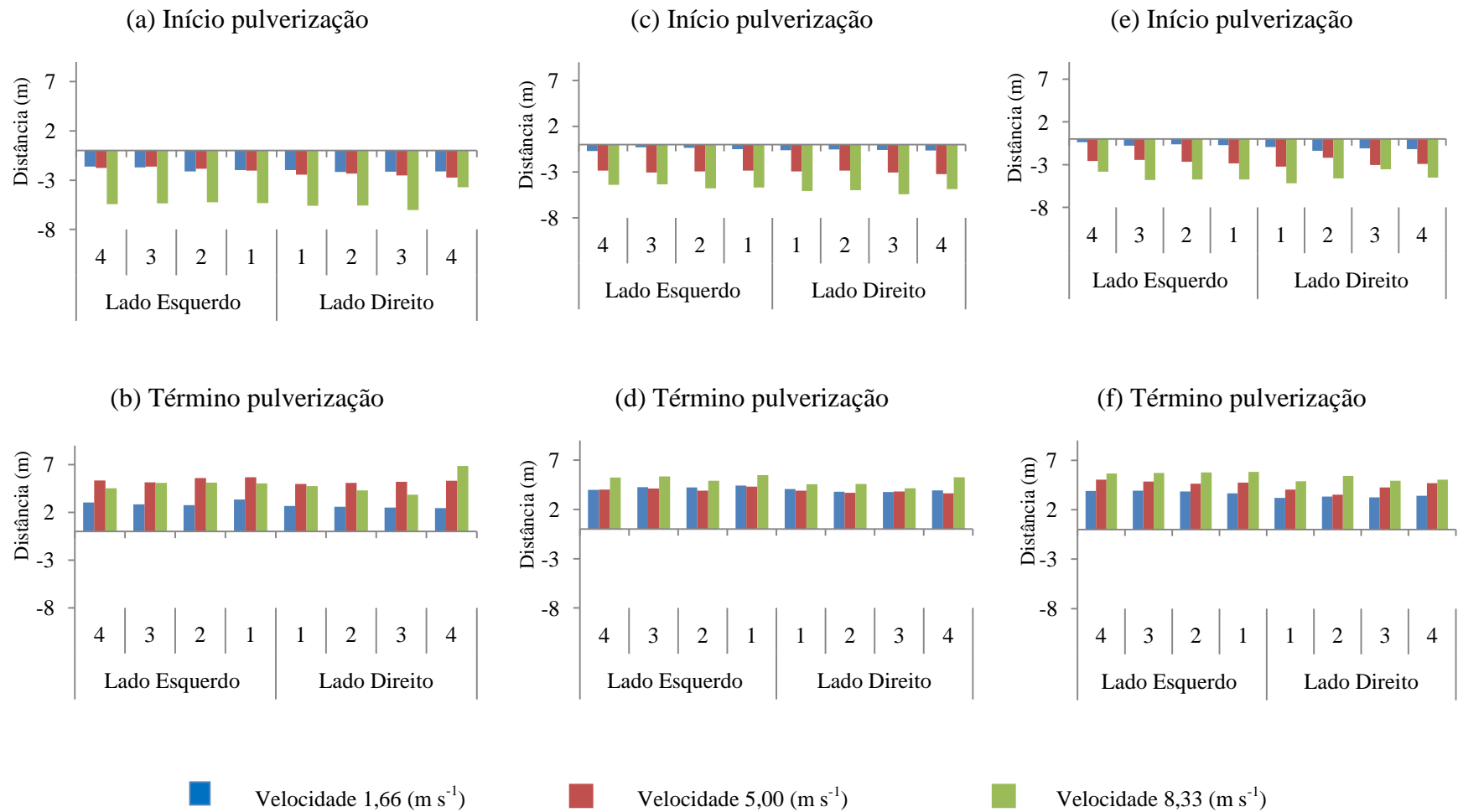


Figura 32 - Projeção para as distâncias de início e término da pulverização, com ângulo de entrada e saída de 45° da barra de pulverização em relação à borda, e a com a utilização do algoritmo interno (firmware) (a e b), correção VBS (c e d) e sistema RTK (e e f), para as velocidades 1, 2 e 3

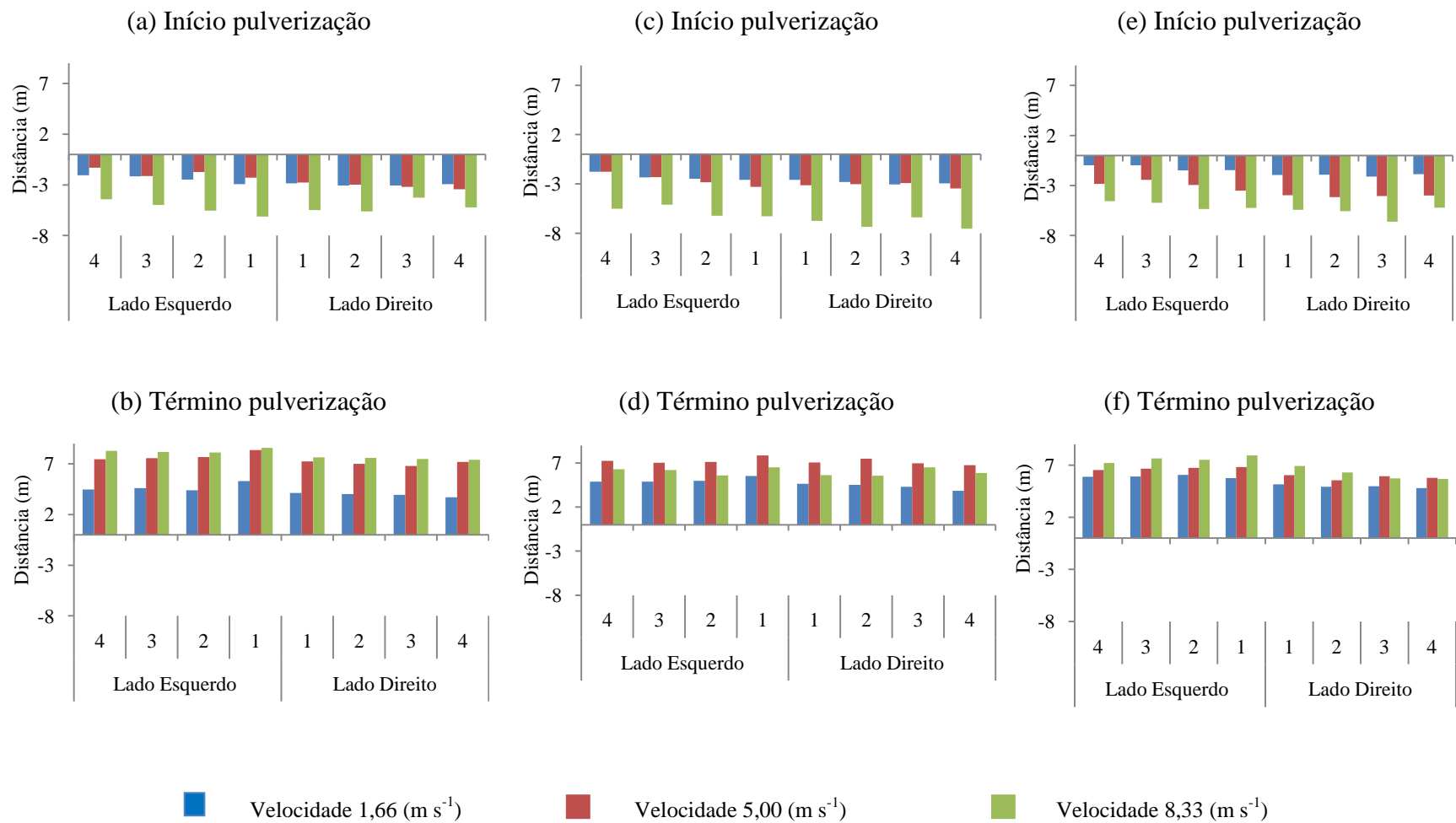


Figura 33 - Projeção para as distâncias de início e término da pulverização, com ângulo de entrada e saída de 60° da barra de pulverização em relação à borda, e a com a utilização do algoritmo interno (firmware) (a e b), correção VBS (c e d) e sistema RTK (e e f), para as velocidades 1, 2 e 3

Com exceção das distâncias para o início da pulverização, com ângulo de entrada de 0° da barra de pulverização em relação à borda e utilizando o algoritmo interno (firmware) (Figura 31a), com a velocidade de $1,66 \text{ m s}^{-1}$, observa-se um desvio no ponto de início da pulverização em média $0,56 \text{ m}$ após o pulverizador autopropelido ter ultrapassado a linha delimitadora da borda do talhão. Como consequência tem-se uma falha na pulverização. Para os demais tratamentos as distâncias de abertura variaram de $-0,79$ a $-5,85 \text{ m}$ e não foram observados desvios nos pontos de abertura. Vale frisar que estas projeções nas distâncias para início e término da pulverização em função da borda do talhão foram calculadas com base nos tempos médios, podendo oscilar para cima ou para baixo.

Na Figura 32 tem-se projetadas as distâncias para o início e ou término da pulverização para as seções da barra do pulverizador autopropelido, com ângulo de entrada e saída de 45° da barra de pulverização em relação à borda, utilizado o algoritmo interno do GPS (firmware) (a e b), correção VBS (c e d) e sistema RTK (e e f), para as velocidades 1, 2 e 3. As maiores distâncias para o início da pulverização foram observadas para a velocidade $8,33 \text{ m s}^{-1}$, as maiores distâncias, $-6,10$, $-5,41$ e $-5,14 \text{ m}$ para os sinais de GPS firmware, VBS e sistema RTK. Nas distâncias para o término da pulverização em relação à borda do talhão, os maiores valores foram observados com o uso do sinal VBS para a correção do erro de posicionamento, variando de $3,92$ a $4,94 \text{ m}$.

Assim como as distâncias para o início da pulverização para as seções da barra do pulverizador autopropelido com ângulo de entrada e saída de 45° (Figura 32), as distâncias para o início da pulverização com ângulo de entrada e saída de 60° apresentaram comportamentos semelhantes. A maior velocidade ($8,33 \text{ m s}^{-1}$) se destacou em relação às demais, resultando nas maiores distâncias para o início da pulverização em relação à borda do talhão. Esta diferenciação entre as velocidades, mais evidenciada quando operando com a barra em ângulo com relação à borda, indica a necessidade de configuração específica para cada velocidade.

5 CONCLUSÃO

A metodologia proposta para avaliar o controlador automático de seções e pulverização, funcionou, pois possibilitou a determinação dos tempos de abertura e fechamento das válvulas de acionamento elétrico das seções e ainda, início e término da pulverização, possibilitando a avaliação do mesmo.

Foi possível determinar interações significativas entre os diferentes sinais do GPS, velocidade e ângulo para os tempos e distâncias de abertura e fechamento para a entrada e a saída da barra do pulverizador, em função do tipo de sinal de GPS utilizado.

Embora houvesse casos em que determinado sinal de GPS se destacou em relação aos demais, não se pode concluir qual foi o melhor de forma generalizada. Conclui-se que outros fatores estão contribuindo para a diluição do erro de posicionamento do GPS, tais como o controlador e o sistema hidráulico e válvulas elétricas, atenuando a diferença de acurácia dos diferentes sinais de GPS avaliados.

Aumentando-se a velocidade, o erro de acurácia entre os diferentes tipos de sinais de GPS utilizados tende a diminuir, se tornando não significativos.

As interações entre as diferentes velocidades e ângulos (45 e 60 graus), tende a aumentar as variações entre os tempos ou distâncias de início ou término da pulverização.

A configuração recomendada pelo fabricante e adotada para a avaliação do controlador automático de seções e pulverização, não atende a todas as situações de trabalho, sendo necessária para cada velocidade uma configuração específica, a fim de se reduzir os desvios no ponto de abertura, ou ainda, diminuição das sobreposições excessivas.

REFERÊNCIAS

- ABIFINA. **Defensivos agrícolas.** Disponível em: <http://www.abifina.org.br/noticiaSecao.asp?secao=1¬icia=76> Acesso em: 08 jun. 2009.
- ADAMCHUK, V.I.; SUDDUTH, K.A.; INGRAM, T.J.; CHUNG, S. On-the-go mapping of soil mechanical resistance using a linear depth effect model. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 51, n.6, p. 1885-1894, 2008.
- ANTHONIS, J.; BAERDEMAEKER, J.D.; RAMON, H. **Application Techniques for Crop Protection. of in CIGR Handbook of Agricultural Engineering.** Michigam, USA: ASABE, 2006. chap. 5 Precision Agriculture. v. 6 Information Technology. p. 289-294.
- ANTUNIASSI, U.R.; BAIIO, F.H.R. Tecnologia de aplicação de defensivos. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas.** Bento Gonçalves: EMBRAPA Uva e Vinho, 2004. p. 145-184.
- ANTUNIASSI, U.R. Agricultura de precisão: Aplicação localizada de agrotóxicos In: GUEDES, J.V., DORNELLES, S.H.B. **Tecnologia e segurança na Aplicação de agrotóxicos – Novas tecnologias.** Santa Maria: Departamento de Defesa Fitossanitária, Sociedade de Agronomia de Santa Maria, 1998. p. 53-63.
- BAJWA, S.G., TIAN, L.F. Aerial CIR remote sensing for weed density mapping in a soybean field. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 44, n. 6, p. 1965–1974, 2001.
- BARCELLOS, L.C.; ALMEIDA, R. de, P.; LEÃO, G.F.; SILVA, J.G. Desenvolvimento e avaliação de um pulverizador de barras a tração humana. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 1 p. 67-73, 2006.
- BATTE, M.T.; EHSANI, M.R. The economics of precision guidance with auto-boom control for farmer-owned agricultural sprayers. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 53, p. 28–44, 2006.
- BAZANELLA, S.A.; **Sistemas de controle princípios e métodos de projeto.** Porto Alegre: UFRGS, 2005. 302 p.
- BOSSU, J.; GÉE, C.; TRUCHETET, F. Development of a machine vision system for a real time precision sprayer. **Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis.** Barcelona, v. 7, n. 3, p. 54-66, 2008.

BRASIL. Decreto 4.074, de 4 de janeiro de 2002. Regulamenta a Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Legislação Federal de Agrotóxicos, Brasília, **Diário Oficial** da União de 08/01/2002, Seção 1, Página 1.

CAPPELLI, N.L.; UMEZU, C.K.; SILVEIRA, A.C.; GARCIA, A.P. Desempenho comparativo dos aparelhos GPS E-trex, III Plus e AgGPS 132 quanto a acurácia e a precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2004. - Piracicaba, SP. **Anais... Piracicaba**: ESALQ/USP, 2004. 17p.

CARTOLANO Jr. E.A.; AVEGLIANO P.B. **Experiência microcontroladores PIC** Engenharia de Computação – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2005. 21 p.

CHAIN, A. **História da pulverização**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999b. 17p. Disponível em: < http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Chaim_historiaID-Dcdtr0CVW1.pdf> Acesso em: 09 jun. 2009.

CHRISTOFOLETTI, J.C. Considerações sobre tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. **Boletim Técnico**, São Paulo, n. 5, jun., 19p. 1999.

CUNHA, J.P.A.R.; TEIXEIRA, M.M.; COURY, J.R.; FERREIRA, L.R. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta daninha**. Viçosa, v. 21, n. 2, p. 325-332, 2003. ISSN 0100-8358. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/pd/v21n2/a19v21n2.pdf>> Acesso em: 09 de jun. 2009.

CUNHA, J.P.A.R. **Aviação agrícola: funciona?** Universidade Federal de Uberlândia. 2008. 2p.

CUNHA, J.P.R.; TEIXEIRA, M.M. Escolha a dedo. **Revista Cultivar Máquinas**, n. 18, 2003. <<http://www.grupocultivar.com.br/artigos/artigo.asp?id=552>> Acesso em 22 maio 2009.

EMBRAPA. **Uso de microcontroladores e realidade virtual na agricultura**, n. 22, p.1-5, 1997.

EHSANI, M.R.; SULLIVAN, M.D.; ZIMMERMAN, T. Field Evaluation of the Percentage of Overlap for Crop Protection Inputs with a Foam Marker System Using Real-Time Kinematic (RTK) GPS. Dayton, Ohio: Institute of Navigation (ION) 60th Annual **Meeting...** 2004a

EHSANI, M.R.; UPADHYAYA, S.K.; MATTSON, M. L. Seed Location Mapping Using RTK-GPS. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 47, n. 3, p. 909–914, 2004b

FIGUEIREDO, Z.N.; ANTUNIASSI, U.R.; GADANHA Jr, C.D. Desempenho de sistemas de controle de pulverização em condições de campo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.20, n.2, p.139-146, mai., 2000.

FLORES, E.F. **Análise de máquinas agrícolas distribuidoras de fertilizantes segundo requisitos projetuais**. 2008. 169p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria. 2008.

GUO, LS.; ZHANG, Q.; HAN, S. Position estimate of Off-Road vehicles using a low-cost GPS and IMU. IN: ANNUAL INTERNATIONAL MEETING / CIGR WORLD CONGRESS SPONSORED BY ASAE AND CIGR HYATT REGENCY CHICAGO, 15., 2002. **Meeting...** Chicago, Illinois, USA July 28-July 31, 2002. 13p.

KISSMANN, K. G. Rumos e tendências da pesquisa em tecnologia de aplicação de agrotóxicos: a visão da indústria química. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS: EFICIÊNCIA, ECONOMIA E PRESERVAÇÃO DA SAÚDE HUMANA E DO AMBIENTE, 2., 2001. Jundiaí - SP 2001. **Anais...** Jundiaí, 2001. 9p.

LECHNER, W.; BAUMANN, S.; Global navigation satellite systems. **Computers and Electronics in Agriculture**. Amsterdam, v. 25, p. 67–85, 2000. TELEMÁTICA. Baiernrainer Weg, 83623.

LIMA, T.C.B.; UMEZU, C.K.; CAPPELLI, N.L.; NUNES, E.F. Equipamento microprocessado para geração de sinal de correção diferencial, em tempo real, para GPS - **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.2, p.537-545, maio/ago. 2006.

LIMA, T.C.B. **Desenvolvimento de um sistema de custo reduzido para geração de sinal de correção diferencial, em tempo real, para GPS**. 2006. 202 p. Tese (Doutorado – Máquinas Agrícolas) - Faculdade de Engenharia Agrícola - Universidade de Campinas. Campinas, 2006.

MACHADO, T.M.. **Avaliação de desempenho de receptores de GPS em modo estático e cinemático**. 2008. 115 p. Dissertação (Mestrado – Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

MARQUES, A.B. **Sistema DGPS Invertido**. 2000. 80 p. Dissertação (Mestrado em Sistemas e Computação) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2000.

MARTINS, P.R. **Trajetórias tecnológicas e meio ambiente: a indústria de agroquímicos/transgênicos no Brasil**. 2000 338 p. (Tese de Doutorado em Ciências Sociais) Instituto de Filosofia e Ciências Humanas – Universidade de Campinas, Campinas, 2000.

McBRATNEY, A.; BRETT, W.; TIHOMIR, A.; JOHAN, B. Future Directions of Precision Agriculture. **Precision Agriculture**, New York, v.6, n.1, p. 7-23, 2005.

MELLO, B.A.; CAIMI, L.L. Simulação na validação de sistemas computacionais para a agricultura de precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.6, p.666–675, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v12n6/v12n06a15.pdf>> Acesso em: 09 de jun. de 2009.

MENEGALDO, L.. **Disciplina de Sistemas de Controle**. Disponível em: <<http://lmeneg-aulas.tripod.com>> Acesso em: 18 nov. 2008.

MIALHE, L G. Eletrônica na pulverização. **Revista Cultivar Máquinas**. / fevereiro 2002. 9 p. Disponível em: < <http://www.grupocultivar.com.br/artigos/artigo.asp?id=285>>. Acesso em: 12 mai. 2009.

MOLIN, J.P.; CARREIRA, P.T. Metodologia para ensaios cinemáticos de receptores de GNSS utilizando um GPS RTK como referência. **Revista Brasileira de Agroinformática**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 53-62, 2006.

MOLIN, J.P. Utilização de GPS em agricultura de precisão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.17, n.3, p.121-32, 1998.

MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: UNESP, 2007. 476 p.

NIEMINEN, T.; SAMPO, M. Unmanned vehicles for agricultural and off-highway applications. Warrendale, 1993. **SAE Technical Paper**. n. 932475.

NOGUEIRA, A.C.L. Mecanização na agricultura brasileira: uma visão prospectiva. **Caderno de Pesquisas em Administração**, São Paulo, v. 8, n. 4, out./dez. 11p. 2001.

NUMAJIRI, D.A. **Desenvolvimento de um sistema de controle de dispositivos via acesso remoto**. Monografia. (Graduação - Ciência da Computação) Universidade Federal de Lavras 97p. 2003. Disponível em: < http://www.bcc.ufla.br/monografias/2003/Desenvolvimento_de_um_sistema_de_controle_de_dispositivo_via_acesso_remoto.pdf> Acesso em: 09 de jun 2009.

PAICE, M.E.R. MILLER, P.C.H.; BODLE, J.D. An experimental sprayer for the spatially selective application of herbicides. **Journal Agricultural Engineering Research**, Amsterdam, v. 60, n. 2, p. 107-116, 1995.

RAMON, H.; BAERDEMAEKER, J.D. Spray boom motions and spray distribution Part 1: Derivation of a mathematical relation. **Journal Agricultural Engineering Research**, Amsterdam, v. 66, p. 23-29, 1997.

RAMOS, H.H.; PIO, L.C. Tecnologia de Aplicação de produtos fitossanitários. In: ZAMBOLIM, L.; CONCEIÇÃO, M. Z. da; SANTIAGO, T. (Org.). **O que engenheiros agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários**. 3. ed. Viçosa - MG: Suprema Gráfica e Editora. 2008. v. 1, p. 155-224.

RIETZ, S.; PÁLYI, B.; CANZELMAYER, H.; LASLÓ, A. Performance of electronic controls for field sprayers. **Journal Agricultural Engineering Research**, Amsterdam, v. 68, p. 399-407, 1998.

ROCHA, C.; H.; B.; Uso eficiente do GPS de Navegação no Cadastro de Feições Lineares. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão territorial, 6., 2004. Florianópolis - SC 2004. **Anais...** Florianópolis, 2004. 7p.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT**: user s guide (Release 6.4). Cary, 1998. 398 p.

SCARLETT, A.J. Integrated control of agricultural tractors and implements: a review of potential opportunities relating to cultivation and crop establishment machinery. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 30, n. 1/3, p.167-191, 2001.

SCOLARI, D.D.G. **Produção agrícola mundial**: o potencial do Brasil. Brasília. EMBRAPA, 2006. 42p.

SENAI **Introdução à programação de microcontroladores Microchip PIC**. SENAI - RS Centro Tecnológico de Mecatrônica 2006. 28 p.

SEGANTINE, P.C.L. **GPS**: sistema de posicionamento global. São Carlos: Suprema, 2005. 381 p.

SHUELLER, J.K. Automation and control. **Mechatronics and Applications of in CIGR Handbook of Agricultural Engineering**; Michigam, USA: ASABE, 2006. Section 4.1 of chap. 4 Precision Agriculture. v. 6 Information Technology. p. 185-195.

SOUSA, R.V. **CAN (Controller Area Network)**: uma abordagem para automação e controle na área agrícola. 2002. 84p. Dissertação (Mestrado – Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

SOUZA, R.O. de; LHAMBY, J.C.B. **Influência do volume de calda e de bicos de pulverização no manejo de azevém**. Passo Fundo: EMBRAPA TRIGO/Projeto METAS, 2000. 20p.

STAFFORD, J.V.; AMBLER, B.; LARK, R.M.; CATT, J.A. Mapping and interpreting the yield variation in cereal crops. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 14, p. 101–119, 1996.

SULLIVAN, M.M.R.; EHSANI, J.T.; WALKER, P. LEVISON,; LANG. L. **Accuracy and availability of WAAS for precision agriculture**. St. Joseph, Mich.: ASAE. 2001. 13p. (ASAE Paper n. 011155).

TAYLOR, R.K.; SCHROCK, M.D.; BLOOMFIELD, J.; BORA, G.; BROCKMEIER, G.; BURTON W.; CARLSON, B.; GATTIS, J.; GROENING, R.; KOPRIVA, J.; OLEEN, N.; NEY, J.; SIMMELINK, C.; VONDRACEK, J. Dynamic Testing of GPS Receivers. ASAE ANNUAL INTERNATIONAL. 2003. Las Vegas. **Meeting ...** Las Vegas: ASAE Riviera Hotel and Convention Center July 2003. p. 27- 30.

TIMOTHY, S.S.; SCOTT, A.S.. DGPS-Based Guidance of High-Speed Application Equipment. ASAE ANNUAL INTERNATIONAL. 2001. Sacramento. **Meeting...** Sacramento: ASAE Convention Center, July 2001. 10p.

UMEZU, C.K.; CAPPELLI, N.L. Desenvolvimento e avaliação de um controlador eletrônico para equipamentos de aplicação de insumos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [online]. 2006. v. 10, n. 1, p. 225-230, ISSN 1415-4366. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n1/v10n1a33.pdf>> Acesso em: 18 abril 2009.

VAN DE ZANDE, J.C.; MEIER, R.; VAN IJZENDOORN, M.T. Air-assisted spraying in winter wheat-results of deposition measurements and the biological effect of fungicides against leaf and ear diseases. In: BRITISH CROP PROTECTION CONF - PESTS AND DISEASES. BCPC, 1994. Brighton. **Proceedings...** Brighton, BCPC, 1994. p. 313-318.

ZAMBOLIM, L.; CONCEIÇÃO, M.Z. da.; SANTIAGO, T. **O que os engenheiros agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários**. 3. ed. Viçosa: UFV/DFP, 2008. 464p.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)