

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE
PARA APLICAÇÃO A TAXA VARIADA E EM TEMPO REAL
DE FITORREGULADORES NA CULTURA DO ALGODOEIRO**

LEONARDO RIBEIRO QUEIRÓS

CAMPINAS
DEZEMBRO DE 2010

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE
PARA APLICAÇÃO A TAXA VARIADA E EM TEMPO REAL
DE FITORREGULADORES NA CULTURA DO ALGODOEIRO**

Tese de Doutorado submetida à banca
examinadora para obtenção do título de
Doutor em Engenharia Agrícola, na área
de concentração em Máquinas
Agrícolas

LEONARDO RIBEIRO QUEIRÓS

Orientador: Prof. Dr. PAULO SÉRGIO GRAZIANO MAGALHÃES

CAMPINAS
DEZEMBRO DE 2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE –
UNICAMP

Q32d Queirós, Leonardo Ribeiro
Desenvolvimento de um sistema de controle para
aplicação a taxa variada e em tempo real de
fitorreguladores na cultura do algodoeiro / Leonardo
Ribeiro Queirós. --Campinas, SP: [s.n.], 2010.

Orientador: Paulo Sérgio Graziano Magalhães.
Tese de Doutorado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Agricultura de precisão. 2. Pulverização. 3.
Controladores PID. 4. Algodão. 5. Cloreto de mepiquat.
I. Magalhães, Paulo Sérgio Graziano. II. Universidade
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia
Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: Design of a control system for variable rate and real-time
application of growth regulator cotton crop

Palavras-chave em Inglês: Precision agriculture, Spraying, PID controllers, Cotton,
Mepiquat chloride

Área de concentração: Máquinas Agrícolas

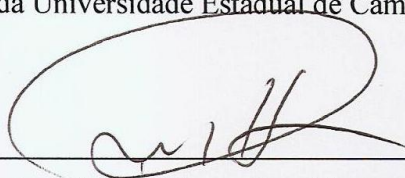
Titulação: Doutor em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Ulisses Rocha Antuniassi, Casimiro Dias Gadanha Junior,
Ricardo Yassushi Inamasu, Stanley Robson de Medeiros
Oliveira

Data da defesa: 23/12/2010

Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

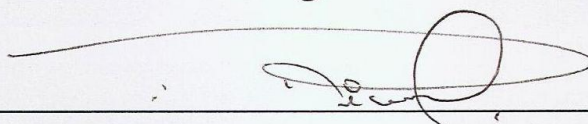
Este exemplar corresponde à redação final da **Tese de Doutorado** defendida por **Leonardo Ribeiro Queirós**, aprovada pela Comissão Julgadora em 23 de dezembro de 2010, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.



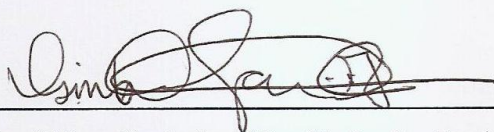
Prof. Dr. Paulo Sérgio Graziano Magalhães – Presidente e Orientador
Feagri/Unicamp



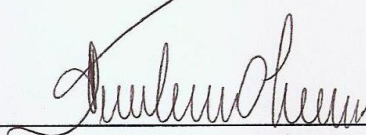
Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi - Membro Titular
FCA/Unesp



Dr. Ricardo Yassushi Inamasu - Membro Titular
Embrapa/CNPDI



Prof. Dr. Casimiro Dias Gadanha Junior - Membro Titular
ESALQ/USP



Prof. Dr. Stanley Robson de Medeiros Oliveira - Membro Titular
Embrapa/CNPDI

Ao companheirismo e compreensão de minha amada esposa Paola e à minha amada filhinha Isabela que está por nascer, dedico com muito amor e carinho esse trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora pelo infinito amor gratuito, carinho, proteção e providência em todos os momentos de minha vida, e em especial à oportunidade de conhecer meu orientador.

De maneira muito especial, expresso minha imensa gratidão ao meu orientador, que incansavelmente, por meio de uma convivência harmoniosa e agradável, sempre me deu apoio e orientação necessária para o desenvolvimento desse trabalho. Além do aprendizado profissional com ele, maiores foram os aprendizados com seu lado humano, com sua capacidade em lidar com conflitos e de dar novas oportunidades, com sua educação, e seriedade.

Aos meus pais, Valdivino e Irmaura, que por toda a vida, estiveram ao meu lado, incentivando minha formação pessoal e profissional. Pelas inesgotáveis orações de minha Mãe, pois me deram muita força mesmo a distância.

Aos meus irmãos e sobrinhos por compreenderem minha ausência e pelo carinho com que souberam me apoiar. Em especial à minha irmã Fernanda, que com todo seu amor sempre esteve por perto me apoiando.

Agradeço também ao Prof. Dr. Casimiro que prontamente abriu as portas de seu laboratório e subsidiou a realização da avaliação dos bicos VariTarget. Esse apoio foi essencial para conhecermos as limitações reais desses bicos e levantar considerações necessárias para o desenvolvimento do Dispositivo de Controle.

A todos os colegas da Feagri que me deram idéias, ou participaram de alguma maneira na confecção do Sistema Hidráulico e de Ultrassom, ou nos ensaios de laboratório. De maneira especial, agradeço as contribuições do pesquisador Dr. Cerri e o técnico em eletrônica Leandro.

A FAPESP pelo apoio financeiro, primordial para a compra de equipamentos e componentes para o desenvolvimento do Dispositivo objeto principal desse trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO	xiv
ABSTRACT.....	xvi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 Cultura do Algodoeiro.....	7
2.1.1 Cenário	8
2.1.2 Fitorreguladores.....	14
2.2 Agricultura de Precisão.....	16
2.2.1 Agricultura de Precisão na Cultura do Algodoeiro.....	26
2.3 Sistemas de Controle	32
2.3.1 Especificação de desempenho	35
2.3.2 Controlador Proporcional, Integral e Derivativo - PID.....	36
2.3.3 Sintonia a partir da Metodologia Ziegler e Nichols.....	40
2.3.4 Modelagem experimental do processo por um modelo de primeira ordem mais o tempo morto. ..	44
2.4 Bicos de Pulverização.	45
3 MATERIAL E MÉTODOS	48
3.1 Avaliação do desempenho dos bicos VariTarget.....	49
3.1.1 Bancada e metodologia utilizada no LASAPF/ESALQ para a coleta dos dados.....	49
3.2 Confecção do Sistema Hidráulico.....	51
3.2.1 Montagem do Circuito Hidráulico	51
3.2.2 Placa de aquisição e atuação no “Comando de Pulverização”.....	54
3.2.3 Desenvolvimento de software para testar a Placa do Comando	59
3.3 Confecção do Sistema Ultrassom.....	61
3.3.1 Placa de aquisição dos sensores de Ultrassom.....	61
3.3.2 Desenvolvimento de software para testar a Placa do Ultrassom.....	66
3.4 Confecção do Sistema de Controle PID	68
3.4.1 Sistema de Controle.....	68
3.4.2 Modelagem do processo e ajustes do controlador PID	75
3.5 Validação do Dispositivo VRT.....	76
3.5.1 Áreas 12ha e 50ha com mapeamento de alturas reais de plantas de algodão	76
3.5.2 Simulação de Entupimento de Bico.....	79
3.6 Testes Estáticos	79
3.6.1 Sinais de excitação do tipo degrau e degraus múltiplos.....	79
3.6.2 Verificação de vazão do sensor de fluxo	81
4 RESULTADO E DISCUSSÃO	83

4.1	Sistema Hidráulico.....	83
4.1.1	Resultados dos ensaios realizados no LASAPF/ESALQ para os bicos VariTarget e suas pontas..	83
4.1.2	Placa de comando	99
4.1.3	Testes Estáticos	100
4.2	Sistema Ultrassom.....	105
4.2.1	Testes Estáticos	105
4.3	Sistema de Controle	106
4.3.1	Desenvolvimento	106
4.3.2	Modelagem da dinâmica do Processo e parâmetros do controlador PID.....	107
4.4	Dispositivo VRT	116
4.4.1	Aplicação VRT na área de 7,3 ha a $2,5 \text{ m.s}^{-1}$	117
4.4.2	Aplicação VRT na área 7,3 ha a 5 m.s^{-1}	119
4.4.3	Simulação de entupimento de bico.	120
5	CONCLUSÃO	123
6	TRABALHOS FUTUROS.....	125
7	BIBLIOGRAFIA	126
8	ANEXOS	133
8.1	ANEXO – A – Tabelas de Vazões coletadas no LASAPF/ESALQ, para as pontas Laranja, Amarela, Azul e Verde.	133
8.2	ANEXO – B – Código Fonte da Principal Classe Java do Sistema de Controle.	141

LISTA DE ABREVIATURAS

ACK	Acknowledgment
AP	Agricultura de Precisão
PID	Controlador Proporcional-Integral-Derivativo
SAP	Sistema em Agricultura de Precisão
VRA	Variable Rate Application
VRT	Variable Rate Technology

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Projeções de produção, consumo e exportação para o algodão em pluma no período de 2009/10 até 2019/20 (AGE/MAPA, 2010).	4
Figura 2 Projeção de área plantada realizada para o algodão em pluma no período de 2009/10 até 2019/20 (AGE/MAPA, 2010).	4
Figura 3 Gráfico da projeção da produtividade de Algodão em pluma no Brasil no período de 2009/10 até 2019/20 conforme dados da planilha de Projeções do Agronegócio AGE/MAPA.	5
Figura 4 Área colhida e produção do Brasil. Dados obtidos de CONAB (2009) e CONAB(2010).	12
Figura 5 Linha do tempo das pesquisas em AP dividida em três períodos.	16
Figura 6 Exemplo de informações georeferenciadas mantidas em um SIG para uma mesma área na lavoura. Fonte: GEBBERS e ADAMCHUK (2010).	21
Figura 7 Elementos do Sistema de AP. Traduzida e adaptada de BLACKMORE (2003).	25
Figura 8 Protótipo com sensor ótico para estimar alturas de plantas de algodão. – (A) ilustração da cortina de luz, (B) ilustração da montagem do protótipo num pulverizador. Fonte: SEARCY e BECK (2000).	28
Figura 9 Taxa de cloreto de mepiquat - PIX – desejada (linha na cor verde) e aplicada (linha na cor rosa), STABILE (2005).	29
Figura 10 Protótipo para estimar a altura de plantas de algodão com sensores ultra-sônicos – (A) ilustração da emissão e recepção da onda sonora, (B) ilustração do arranjo de sensores montados na barra acoplada na parte frontal do pulverizador. Fonte: (QUEIROS; SHIRATSUCHI; e VINHAL, 2005).	30
Figura 11 Variabilidade espacial de altura do algodão constatada numa área comercial de 50 ha no município de Correntina-Bahia. Cada cor corresponde a regiões de alturas diferentes sendo c0 até c9 as regiões de alturas em cm e s o desvio padrão de altura em cada região. Fonte: (QUEIROS; SHIRATSUCHI; e VINHAL, 2005).	31
Figura 12 Sistema de controle em malha aberta.	33
Figura 13 Sistema de controle em malha fechada ou com realimentação.	34
Figura 14 Curva de resposta a uma entrada em degrau unitário que mostra algumas características para especificar as repostas transitórias de um sistema de controle. Figura retirada de OGATA (2003).	35
Figura 15 Função de Transferência do controle PID clássico.	38
Figura 16 Resposta oscilatória com amplitude constante.	40
Figura 17 Estimativa de parâmetros de controlador PID a partir da identificação do tempo morto e constante de tempo da planta em malha aberta.	41
Figura 18 Componentes do bico VariTarget.	46
Figura 19 Bico VT em corte (dimensões em mm), adaptado de DAGGUPATI (2007).	47

Figura 20 Visão geral dos componentes que compõem esses sistemas que formam o Dispositivo VRT.....	48
Figura 21 Vista geral sistema hidráulico.	50
Figura 22 Bancada para análise da distribuição transversal de bicos de pulverização.....	50
Figura 23 Circuito Hidráulico e componentes. A. visão geral; B. da esquerda para direita: sensor de pressão, válvula on/off, sensor de fluxo e válvula proporcional; C. motor elétrico, inversor de frequência, e bomba hidráulica de pistão.	51
Figura 24 Ilustração do reservatório com um “pulmão” de 100L usado na bancada.	52
Figura 25 Diagrama de blocos dos principais elementos de interface e de composição da Placa de Comando.	55
Figura 26 Circuito eletrônico da “Placa de Comando” para a aquisição de dados de Pressão e Fluxo e atuação nas válvulas proporcional e on/off.	56
Figura 27 Leds auxiliares associados aos estados das válvulas conforme comandos recebidos pelo firmware do PIC.	58
Figura 28 O acionamento de movimento da válvula proporcional é dada X ou Y por um tempo t, seguido de um comando de parada Z.	59
Figura 29 Software desenvolvido para testar a comunicação e comandos de interface com a Placa do Comando.	61
Figura 30 Diagrama de Blocos da Placa Ultrassom.	63
Figura 31: Placa Ultrassom e componentes: A. visão geral da Placa Ultrassom; B. sensores ultrassom; C. Display com leituras dos sensores feitas pelo PIC; e D. módulo XBeePro responsável pela comunicação sem fio.....	63
Figura 32 Tela do software de teste da Placa de Ultrassom.	68
Figura 33 Sistema de Controle do Dispositivo VRT.....	69
Figura 34 Classes Java organizadas em pacotes.....	71
Figura 35 Exemplo de um conjunto de regras de aplicação definida pelo especialista em reguladores de crescimento.	73
Figura 36 Rede ZigBee para comunicação do Sistema de Controle com os outros Sistemas...73	
Figura 37 Visão geral o algoritmo de funcionamento do Sistema de Controle.....	74
Figura 38 Áreas experimentais separadas por épocas de plantio diferentes. Da esquerda para direita: 50b, 50a, 12b, 12a.	76
Figura 39 Ilustração de uma célula de aplicação para o Dispositivo VRT.....	78
Figura 40 Ilustração de um conjunto de células de aplicação para o Dispositivo VRT.	78
Figura 41 Tela de testes desenvolvida com sinais de excitação.	80
Figura 42 Arranjo entre Spider e balanças montadas com células de carga para a pesagem do insumo aplicado. A. e B. Spider; C. Balanças.....	81
Figura 43 Interface configurada no software Catman do Spider para fazer a aquisição de dados das balanças.	82
Figura 44 Valores médios obtidos, entre os dois bicos ensaiados com a ponta laranja.	84

Figura 45 Dados de vazão versus pressão para os bicos de ponta laranja com 82% de confiança de que não haja diferença entre os mesmos (●) e dados do fabricante (■).	85
Figura 46 Valores médios obtidos, entre os dois bicos ensaiados com a ponta amarela.....	88
Figura 47 Dados de vazão versus pressão para os bicos de ponta amarela com 91% de confiança de que não haja diferença entre os mesmos (●) e dados do fabricante (■).....	90
Figura 48 Valores médios obtidos, entre os dois bicos ensaiados com a ponta azul.....	92
Figura 49 Dados de vazão versus pressão para os bicos de ponta azul com 97% de confiança de que não haja diferença entre os mesmos (●) e dados do fabricante (■).	94
Figura 50 Valores médios obtidos, entre os dois bicos ensaiados com a ponta verde.	96
Figura 51 Dados de vazão versus pressão para os bicos de ponta verde com 83% de confiança de que não haja diferença entre os mesmos (●) e dados do fabricante (■).	98
Figura 52 Comportamento da pressão a partir de variações constantes no tempo de comando sobre a válvula proporcional nos regimes crescente e decrescente.	101
Figura 53 Polinômio de aproximação da pressão em função do tempo de comando.....	102
Figura 54 Reta ajustada para pressão obtida a partir do tempo de 4,5 s.....	103
Figura 55 Sinal de excitação do tipo degrau, partindo do tempo de comando de 0 até 7 s sobre a planta e expresso em pressão.	107
Figura 56 Pressão desejada x pressão obtida, simulando um controlador em malha aberta. ..	109
Figura 57 Sinal de excitação do tipo degrau em malha aberta partindo de 15 psi.	110
Figura 58 Sinal de excitação do tipo degrau em malha aberta partindo de 30 psi.	111
Figura 59 Sinal de excitação do tipo degrau em malha aberta partindo de 45 psi.	112
Figura 60 Comportamento da pressão obtida resultante de excitação do tipo degraus múltiplos em malha aberta.	114
Figura 61 Excitação do tipo degraus múltiplos de 5 em 5 psi com os parâmetros de PID iniciais segundo Ziegler e Nichols.	116
Figura 62 Excitação do tipo degraus múltiplos de 5 em 5 psi com os parâmetros de PID iniciais segundo ajuste empírico.....	116
Figura 63 Dispositivo VRT: Pressão Desejada x Média Pressão Obtida na velocidade de aplicação a 2,5 m/s.....	118
Figura 64 Dispositivo VRT: Fluxo médio nas Células de Aplicação.	118
Figura 65 Dispositivo VRT: Pressão Desejada x Média Pressão Obtida na velocidade de aplicação a 5 m/s.....	120
Figura 66 Dispositivo VRT: Fluxo médio nas Células de Aplicação.	120
Figura 67 Simulação de entupimento de bico de forma devagar.	121
Figura 68 Simulação de entupimento de bico de forma rápida.	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Dados mundiais da produção, produtividade, fornecimento e uso do algodão. Eles foram retirados e convertidos de COTTON WORLD MARKETS AND TRADE (2010).	10
Tabela 2 Estatística descritiva dos dados mundiais da produção, produtividade, fornecimento e uso do algodão retirados de COTTON WORLD MARKETS AND TRADE (2010).	11
Tabela 3 Produção, consumo, importação, exportação e estoque em ordem decrescente dos principais países do mundo para os anos agrícolas de 2006/07 até 2009/2010. Dados foram retirados de COTTON WORLD MARKETS AND TRADE (2010).	11
Tabela 4 Progressão histórica de tecnologias que têm permitido avanço nos estudos da AP. Fonte: PIERCE (1999).	19
Tabela 5 Resumo das ações de um controlador PID, retirado de UMEZU (2003).	39
Tabela 6 Sintonia dos parâmetros do controlador PID segundo Ziegler e Nichols (malha fechada)	41
Tabela 7 Sintonia dos parâmetros do controlador PID segundo Ziegler e Nichols (malha aberta).	42
Tabela 8 Comandos de interação do firmware do PIC com um computador externo.	57
Tabela 9 Comandos de interação do firmware do PIC com o sistema de controle.	64
Tabela 10 Principais alterações do firmware do novo Protótipo.	66
Tabela 11 Estatística descritiva dos dados coletados pelos sensores ultrassom para cada área experimental	77
Tabela 12 Regras de aplicação hipotéticas para validação do Dispositivo VRT.	79
Tabela 13 Desvio padrão do valor médio sobre a média de vazão da Ponta Laranja 1 e 2.	84
Tabela 14 Percentual de variação entre os dados coletados e os dados informados no catálogo do fabricante para a Ponta Laranja. Valores em negrito foram interpolados.	85
Tabela 15 Desvio padrão e média de vazão da Ponta Amarela 1 e 2.	87
Tabela 16 Percentual de variação entre os dados coletados e os dados informados no catálogo do fabricante para a Ponta Amarela. Valores em negrito foram interpolados.	89
Tabela 17 Desvio padrão do valor médio sobre a média de vazão da Ponta Azul 1 e 2.	91
Tabela 18 Percentual de variação entre os dados coletados e os dados informados no catálogo do fabricante para a Ponta Azul. Valores em negrito foram interpolados.	93
Tabela 19 Desvio padrão do valor médio sobre a média de vazão da Ponta Verde 1 e 2.	95
Tabela 20 Desvio padrão e média de vazão da Ponta Verde 1 e 2. Valores em negrito foram interpolados.	97
Tabela 21 Pressão obtida a partir de variações constantes no tempo de comando sobre a válvula proporcional nos regimes crescente e decrescente.	100
Tabela 22 Coleta de vazão pelo sensor de fluxo e pelas células de carga para duas pontas laranjas.	104

Tabela 23 Dados obtidos sobre a dinâmica do processo através da excitação em degrau em malha aberta.....	108
Tabela 24 Dados obtidos sobre a dinâmica do processo através da excitação em degrau em malha aberta partindo de 15 psi.....	110
Tabela 25 Dados obtidos sobre a dinâmica do processo através da excitação em degrau em malha aberta partindo de 30 psi.....	111
Tabela 26 Dados obtidos sobre a dinâmica do processo através da excitação em degrau em malha aberta partindo de 45 psi.....	112
Tabela 27 Valores médios dos parâmetros da dinâmica do processo K, L e T.....	113
Tabela 28 Dados de vazão das três repetições para a Ponta Laranja 1.....	133
Tabela 29 Dados de vazão das três repetições para a Ponta Laranja 2.....	134
Tabela 30 Dados de vazão das três repetições para a Ponta Amarela 1.....	135
Tabela 31 Dados de vazão das três repetições para a Ponta Amarela 2.....	136
Tabela 32 Dados de vazão das três repetições para a Ponta Azul 1.....	137
Tabela 33 Dados de vazão das três repetições para a Ponta Azul 2.....	138
Tabela 34 Dados de vazão das três repetições para a Ponta Verde 1.....	139
Tabela 35 Dados de vazão das três repetições para a Ponta Verde 2.....	140

Desenvolvimento de um sistema de controle para aplicação a taxa variada e em tempo real de fitorreguladores na cultura do algodoeiro

RESUMO

O objetivo principal desse trabalho consistiu em desenvolver um dispositivo de controle que permitisse aplicação em taxa variável e em tempo real de fitorreguladores na cultura do algodoeiro. Assume-se a hipótese que “utilizando um dispositivo de controle com sistema hidráulico e controle eletrônico, é possível, em tempo real, variar a taxa de aplicação de fitorreguladores no algodão, baseado nas informações obtidas nos sensores de ultrassom, que detectam a altura das plantas também em tempo real; no algoritmo de crescimento da planta e na dosagem do fitorregulador estabelecido pelo usuário do sistema”. O dispositivo proposto é composto de três sistemas: Hidráulico, Ultrassom e Controle. O sistema Hidráulico consiste do comando de pulverização e circuito eletrônico para aquisição de dados e atuação nos componentes desse comando. O sistema de Ultrassom é um circuito eletrônico composto por um conjunto de sensores ultrassom que realizam a medição da altura de plantas de algodão. O sistema de Controle é o núcleo do dispositivo, pois é o responsável por gerenciar as informações dos sistemas Hidráulico e de Ultrassom e, com um algoritmo de controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID) retroalimentado pelo sensor de pressão e regras de aplicação de fitorregulador, é capaz de variar a dose em tempo real controlando as válvulas do comando de pulverização. Os circuitos eletrônicos foram desenvolvidos com base na arquitetura microcontrolada PIC18F452 e comunicação sem fio por meio de módulos de rádio frequência que implementam o protocolo ZigBee. Para o desenvolvimento das interfaces de validação dos três sistemas adotou-se tecnologias de software livre como a linguagem de programação Java, ambiente de desenvolvimento Netbeans e sistema operacional Linux. Para validação do Dispositivo proposto, foi utilizado um mapa de uma área de 7.3 ha com o registro georeferenciado de alturas de plantas de algodão e regras de aplicação de fitorregulador, considerando as velocidades de pulverização $2,5 \text{ m.s}^{-1}$ e 5 m.s^{-1} . Independentemente das velocidades simuladas, houve potencial economia de aplicação de regulador de crescimento.

Também foram realizadas validações para verificar se o dispositivo proposto manteria a pressão desejada simulando o entupimento de bico de forma lenta e rápida. Os resultados mostram que em ambas as situações a pressão é mantida próxima do valor desejado. Com os resultados obtidos, conclui-se que o dispositivo proposto atende ao objetivo de sua proposição.

Palavras-chave: Agricultura de precisão, Pulverização, Controladores PID, Algodão, Cloreto de mepiquat.

Design of a control system for variable rate and real-time application of growth regulator cotton crop

ABSTRACT

The main objective of this project was to develop a prototype device control capable to accomplish the application of plant growth regulator at variable rate in real time in cotton crop. We assume the hypothesis that “by using a control device with hydraulic and electronic control, it’s possible to vary the application of plant growth regulator in cotton crop, based on the information obtained from the ultrasound transducers to detect the height of the plants in real time; the plant growth algorithm and plant growth regulator dosage established by the system user”. In the device proposed there are three systems: Hydraulic, Ultrasound and Control. The Hydraulic system is compound by the sprayer command and electronic circuit for data acquisition and actuation in the components used in the sprayer command. The Ultrasound system is a electronic circuit composed by a set of ultrasound sensors that measure the cotton plants height. The Control system is the core of the Device, because it’s responsible by the information management in the hydraulic and ultrasound systems and, with a control algorithm Proportional-Integral-Derivative (PID) retrofitted by the pressure sensor and application rules of plant growth regulator, it’s capable of varying the dose in real time by controlling the valves of the spray command. The electronic circuits were developed based on the PIC18F452 microcontrolled architecture and wireless communication by radio frequency modules that implement the ZigBee protocol. In the development of the three systems validation interfaces we have adopted the technology of the open source tools as Java, IDE Netbeans and Linux operational system. To validate the device, we have used 7,3 ha of heights cotton plants previously mapped and rules application of plant growth regulator, considering the sprayers velocity $2,5 \text{ m.s}^{-1}$ e 5 m.s^{-1} . Regardless the speed simulates, there were a potential economy of regulator growth application. Validations were also performed to verify if the device could keep the desired pressure. We have simulated the nozzle obstruction in a fast way and in a slow way. The results show that both situations the pressure is kept near the desired value. With these results the device reach the objective of this proposition.

Keywords: Precision agriculture, Spraying, PID controllers, Cotton, Mepiquat chloride.

1 INTRODUÇÃO

As projeções da Assessoria de Gestão Estratégica do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - AGE/MAPA, realizadas para a agricultura do Brasil até 2019/20, é de que a área total plantada com lavouras passará de 60 milhões de hectares em 2010, para 69,7 milhões em 2020. Isso significa um acréscimo de 9,7 milhões de hectares em solo brasileiro. As estimativas revelam ainda que o crescimento da produção agrícola se dará com base na produtividade, pois as projeções indicam que de 2010 a 2020, a taxa média anual de crescimento da produção de lavouras deve ser de 2,67%, enquanto a área plantada deverá expandir-se anualmente em 0,45%, ou seja, o crescimento da área plantada será bem menor do que o da produção agropecuária (AGE/MAPA, 2010). É importante ressaltar que essas projeções foram realizadas por modelos mais conservadores, baseado em estimativas mais moderadas e não por modelos que tendem a indicar taxas mais arrojadas de crescimento.

A tendência de crescimento da produção agrícola no Brasil também é justificada pelo aumento crescente da população mundial, pois os países super populosos terão dificuldades de atender demandas de grãos e fibras devido ao esgotamento de suas áreas agricultáveis. Só é possível aumentar a produção sem grandes expansões nas áreas de plantio se houver um amplo crescimento das pesquisas científicas, tanto por iniciativas do setor privado como do público, que levem inovações diretamente para as mãos do agricultor. Essas vão desde uma nova variedade de planta resistente a algumas pragas até a criação de sistemas de controle para aplicação de insumo a taxa variável ou ainda a organização de informação e orientações de manejo mais precisas.

Nos últimos 10 anos, nota-se um grande esforço de instituições de pesquisa como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) – vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – a Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), a Universidade de São Paulo (USP) entre outras, em elaborar metodologias de manejo e criar soluções tecnológicas para gerenciar a variabilidade espacial de fatores de produção que influenciam na produtividade de uma determinada cultura com vistas na obtenção de maior produtividade, melhor gestão de insumo aplicado e, conseqüentemente, menor agressão ao meio ambiente. O termo utilizado que reflete esses esforços é *Agricultura de Precisão* - AP.

Para a rede de AP liderada pela Embrapa – Rede AP2, (Rede AP2, 2010) o conceito é ilustrado a seguir:

“A AP é um tema abrangente, sistêmico e multidisciplinar. Não se limita a algumas culturas nem a algumas regiões. Trata-se de um sistema de manejo integrado de informações e tecnologias, fundamentado nos conceitos de que as variabilidades de espaço e tempo influenciam nos rendimentos dos cultivos. A AP visa o gerenciamento mais detalhado do sistema de produção agrícola como um todo, não somente das aplicações de insumos ou de mapeamentos diversos, mas de todo os processos envolvidos na produção. Esse conjunto de ferramentas para a agricultura pode fazer uso do GNSS (Global Navigation Satellite System), do SIG (Sistema de Informações Geográficas), de instrumentos e de sensores para medidas ou detecção de parâmetros ou de alvos de interesse no agroecossistema (solo, planta, insetos e doenças), de geoestatística e da mecatrônica. Mas a AP não está relacionada somente ao uso de ferramentas de alta tecnologia, pois os seus fundamentos podem ser empregados no dia-a-dia das propriedades pela maior organização e controle das atividades, dos gastos e produtividade em cada área. O emprego da diferenciação já ocorre na divisão e localização das lavouras dentro das propriedades, na divisão dos talhões ou piquetes, ou simplesmente, na identificação de “manchas” que diferem do padrão geral. A partir dessa divisão, o tratamento diferenciado de cada área é a aplicação do conceito de AP.”

É possível então dizer que a AP é uma nova forma de gestão de antigos conceitos da agronomia que levam a uma nova maneira de produzir. O que muda é forma de utilização dos conceitos agrônômicos tradicionais por meio de ferramentas que permitem o registro e análise da variabilidade espacial, para obtenção de melhores resultados no campo.

A fundamentação teórica em AP originou-se ainda mais cedo em outros países, há registros na literatura de que em 1929, em uma Estação Experimental Agrícola da Universidade de Illinois (USA), foi publicada uma Circular no. 346, na qual os autores concluíram que:

“os requisitos de aplicação variavam bastante para um mesmo talhão em sua necessidade de calcário; e a necessidade de que fossem feitos testes

sistemáticos e detalhados no campo, de forma que o calcário pudesse ser aplicado de acordo com a sua necessidade. Essa ideia permaneceu no esquecimento por muitos anos, até o momento em que a disponibilidade de microcomputadores, sensores e sistemas de posicionamento via satélite se tornaram disponíveis a custos acessíveis” (Cerri, 2005).

Além de destacar-se nos EUA, a AP ganhou também grande notoriedade em países como a Alemanha, Argentina, Austrália e Inglaterra (Rede AP2, 2010).

Uma cultura importante a ser explorada pela AP no mundo é a do Algodão. Recentemente no Brasil, houve a migração de uma boa parte da cultura de algodão da região Nordeste para a Centro-Oeste, onde as lavouras são mais extensas, o que passou a exigir altas taxas de aplicação de agrotóxicos para diminuir o risco de perda de investimento realizado pelo cotonicultor (SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ALGODÃO EMBRAPA, 2010). As projeções feitas até 2019/20 pela AGE/MAPA para o algodão em pluma, mostram a importância dessa cultura para o país e indicam que: (i) a passagem da produção de 1,19 milhões de toneladas de algodão em 2008/2009 para 2,01 milhões de toneladas em 2019/2020, configurando uma taxa de crescimento de 4,68% ao ano; (ii) o consumo projetado segue a uma taxa anual de 1,56%, desse modo, o consumo projetado é de 1,19 milhões de toneladas de algodão; (iii) o volume de exportações será de 833,5mil toneladas em 2019/20; (iv) a estimativa de área plantada com algodão no final do período de projeção deverá ser de 1,27 milhão de hectares, 51,0% superior à área plantada em 2008/09 e com taxa anual de crescimento de 2,01%; (v) a produtividade crescendo a uma taxa anual de 2,61% (Figura 1, Figura 2 e Figura 3).

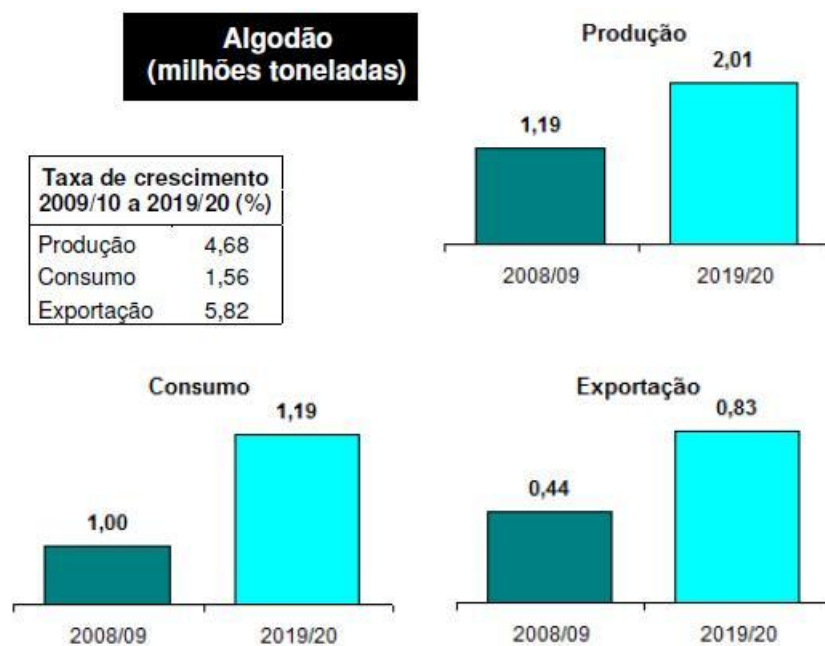


Figura 1 Projeções de produção, consumo e exportação para o algodão em pluma no período de 2009/10 até 2019/20 (AGE/MAPA, 2010).

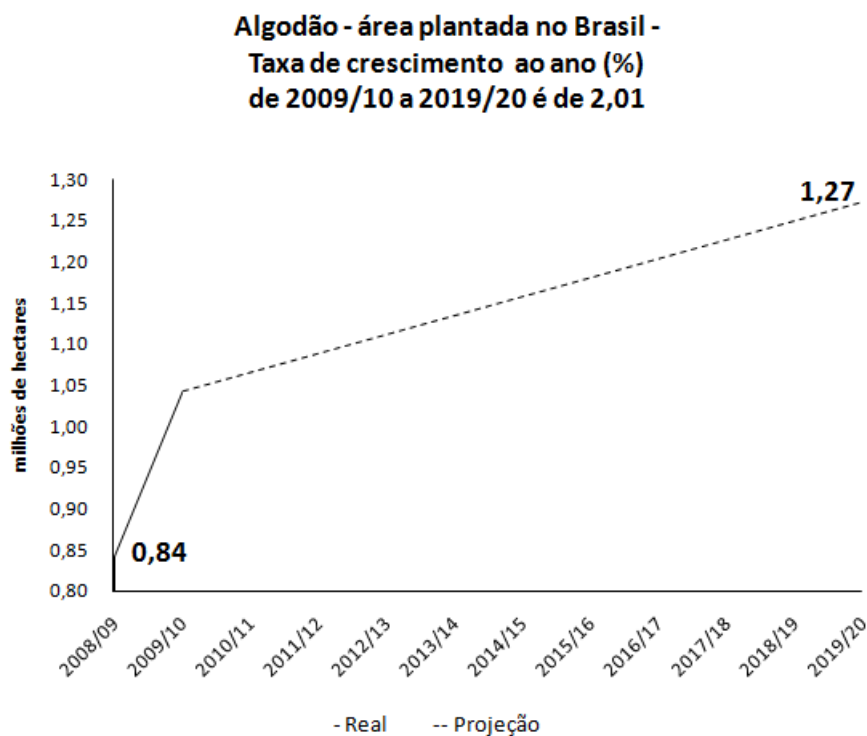


Figura 2 Projeção de área plantada realizada para o algodão em pluma no período de 2009/10 até 2019/20 (AGE/MAPA, 2010).

**Algodão - produtividade no Brasil -
Taxa de crescimento ao ano (%)
de 2009/10 a 2019/20 é de 2,61**

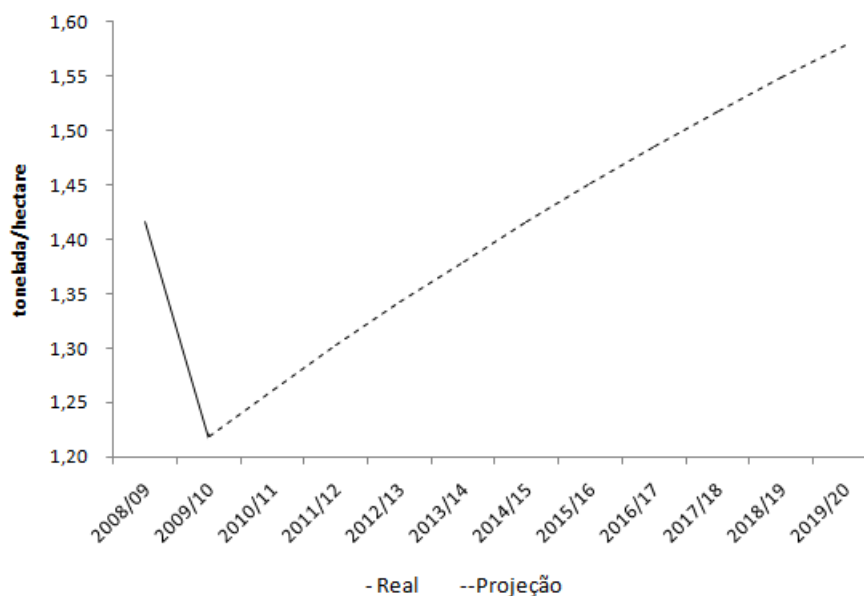


Figura 3 Gráfico da projeção da produtividade de Algodão em pluma no Brasil no período de 2009/10 até 2019/20 conforme dados da planilha de Projeções do Agronegócio AGE/MAPA.

No SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ALGODÃO EMBRAPA (2010)¹ é ressaltado que a cadeia de produção do Algodão é complexa e contribui para a geração de emprego em diferentes setores da sociedade.

Com o objetivo de colaborar com os esforços em AP, a contribuição principal deste trabalho é o desenvolvimento de um dispositivo que permita aplicação a taxa variada de fitorregulador em plantas de algodão via gerenciamento da variabilidade espacial de altura e taxa de crescimento em tempo real. Pretende-se que o dispositivo contemple o aspecto ambiental e econômico da AP. Assume-se a hipótese que “*utilizando um dispositivo de controle com sistema hidráulico e controle eletrônico, é possível, em tempo real variar a aplicação de fitorreguladores no algodão, baseado nas informações obtidas dos sensores de ultrassom para detectar a altura das plantas também em tempo real; e no algoritmo de crescimento da planta e dosagem do fitorregulador estabelecido pelo usuário do sistema*”.

¹ Sistema de Produção de Algodão da Embrapa - trata-se de um website (<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>) editado pela Embrapa com informações sobre os sistemas de produção de várias culturas agrícolas.

No aspecto ambiental, é possível que esse tipo de dispositivo desenvolvido reduza nos solos a inserção de insumos que tenham potencial de contaminação do lençol freático², por haver a possibilidade dele não aplicar regulador de crescimento em determinadas áreas do talhão onde a planta ainda não precisa do insumo ou por haver regiões sem plantas. Essa possibilidade de aplicar somente quando for necessário contribuirá no aspecto econômico, pois acredita-se que o cotonicultor comprará menor quantidade de fitoregulador. E em caso das doses variáveis aumentarem a produtividade, o cotonicultor terá maior retorno econômico também. Ressalta-se que pode ocorrer do dispositivo aplicar mais regulador de crescimento numa lavoura do que a tradicional dose uniforme, pois nesses casos as plantas estão com alto vigor vegetativo e a formulação da dose uniforme está aquém do que a planta precisava.

Para facilitar a compreensão, este trabalho foi dividido em 6 capítulos conforme listados e descritos a seguir:

- Capítulo 2, “Revisão Bibliográfica”, apresenta uma revisão da literatura sobre o cenário mundial da cultura do algodoeiro e da agricultura de precisão, é destacada, principalmente, a importância sócio-econômica do cultivo do algodão e a urgente necessidade de avanços de pesquisas em agricultura de precisão para a cotonicultura brasileira. Esse capítulo contempla ainda uma seção dedicada à explicar a finalidade e a forma de aplicação de fitoreguladores. Nas outras duas seções contempladas, uma sobre a teoria de controle e a outra sobre os bicos pulverizadores, têm, respectivamente, o intuito de atuar como base metodológica para o sistema de controle desenvolvido e auxiliar o resultado e discussão desse trabalho.
- Capítulo 3, “Material e Métodos”, descreve todos os materiais necessários e as metodologias associadas ao desenvolvimento do dispositivo proposto nesse trabalho;
- Capítulo 4, “Resultados e Discussão”, apresenta os resultados do experimento a fim de validar o dispositivo proposto;
- Capítulo 5, “Conclusão”, enumera os principais resultados e contribuições obtidos com a execução desse trabalho;
 - Capítulo 6, “Trabalhos Futuros”, enumera potenciais trabalhos de pesquisa identificados durante a execução desse trabalho.

² Vale ressaltar que para determinadas aplicações de alguns agrotóxicos, pode não acontecer a contaminação do lençol freático. Para o caso dos fitoreguladores, esse potencial de contaminação existe.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse capítulo apresenta uma revisão da literatura sobre o cenário mundial da cultura do algodoeiro e da agricultura de precisão, é destacada, principalmente, a importância sócio-econômica do cultivo do algodão e a urgente necessidade de avanços de pesquisas em agricultura de precisão para a cotonicultura brasileira. Esse capítulo contempla ainda uma seção dedicada à explicar a finalidade e a forma de aplicação de fitorreguladores. Nas outras duas seções contempladas, uma sobre a teoria de controle e a outra sobre os bicos pulverizadores, têm, respectivamente, o intuito de atuar como base metodológica para o sistema de controle desenvolvido e auxiliar o resultado e discussão desse trabalho.

2.1 Cultura do Algodoeiro

A produção do algodão no Brasil nas últimas três décadas tem se caracterizado por grandes mudanças. Na década de setenta e parte da década de oitenta a cotonicultura nacional caracterizava-se por um processo produtivo predominantemente familiar, com grande absorção de mão de obra temporária, lavouras com baixa produtividade, especialmente nas lavouras instaladas na região nordeste do Brasil e, colheita manual. A produção obtida não era totalmente consumida no país sendo exportados anualmente volumes entre 30 a 180 mil toneladas de pluma anuais. A partir de meados da década de oitenta a cotonicultura nacional entrou em crise, provocada por vários fatores que induziram o Brasil a posição de segundo maior importador de algodão em 1993, quando foram adquiridos no exterior 501,2 mil toneladas de pluma. O panorama atual da cotonicultura nacional começou a ser delineado a partir de 1998, quando a cotonicultura empresarial desenvolvida no cerrado do centro-oeste sobrepujou a cotonicultura familiar e passou a ser o tipo de algodão predominante no Brasil, com qualidade extrínseca e intrínseca semelhante aos melhores algodões importados dos Estados Unidos e Austrália. O produtor de algodão da fase atual apresenta perfil empresarial, com área cultivada média superior a 500 ha; utiliza técnicas agronômicas e insumos modernos; pratica mecanização total da lavoura e processa sua produção em algodozeiras próprias ou arrendadas, eliminando etapas de intermediação ao comercializar diretamente

junto às indústrias têxteis; apresenta alto nível de organização exercitada, nas fases de geração e transferência de tecnologia, aquisição de insumos e serviços e, comercialização interna ou através dos consórcios exportadores (FREIRE, 2000).

O desenvolvimento tecnológico para o setor passa por diversos campos do conhecimento e um deles é o da “tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas”, como por exemplo, a aplicação de fitorreguladores para controlar a arquitetura da planta. Em sintonia com os objetivos desse trabalho, e para maior detalhamento e entendimento do cenário do algodão no mundo e no Brasil, do uso de fitorregulador e agricultura de precisão no algodão, essa seção está dividida nos seguintes itens: Cenário; Fitorreguladores; e Agricultura de Precisão no Algodão.

2.1.1 Cenário

Dados mundiais sobre fornecimento e distribuição do algodão, retirados de COTTON WORLD MARKETS AND TRADE (2010) (Tabela 1) e tratados com descritores estatísticos (Tabela 2), para os anos agrícolas de 1979/80 até 2009/10, revelam que o indicador de: **área colhida (1.000 ha)** variou de 29.347 até 35.947, sendo o valor médio de 32.614,39 e desvio padrão 1.618,07; **produção (1.000 t)** variou de 13.689 até 26.297,14, sendo o valor médio de 19.212,21 e desvio padrão de 3.520,71; **rendimento médio (kg/ha)** variou de 423 até 785,09, sendo o valor médio de 587,98 e desvio padrão de 96,75; **consumo (1.000 t)** variou de 13.726 até 26.353,94, sendo o valor médio de 19.146,40 e desvio padrão de 3.448,01; **importação (1.000 t)** variou de 5.288 até 9.670,10, sendo o valor médio de 6.575,04 e desvio padrão de 970,31; **exportação (1.000 t)** variou de 5.081 até 9.707,90, sendo o valor médio de 6.465,82 e desvio padrão de 1.020,22; **uso do estoque (%)** variou de 29 até 63, sendo o valor médio de 45,71 e desvio padrão de 10,03. Ao comparar os indicadores do último e primeiro ano agrícola – 2009/10 e 1979/80 – da Tabela 1, observa-se que a área colhida reduziu em 6%, enquanto a produção, o rendimento médio, consumo, importação, exportação e uso do estoque cresceram aproximadamente 55, 65, 75, 18, 16 e 25% respectivamente.

A Tabela 3, elaborada a partir de dados retirados de COTTON WORLD MARKETS AND TRADE (2010) apresenta em ordem decrescente os primeiros sete países do mundo produtores, consumidores, importadores, exportadores e estoque, para os anos agrícolas de 2006/07 até 2009/10. Em termos de produção, os países foram China, Índia, Estados Unidos,

Paquistão, Brasil, Uzbequistão e Austrália, sendo inalteradas suas posições. Quanto ao consumo, os primeiros quatro países China, Índia, Paquistão e Turquia mantiveram as mesmas posições, sendo a partir da quinta posição alternados por Brasil, Estados Unidos e Bangladesh ao longo desses anos agrícolas. Em termos de importação a primeira posição foi ocupada pela China, sendo as demais posições ocupadas de forma variada pela Turquia, Bangladesh, Paquistão, Indonésia, Tailândia e Vietnã. Quanto à exportação, a primeira posição foi ocupada pelos Estados Unidos, sendo as demais posições ocupadas de forma variada Índia, Uzbequistão, Austrália, Brasil, Grécia e Turquemenistão. Em termos de estoque, tem se a China ocupando sempre a primeira posição, sendo as demais posições ocupadas de forma variada pela Índia, Estados Unidos, Brasil, Paquistão, Turquia e Austrália. De forma geral, em todos os casos, as primeiras sete posições de cada indicador, sempre foram ocupadas pelos mesmos países.

Tabela 1 Dados mundiais da produção, produtividade, fornecimento e uso do algodão. Eles foram retirados e convertidos de COTTON WORLD MARKETS AND TRADE (2010).

Ano Agrícola	Área	Rendimento			Uso do		
	Colhida (1.000 ha)	Produção (1.000 t)	médio (kg/ha)	Consumo (1.000 t)	Importação (1.000 t)	Exportação (1.000 t)	Estoque (%)
1979/80	32.219	14.136	439	14.237	6.589	6.623	32
1980/81	32.369	13.689	423	14.037	5.887	5.673	32
1981/82	32.938	14.869	451	13.726	5.551	5.565	41
1982/83	31.394	14.328	456	14.530	5.631	5.511	38
1983/84	30.920	14.316	463	14.942	5.845	5.472	35
1984/85	33.741	19.160	568	15.399	5.968	5.875	59
1985/86	31.581	17.311	548	16.326	6.260	6.065	63
1986/87	29.347	15.198	518	17.771	7.148	7.204	43
1987/88	30.871	17.592	570	18.291	6.594	6.502	39
1988/89	33.831	18.192	538	18.550	7.254	7.232	36
1989/90	31.696	17.219	543	18.822	7.064	6.773	29
1990/91	33.151	18.824	568	18.510	6.605	6.385	32
1991/92	34.786	20.584	592	18.697	6.269	6.102	43
1992/93	32.667	17.787	544	18.661	5.843	5.503	40
1993/94	30.743	16.788	546	18.510	6.037	5.759	32
1994/95	32.278	18.651	578	18.206	6.542	6.082	38
1995/96	35.947	20.277	564	18.446	5.831	5.910	47
1996/97	33.772	19.465	576	18.868	6.173	5.797	51
1997/98	33.815	19.932	589	18.724	5.600	5.772	57
1998/99	32.899	18.597	565	18.068	5.288	5.081	62
1999/00	32.357	19.000	587	19.544	6.043	5.869	56
2000/01	32.023	19.245	601	19.617	5.665	5.659	54
2001/02	33.729	21.320	632	20.247	6.330	6.296	58
2002/03	30.757	19.651	639	21.084	6.520	6.579	48
2003/04	32.323	20.895	646	20.993	7.368	7.171	49
2004/05	35.724	26.259	735	23.307	7.309	7.563	56
2005/06	34.751	25.159	724	24.848	9.670	9.708	53
2006/07	34.584	26.297	760	26.354	8.220	8.105	50
2007/08	32.926	25.850	785	26.176	8.422	8.419	49
2008/09	30.730	23.141	753	23.174	6.494	6.499	55
2009/10	30.177	21.848	724	24.875	7.805	7.687	40

Tabela 2 Estatística descritiva dos dados mundiais da produção, produtividade, fornecimento e uso do algodão retirados de COTTON WORLD MARKETS AND TRADE (2010).

1979/80 a 2009/10	Área Colhida (1.000 ha)	Produção (1.000 t)	Rendimento médio (kg/ha)	Consumo (1.000 t)	Importação (1.000 t)	Exportação (1.000 t)	Uso do Estoque (%)
Mínimo	29347	13689	423	13726	5288	5081	29
Máximo	35947,00	26297,14	785,09	26353,94	9670,10	9707,90	63,00
Média	32614,39	19212,21	587,98	19146,40	6575,04	6465,82	45,71
Desvio	1618,07	3520,71	96,75	3448,01	970,31	1020,22	10,03

Tabela 3 Produção, consumo, importação, exportação e estoque em ordem decrescente dos principais países do mundo para os anos agrícolas de 2006/07 até 2009/2010. Dados foram retirados de COTTON WORLD MARKETS AND TRADE (2010).

Ano	Agrícola	Produção	Consumo	Importação	Exportação	Estoque
2006/07		China	China	China	Estados Unidos	China
		Índia	Índia	Turquia	Índia	Estados Unidos
		Estados Unidos	Pakistão	Bangladesh	Uzbequistão	Índia
		Paquistão	Turquia	Pakistão	Austrália	Brasil
		Brasil	Estados Unidos	Indonésia	Brasil	Paquistão
		Uzbequistão	Brasil	Tailândia	Grécia	Turquia
		Austrália	Bangladesh	Vietnam	Turquemenistão	Austrália
2007/08		China	China	China	Estados Unidos	China
		Índia	Índia	Pakistão	Índia	Estados Unidos
		Estados Unidos	Pakistão	Bangladesh	Uzbequistão	Brasil
		Paquistão	Turquia	Turquia	Brasil	Índia
		Brasil	Brasil	Indonésia	Grécia	Paquistão
		Uzbequistão	Estados Unidos	Tailândia	Austrália	Turquia
		Austrália	Bangladesh	Vietnam	Turquemenistão	Austrália
2008/09		China	China	China	Estados Unidos	China
		Índia	Índia	Bangladesh	Uzbequistão	Índia
		Estados Unidos	Pakistão	Turquia	Brasil	Estados Unidos
		Paquistão	Turquia	Indonésia	Índia	Brasil
		Brasil	Brasil	Pakistão	Austrália	Paquistão
		Uzbequistão	Bangladesh	Tailândia	Grécia	Turquia
		Austrália	Estados Unidos	Vietnam	Turquemenistão	Austrália
2009/10		China	China	China	Estados Unidos	China
		Índia	Índia	Turquia	Índia	Índia
		Estados Unidos	Paquistão	Bangladesh	Uzbequistão	Brasil
		Paquistão	Turquia	Indonésia	Austrália	Estados Unidos
		Brasil	Brasil	Tailândia	Brasil	Paquistão
		Uzbequistão	Bangladesh	Vietnam	Turquemenistão	Turquia
		Austrália	Estados Unidos	Pakistão	Grécia	Austrália

A Figura 4 apresenta graficamente numa série histórica de 1979/80 até 2009/10 obtidas de CONAB (2009) e CONAB (2010), a área colhida em 1.000 ha e a produção em 1.000t de algodão no Brasil. Percebe-se nessa figura, uma redução da área plantada na década de 80, que segundo BUAINAIN e BATALHA (2007) os principais determinantes foram: i) praga do bocado na Região Nordeste, principalmente na safra 1986/1987; ii) os altos custos de produção; iii) a redução dos preços internacionais; iv) as facilidades nas importações nacionais; v) as dificuldades de crédito para plantio e colheita, uma vez que os maiores produtores eram arrendatários e pequenos produtores; e vi) instabilidade macroeconômica. Para BUAINAIN e BATALHA (2007) é estimado que a crise na cotonicultura brasileira, entre meados da década de 1980 e meados da década de 1990, tenha provocado um desemprego da ordem de 800 mil trabalhadores diretos, acarretando um dos maiores e mais rápidos êxodos rurais registrados pela histórica contemporânea em tempo de paz.

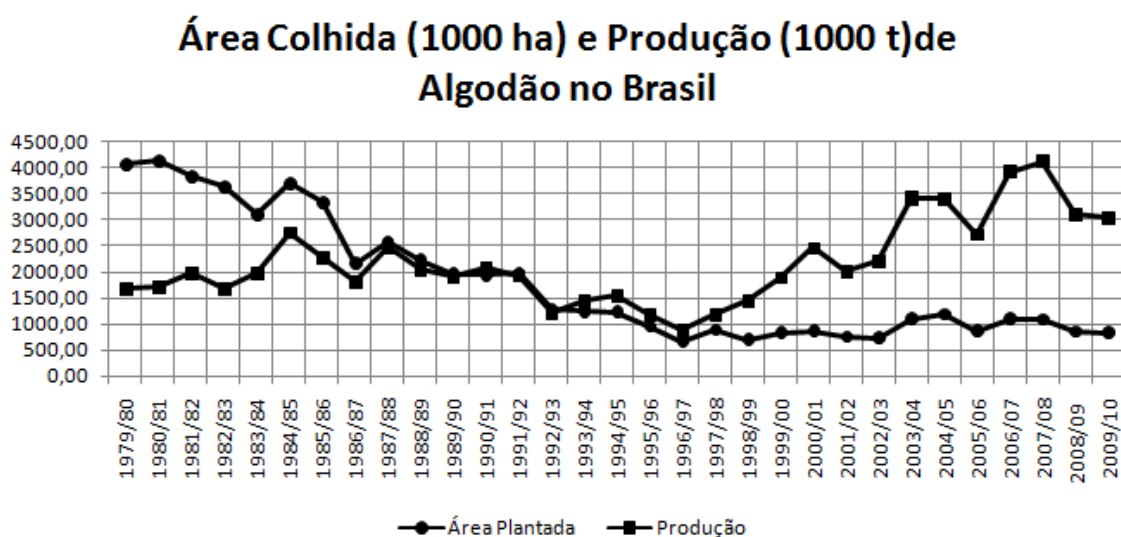


Figura 4 Área colhida e produção do Brasil. Dados obtidos de CONAB (2009) e CONAB(2010).

Nesse período de crise, a cotonicultura nacional era cultivada predominantemente de forma manual e concentrada na região do Nordeste, entretanto, por meio de medidas políticas, interesse do setor privado e pesquisas, propiciou-se, a partir da década de 90, a retomada de produção da cotonicultura em extensas áreas adequadas à mecanização da região dos

Cerrados, de forma mais competitiva, conforme descrito por BUAINAIN e BATALHA (2007):

‘... Uma nova fase iniciou-se em meados da década de 1990, com uma nova geografia e novo sistema produtivo. Nessa etapa, o Mato Grosso foi bem sucedido, pois a política do governo local e o interesse empresarial se aliaram para promover a cotonicultura nas extensas áreas adequadas à mecanização. A pesquisa e transferência de tecnologia realizada pela Embrapa também foram relevantes para viabilizar o processo de reorganização da produção do algodão. O programa foi muito bem sucedido e, conforme pesquisa do Icac (2003), o plantio de algodão no cerrado brasileiro é o segundo mais competitivo do mundo, perdendo apenas para o Chinês... ’

Após o cultivo predominantemente mecanizado do algodão, os estados Mato Grosso, Bahia e Goiás tem-se destacado como maiores produtores dessa cultura no Brasil. Dados da CONAB (2010) sobre **área colhida (1.000 ha)**, **produção (1.000 t)** e **rendimento médio (kg/ha)** para o algodão em caroço nos anos agrícolas 2008/09 e 2009/10 revelam para esses três estados respectivamente: 387,4 e 428,1, 283,2 e 260,8, 57,3 e 56,7; 1.574,8 e 1.489,8, 943,1 e 1.017,1, 243,5 e 225,4; e 4.065 e 3.480, 3.330 e 3.900, 4.250 e 3.975. Juntos eles somam nesses anos agrícolas, respectivamente, uma **área colhida (1.000 ha)** de 727,9 e 745,6, e **uma produção (1.000 t)** de 2761,4 e 2732,3, representando em uma participação nacional de aproximadamente 86 e 89% e 89 e 90%.

As projeções feitas até 2019/20 pela AGE/MAPA para o algodão em pluma, mostram a importância dessa cultura para o país e indicam que: (i) a passagem da produção de 1,19 milhões de toneladas de algodão em 2008/2009 para 2,01 milhões de toneladas em 2019/2020, configurando uma taxa de crescimento de 4,68% ao ano; (ii) o consumo projetado segue a uma taxa anual de 1,56%, desse modo, o consumo projetado é de 1,19 milhões de toneladas de algodão; (iii) o volume de exportações será de 833,5mil toneladas em 2019/20; (iv) a estimativa de área plantada com algodão no final do período de projeção deverá ser de 1,27

milhão de hectares, 51,0% superior à área plantada em 2008/09 e com taxa anual de crescimento de 2,01%; (v) a produtividade crescendo a uma taxa anual de 2,61%.

2.1.2 Fitorreguladores

BELTRÃO e AZEVEDO (2008) apud REDDY et al. (1995), no capítulo “Reguladores de crescimento, desfolhantes e dessecantes”, define fitorreguladores como substâncias químicas sintéticas que agem no metabolismo da planta, inibindo a biossíntese do ácido giberélico, reduzindo o alongamento celular e promovendo a redução de crescimento de diversos órgãos da planta.

Na cotonicultura, fitorreguladores como o cloreto de mepiquat (PIX) atuam no metabolismo da planta inibindo a síntese dos hormônios de crescimento (auxinas, giberelinas, citocininas, etileno e ácido abissísico) (SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ALGODÃO EMBRAPA, 2010), controlando o crescimento da planta de algodão, evitando vegetação intensiva e menor produtividade por razões fisiológicas inerentes à planta (LAMAS, 2001). Segundo PÍPOLO (1993), OOSTERHUIS et al. (1998) e LAMAS et al. (1999) outros benefícios que se esperam com uso de fitorreguladores são: produção de flores mais cedo e frutificação mais precoce; melhor crescimento dos frutos; aumento da produtividade; balanceamento entre o crescimento vegetativo e reprodutivo; redução do número de nós da haste principal e do tamanho dos internódios; melhor qualidade da fibra; e facilitação da colheita mecanizada.

SHIRATSUCHI et al. (2005) descreve que a aplicação de fitorreguladores no algodoeiro é uma prática comum e rotineira dos agricultores na cultura de algodão, principalmente por produtores altamente tecnificados que utilizam variedades capazes de atingir altas produtividades (LAMAS, 1999). YORK (1983) relata que essa operação possibilita um aumento de produtividade expressivo em relação a não utilização destes produtos. Para ASHEY et al. (1965) o fitorregulador aplicado no algodoeiro induz a planta a direcionar e priorizar a disponibilidade de nutrientes para órgãos reprodutivos, que no caso do algodoeiro se traduz em maior produtividade, além de melhorar a eficiência na colheita mecanizada (CARVALHO et al., 1994).

Para LAMAS (2006) os resultados obtidos com a aplicação de fitorregulador dependem dos seguintes fatores:

- População de plantas – os efeitos são mais evidenciados em condições de altas populações;
- Cultivar – em cultivares de porte elevado e ciclo longo, são mais visíveis os efeitos dos fitorreguladores;
- Época de semeadura – em semeaduras tardias, verifica-se maior percentual de redução da altura de plantas e incremento de produção;
- Temperatura – maior eficiência obtida quando a temperatura diurna está por volta de 30°C e a noturna de 20°C;
- Forma de aplicação - o parcelamento da dose recomendada tem efeitos mais pronunciados sobre a altura das plantas;
- Época de aplicação – quando aplicado precocemente, pode interferir negativamente sobre a produção e qualidade do produto;
- Dose – com doses baixas os resultados podem não ser os esperados e doses altas podem afetar negativamente a produção e a qualidade do produto;
- Tempo entre a aplicação e a ocorrência de chuvas – para que o fitorregulador possa ser absorvido pelas plantas é necessário que o intervalo de tempo entre a aplicação e a ocorrência de chuvas seja superior a 8 horas;
- Herbicidas pós-emergentes – há diferenciada reação das cultivares à aplicação de herbicida, dessa forma, recomenda-se fazer a aplicação de fitorregulador apenas quando as plantas não estiverem sob o efeito de estresse provocado por herbicidas. O autor ressalta ainda, que este efeito é dependente da cultivar e do estágio de desenvolvimento das plantas, do herbicida e dose utilizada.

Destaca-se entre algumas recomendações desse autor, que para a obtenção de sucesso da aplicação de fitorregulador, é fundamental o monitoramento do crescimento das plantas.

Não foi encontrado dados oficiais na literatura relativos ao consumo de fitorreguladores no Brasil, entretanto é possível ter uma noção ao se multiplicar a área plantada anualmente, de aproximadamente 1 milhão de hectares, pelo consumo do regulador de crescimento com ingrediente ativo cloreto de mepiquate que é de 1 litro por hectare.

2.2 Agricultura de Precisão

Diante do aquecimento global, da degradação ambiental, da indisponibilidade de áreas agricultáveis em alguns países e do aumento da demanda mundial por alimentos, entidades governamentais, o setor privado e os agricultores devem unir esforços para aumentar a produtividade no setor agrícola sem grandes aumentos da produção respeitando o conceito de sustentabilidade. Um grande esforço nesse sentido são as pesquisas em Agricultura de Precisão – AP que têm sido possíveis graças ao advento da Tecnologia da Informação aplicada às práticas agrícolas, que permitem ao produtor um ambiente para entender e controlar com maior precisão a inerente variabilidade espacial encontrada na maioria das fazendas (BLACKMORE, 2003), visando à obtenção de maior produtividade, retorno econômico e respeito ambiental.

Para facilitar o entendimento do conceito, dos potenciais e barreiras da AP, pode-se traçar uma linha do tempo das pesquisas em três períodos: 1929 – 1980, 1980 – 1997 e 2000 – 2010 (Figura 5).

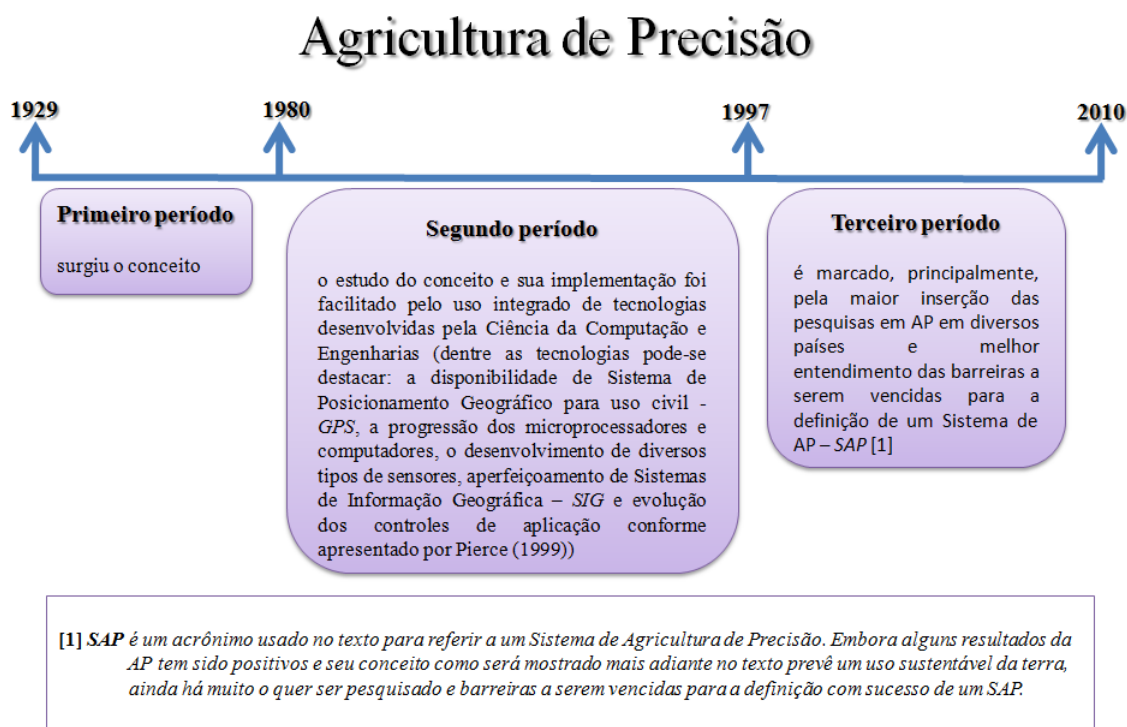


Figura 5 Linha do tempo das pesquisas em AP dividida em três períodos.

Em 1929, Linsley e Bauer citados por LAMBERT et al. (2000) publicaram uma circular técnica, na Estação Experimental de Agricultura da Universidade de Illinois, cujo objetivo era realizar testes sistemáticos de pH no solo e usar os resultados para confeccionar mapas de distribuição de pH representando zonas de manejo para aplicação de calcário.

Os autores verificaram que havia diferentes necessidades de aplicação de calcário dentro de um mesmo talhão e que pela carência de análise do solo muitos produtores estavam comprando quantias superestimadas de cal e perdendo investimento em sementes de “*clover*” ao plantá-las em solos com alta acidez, uma vez que este é um fator impeditivo para a germinação das sementes.

Os autores relatam que um agricultor que desconhece o pH no solo e planta em campos ácidos perde de 50 a 100 dólares para cada 16.2 hectares semeados. Nesse caso, equivocadamente, as baixas produtividades de “*clover*” geralmente eram atribuídas ao mau tempo.

Essa Circular é o primeiro registro na literatura sobre a importância de analisar a variabilidade de fatores relativa à produção de uma cultura, para um manejo mais racional com vistas a aumentar a produtividade e redução de custos de produção. Surge, então, o conceito de AP. Esse conceito caiu no esquecimento por vários anos e voltou a ser considerado por volta de 1980, quando um conjunto de tecnologias da Computação e Engenharias estavam sendo criadas ou melhoradas em um ritmo acelerado e alguns pesquisadores perceberam que algumas das tecnologias disponíveis poderiam ser usadas de forma integradas e aplicadas na agricultura permitindo os avanços em AP. Trata-se, portanto, de um segundo período de evolução da AP.

A expectativa de tirar proveito dos benefícios com uso de tecnologias era tanta, que o Conselho de Agricultura vinculado ao Conselho Nacional de Pesquisa dos Estados Unidos, organizou em dezembro de 1986 uma Conferência sobre Tecnologia e Política Agrícola com objetivo de provocar diversos grupos de especialistas para descrever características mais efetivas de políticas públicas a fim de promover o progresso tecnológico em benefício da agricultura. Para o Conselho, o progresso tecnológico estava associado às tecnologias com potencial de redução dos custos por unidades de produção e que contribuíssem de maneira segura para o desenvolvimento de sistemas de gestão para a agricultura sustentável. A partir

dessa Conferência foram escritos inúmeros artigos organizados no livro “Technology and agricultural policy” (BOARD ON AGRICULTURE NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1990) que tinha como objetivo descrever as características para uma política pública em agricultura mais efetiva.

No artigo intitulado “Inovação na Agricultura”, é relatado que desde o início de 1900, agricultores dos Estados Unidos basearam-se em máquinas cada vez maiores e em mais produtos químicos para aumentar suas colheitas e rendas, entretanto, a nova tendência estaria caminhando na direção da AP no sentido de aumentar a eficiência da produção. As principais observações e destaques apresentados pelo artigo foram que:

- Mais e mais agricultores adotariam novas tecnologias para reduzir os custos reais de produção;
- Haveria tecnologias para reduzir a necessidade de fertilizantes, que constituem um dos mais altos custos com insumo;
- Agricultores precisariam adotar ferramentas de Tecnologia da Informação – TI para melhorar a produtividade e obter mais economia;
- Sistemas de computadores se tornariam mais amigáveis e a TI seria difundida no escritório e, no campo de maneira que os agricultores pudessem integrar computadores em todas as operações (nesse sentido a agricultura passaria a ser altamente precisa na gestão do campo, marketing e gerenciamento financeiro);
- Seria fundamental insumos com ingrediente ativo que tenha mais respeito ao meio ambiente e que novos ingredientes ativos também deveriam ser introduzidas nos produtos químicos, com o objetivo de fazê-los agir diretamente no alvo, o que implicaria em menor quantidade de produtos químicos depositados no meio ambiente e proteção aos organismos não visados numa intervenção química.

No segundo período, tanto o setor público como o privado estavam atentos a essa nova tendência de AP, e por isso, fomentaram a criação, adaptação e a evolução de várias tecnologias, que permitissem o avanço nos estudos e implementação da AP (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1997). A Tabela 4 adaptada de PIERCE (1999) ilustra uma progressão histórica dessas tecnologias.

Tabela 4 Progressão histórica de tecnologias que têm permitido avanço nos estudos da AP.

Fonte: PIERCE (1999).

Data	Evento
1840	Surge a fotografia aérea; fotos tiradas de balões.
1960	Pela primeira vez, sensores de imagem são incorporados aos satélites; TV preto e branco de baixa resolução; Primeiro GIS comercial.
1961	Primeiro sensor de clorofila (Benedict e Swidler, 1961).
1968	Primeira fotografia multiespectral feita do espaço pela missão tripulada Apollo 9.
1970	Baumgardener et al. (1970) relacionaram matéria orgânica do solo com dados multiespectrais.
1971	Processador Intel 4040.
1972	Lançamento de satélite com tecnologia para observação de recursos naturais terrestres - Landsat, permitindo cobertura contínua da superfície da Terra.
1974	Sensor de matéria orgânica do solo.
1977	Comercializado computador da Apple.
1978	Lançamento do primeiro satélite GPS NAVSTAR.
1980	Primeiro IBM PC.
1982	Processador Intel 80286; Lançamento do Landsat4 - com Mapeador Temático acrescentado; Sensores hiperspectrais para uso em altas altitudes acoplados em avião.
1983	GPS disponível para uso civil.
1984	Lançamento do Landsat5; Processador Intel 286.
1985	Concessão de patente ao inventor Ortlip, Earl W. da Soil-TEQ, Inc - primeira patente de tecnologia de aplicação a taxa variada de fertilizantes; Monitoramento de fluxo de grãos (De Baerdwmecker et al., 1985).
1986	A França lança um conjunto de satélites para observação-terrestre chamado SPOT; primeira oferta de dados multiespectral para usuários no mundo em uma base comercial.
1987	É produzido o segundo sensor hyperespectral.
1988	A Índia lança satélite com tecnologia para observação de recursos naturais terrestres (IRS-1A) que obtém dados no visível e próximo do IR com sensor de varredura automática linear de imagens; Processador Intel 40486; Radarsat Canadense, ERS-1, e ERS-2 gerenciado pela Agência Espacial Européia, um conjunto de sensores remotos usando sistemas de radar.
1990	O Japão lança o JERS01 e JERS-2 que incluem ambos sensores de radar e ópticos com Disponibilidade Seletiva (SA) no sinal GPS.
1991	Primeiro Simpósio sobre a produção agrícola site-specific (ASAE, 1991).
1992	Monitores de produtividade comercial surgem nos Estados Unidos; Primeira Conferência Internacional sobre manejo do solo de culturas específicas (Robert et al., 1993).
1993	Processador Pentium.
1994	Sistema NAVSTAR completo com 24 GPS satélites.
1996	NASA lança o sistema para estudo da ciência terrestre Pathfinder.
1997	Processador Pentium II; A Índia lança o último da série IRS-ID, em 29 de setembro de 1997; Primeira Conferência Européia de Agricultura de Precisão; Relatório do Conselho Nacional de Pesquisa dos EUA sobre a Agricultura de Precisão (NRC, 1997).

Inicialmente, destaca-se a disponibilidade do sinal de GPS para uso civil em 1983 e a primeira tecnologia patenteada para aplicação à taxa variada³ de fertilizantes pela SOIL-TEQ, INC (empresa filial da Corporação the Ag Chem) em 1985 (SOIL TEQ INC, 1986).

O GPS também podia ser usado para guiar a navegação, permitindo ao agricultor revisitar o ponto no campo e verificar a eficácia de decisões gerenciais. Ele é um componente essencial para muitas práticas em AP baseadas em mapeamento, como por exemplo, na criação de mapas de aplicação de produtos. Mesmo em operações em tempo real, os dados dos sensores, o controle de insumos e, a associação de coordenadas geográficas fornecidas pelo GPS torna-se muito valiosa, pois esses dados poderiam ser incluídos em um banco de dados gerencial. Na visão do relatório NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1997) a adoção do GPS e outras tecnologias de georeferenciamento teriam alto impacto na coleta de dados e análise, e aplicações comerciais com essas tecnologias cresceriam drasticamente na próxima década, tanto na agricultura como em outras áreas.

A tecnologia patenteada para aplicação à taxa variada é uma demonstração concreta do uso integrado de tecnologias para gerir e controlar, de forma mais precisa, a aplicação de fertilizantes considerando a variabilidade espacial do solo. Para PIERRE (1999) o projeto para a construção dessa tecnologia, foi possível graças ao melhor conhecimento do solo e das condições de variabilidade de cultivo dentro do campo a partir de melhores métodos de investigação incluindo levantamento do solo, amostragem do solo, fotografia aérea e a possibilidade de caminhar pelo campo e associar observações à coordenadas geográficas, entre o final da década de 70 e início da década de 80; e a comercialização do primeiro microcomputador. O mesmo autor ressalta que o primeiro uso comercial de uma tecnologia desse tipo, foi em 1995 pela CENEX em Renville, MN e Quincy, Washington State.

Além do GPS e da possibilidade de equipamentos capazes de aplicar insumos a taxas variáveis, outra tecnologia bastante difundida e que evoluiu nesse período foram os Sistemas de Informação Geográfica – SIG⁴ (RHIND, 1997).

SIG é descrito por uma coleção organizada de computadores, softwares, dados geográficos, e pessoas qualificadas para eficientemente capturar, armazenar, atualizar,

³ “Variable Rate Technology - VRT”

⁴ “Geographic Information Systems - GIS”

manipular, analisar, e exibir a informação geograficamente referenciada em diferentes formas (RHIND, 1997).

No relatório NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1997) SIG em uma definição menos formal, é visto como um conjunto de pacotes de softwares para armazenar, analisar e integrar dados geográficos em formato digital. O Conselho destaca que os SIGs estariam disponíveis com um grande leque de capacidades e custos, mas que todos são capazes de mostrar graficamente dados georeferenciados.

Para PIERCE et al. (1999) a habilidade dos SIGs em executar operações espaciais sobre os dados, os distingue verdadeiramente de muitos softwares que fazem mapeamento temático e gerenciamento de banco de dados. Os autores, explicam que por causa da AP estar preocupada com a variabilidade espacial e temporal e porque essa informação deve estar baseada e focada na tomada de decisão, os SIGs são ferramentas que dão suporte às práticas na AP.

A Figura 6 adaptada de GEBBERS e ADAMCHUK (2010), ilustra várias informações sobre variabilidade espacial de diferentes observações em uma mesma área que podem ser mantidas em um SIG.

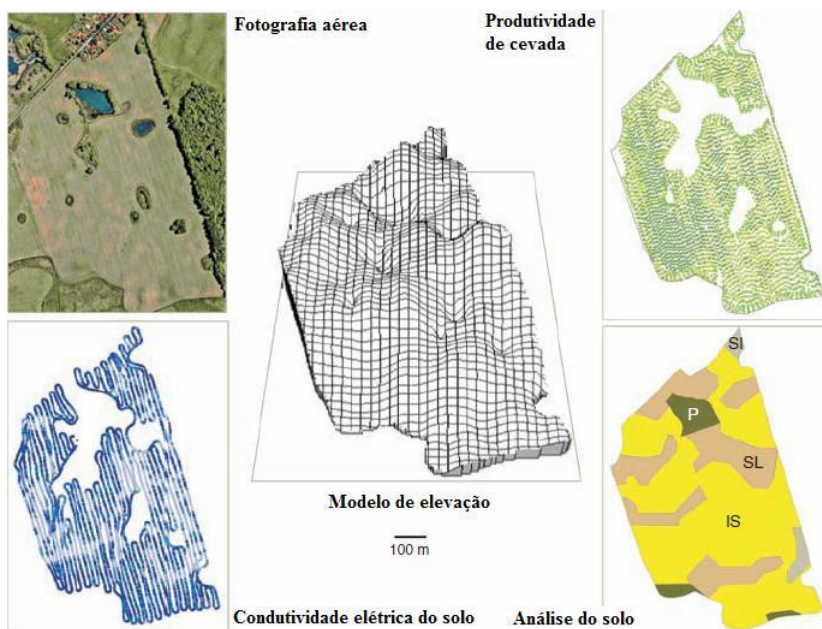


Figura 6 Exemplo de informações georeferenciadas mantidas em um SIG para uma mesma área na lavoura. Fonte: GEBBERS e ADAMCHUK (2010).

Ainda conforme a Tabela 4 destaca-se no ano de 1997 o acontecimento da primeira Conferência Européia em AP e o relatório do Conselho Nacional de Pesquisa dos Estados Unidos sobre AP (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1997). Eventos esses que representam a importância e notoriedade para as pesquisas em AP realizadas no segundo período. Esse relatório define AP como uma estratégia de gestão que usa Tecnologia da Informação para obter dados de várias fontes como suporte à tomada de decisões associadas a produção de culturas. O relatório descreve que a AP tem 3 componentes:

- 1) Coleta de dados numa escala e frequência apropriada;
- 2) Interpretação e análise dos dados;
- 3) Implementação de estratégia de gestão na escala e tempo adequado.

O relatório afirma ainda que a AP é melhor considerada como um pacote de tecnologias ao invés de apenas uma única tecnologia. Componentes desse pacote de tecnologias observadas incluem receptores GPS; banco de dados modelados em SIGs; equipamento de aplicação a taxa variada para sementes, fertilizantes, e agrotóxicos; amostragem de solo por grades; baixo volume de irrigação; monitores de produtividade; sensores para fertilidade e população de plantas daninhas; sensoriamento remoto por imagens. Agricultores, os quais as operações têm inúmeras características – diferentes culturas, climas, complexidades de pragas, arranjos de mercado – sem dúvida usaram diferentes componentes desse pacote. Dentre as tecnologias, equipamentos de aplicação a taxa variada são provavelmente os mais usados, pois cerca de 1.600 sistemas foram vendidos no período. Os computadores são destacados como componente central da intensiva informação na agricultura. Há monitores comerciais de produtividade disponíveis para milho, soja e trigo e aproximadamente 2.000 deles foram usados na safra de 1995 e na safra de 1996 esse número aumentou para aproximadamente 9.000.

Sobre o potencial da AP, a comissão do NATIONAL RESEARCH COUNCIL, (1997) acredita que essa oferece novas tecnologias da informação para atender às necessidades da gestão de culturas agrícolas e que esses novos recursos oferecem a possibilidade de uma forma mais econômica e ambientalmente mais eficiente para o setor agrícola, entretanto, enfatiza que a AP é nova e em grande parte desconhecida, e nesse sentido é preciso conhecer

sistematicamente quais os impactos na produção, no meio ambiente e na sociedade. A adoção generalizada depende de ganhos econômicos superando os custos da tecnologia. Explorar o potencial da AP para a gestão ambiental requer mudanças fundamentais na estrutura de incentivos públicos e privados para a gestão ambiental, e pode exigir de partilha de custos ou outros incentivos para a adoção.

Lições da adoção de outras tecnologias de informação agrícola incitam o cuidado em antecipar o crescimento do uso da AP – A adoção generalizada depende de ganhos econômicos superando os custos da tecnologia. Explorar o potencial da AP para a gestão ambiental requer mudanças fundamentais na estrutura de incentivos públicos e privados e pode exigir partilha de custos ou outros incentivos para a adoção dessas.

No sentido de mostrar que a AP ainda estava no começo outros autores se posicionam na intenção de levar os leitores a uma reflexão sobre o que ainda é preciso para formar um conceito de agricultura de precisão sistematizado. Entre esses, é possível destacar PIERRE (1999) e STAFFORD (2000).

Para PIERRE (1999) AP é um sistema holístico e ainda está na infância, pois apenas algumas partes do sistema como um todo estão disponíveis e por isso a adoção de práticas em AP está em estágio inicial de adoção. O autor destaca as seguintes necessidades de pesquisa:

- 1) Desenvolvimento de sensores em tempo real para caracterização de solo e plantas;
- 2) Técnicas de sensoriamento remoto para detecção de condições da cultura e do solo, e gerenciamento;
- 3) Quantificação dos impactos ambientais na AP;
- 4) Desenvolvimento de protocolos para procedimentos de amostragem;
- 5) Economia de práticas da AP;
- 6) Quantificação da variabilidade de recursos naturais no espaço e no tempo;
- 7) Métodos para análise de dados e interpretação;
- 8) Entendimento das relações entre produtividade, condições naturais e variáveis de entrada;
- 9) Desenvolvimento de modelos de cultura práticos para o gerenciamento da AP;
- 10) Desenvolvimento e aperfeiçoamento de métodos para análise espacial de dados;
- 11) Desenvolvimento de sensores de produtividade;

- 12) Metodologias para desenvolvimento do solo e prescrição para as culturas;
- 13) Desenvolvimento de programas educacionais.

Para STAFFORD (2000) AP é um conceito de gerenciamento de cultura, e é vista como o caminho correto frente à produção de culturas no século 21. Dessa forma, os insumos são otimizados pela redução de custos e pelo impacto ambiental, e ainda provê a possibilidade de auditoria cada vez mais exigida pelos consumidores e pela legislação. Entretanto, o autor aponta 3 barreiras a serem superadas pelas pesquisas em AP, antes de sua ampla adoção:

- 1) A padronização de formatos de dados e protocolos de transferência devido a grande quantidade de dados gerados pela AP (mapeamento de muitos diferentes tipos de solo, culturas e fatores ambientais entre outros);
- 2) A falta de metodologias e estratégias racionais para determinar os requisitos de aplicação localizada e a falta de validação científica para os benefícios da AP;
- 3) Necessidade de desenvolvimento de sensores a baixo custo.

Levando em consideração o posicionamento apresentado no relatório do NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1997) e das demandas de pesquisa elencadas por PIERRE (1999) e das barreiras para adoção da AP por STAFFORD (2000) percebe-se que além do uso integrado de tecnologias de informação, outros desafios, principalmente os de origem agronômica, ambiental e social precisam ser levados em consideração para a definição de um sistema em AP. Nesse sentido surge o terceiro período da AP, onde se busca a criação de um Sistema de Agricultura de Precisão – SAP. BLACKMORE (2003) apresenta no diagrama de blocos (Figura 7) uma proposta de interação de elementos que devem fazer parte do SAP:

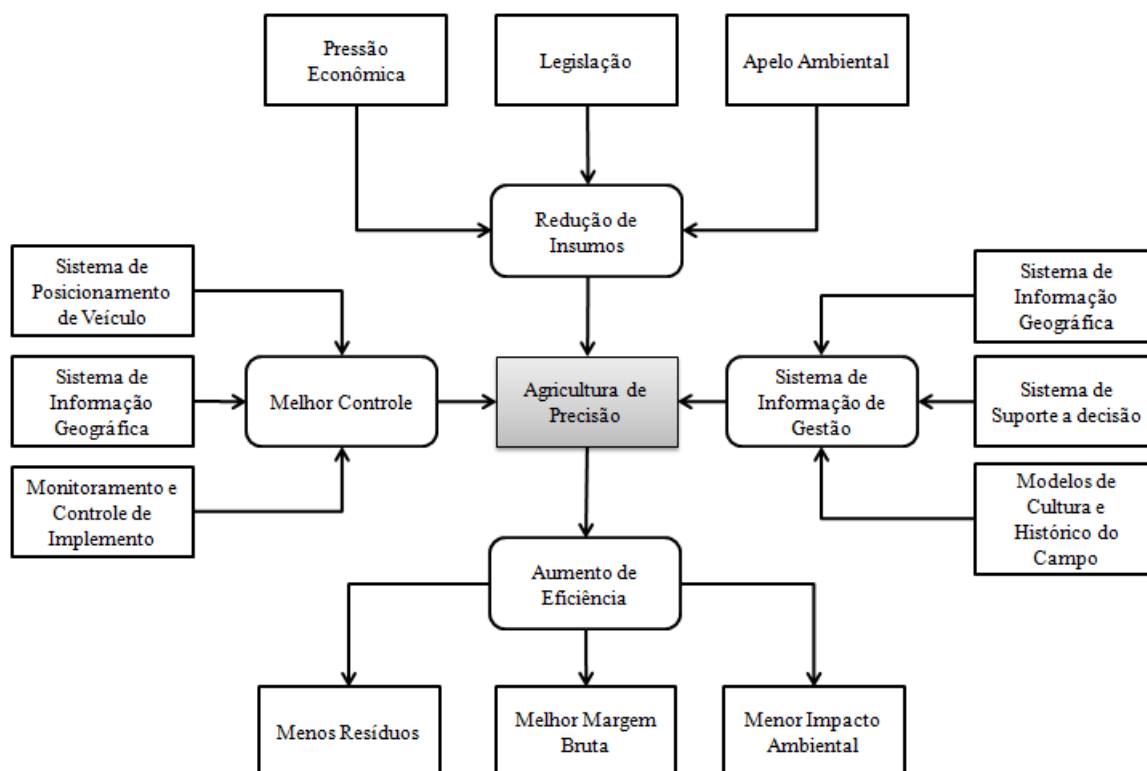


Figura 7 Elementos do Sistema de AP. Traduzida e adaptada de BLACKMORE (2003).

BLACKMORE (2003) explica que técnicas da AP deverão ser indissociáveis do conceito de gestão sustentável e que isso implica em algo mais do que apenas a manutenção da produtividade das culturas.

No terceiro período, nota-se o início das pesquisas em AP no Brasil por meio de universidades públicas, e pela Embrapa. Um projeto corrente, em destaque, é a rede de AP aprovada pela Embrapa em 2009 cujos objetivos gerais estão listados a seguir (REDE AP2, 2010):

- 1) Gerar tecnologias para otimizar a aplicação racional de insumos, para reduzir riscos e degradação ambiental e maximizar o retorno econômico;
- 2) Estudar os efeitos das variações espaço/tempo nos sistemas produtivos;
- 3) Desenvolver mecanismos e métodos para dar suporte às tomadas de decisão em sistemas produtivos;

- 4) Avaliar eficiência econômica, identificar e quantificar os benefícios ambientais resultantes do uso da AP;
- 5) Transferir tecnologias e analisar a adoção da AP no Brasil.

Além dos objetivos tecnológicos 1) e 3), observa-se no objetivo 2) uma preocupação com a agronomia e nos objetivos 4) e 5) com a quantificação dos benefícios da AP, a transferência das tecnologias e a análise da adoção dessa no Brasil. Dessa forma, a rede está em sintonia com objetivo principal do terceiro período, que são pesquisas em direção do desenvolvimento de um SAP.

Ressalta-se ainda a ocorrência de dois grandes eventos científicos para discussão em AP no Brasil, são eles: o “Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão - SIAP” e o “Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP”, que aconteciam de forma intercalada.

Num panorama mundial, a busca por um SAP tem ganhado grande notoriedade em países como a Alemanha, Argentina, Austrália e Inglaterra (Rede AP2, 2010). A lista de países tem sido crescente e pode se citar ainda: China, Índia, Japão e alguns países da Europa (GEBBERS e ADAMCHUK, 2010).

2.2.1 Agricultura de Precisão na Cultura do Algodoeiro

Pesquisas sobre tecnologias e métodos em AP, focados para o algodão tem sido financiadas pela Corporação de Pesquisa e Desenvolvimento de Algodão da Austrália⁵ e conduzidas desde 1997 pela Universidade de Sidney. STEWART et al. (2005) descrevem que oito anos após o início das pesquisas, os resultados confirmam que há muitos benefícios que podem ser obtidos com a adoção da AP. Os autores descrevem que o foco inicial era avaliar a acurácia e a confiabilidade de tecnologias associadas a AP para estimar a produtividade de algodão. Primeiramente foram avaliados os monitores de produtividade e, convencidos que essa tecnologia fornece dados com boa acurácia, ela foi usada em conjunto com uso de técnicas tradicionais de amostragem e uma série de novas tecnologias de detecção para

⁵ Australian Cotton Research and Development Corporation

quantificar o grau de variabilidade espacial das variáveis de interesse agrônomo, dentro e entre os talhões de algodão. A pesquisa destaca que essa variação é de fato importante e que ela ocorre em pequena escala. Os estudos identificaram significativa variabilidade na produtividade e entre as propriedades do solo dentro de um único talhão, foi avaliado também aplicações a taxa variada de insumos relacionados à produção do algodão como método para a gestão da variabilidade, com particular foco na gestão do nitrogênio. De forma geral a experiência dos pesquisadores a partir dos resultados obtidos, mostram que a AP tem muito para contribuir com sistemas de produção de algodão na Austrália.

Para ROBERTS et al. (2002) os cotonicultores não tem informações suficientes disponíveis, que os permitam decidir sobre a adoção de tecnologias em AP. Os autores enviaram questionários para os cotonicultores de seis estados no sul dos Estados Unidos com objetivo de: determinar tendência de adoção e o uso de tecnologias da AP; examinar a disponibilidade dos produtores em pagar por um sistema de monitoramento de produtividade do algodão. No geral, os resultados observados foram:

- 23% dos produtores tinham usado pelo menos uma tecnologia em AP, sendo mais comum o uso de tecnologias para amostragem de solos em grade para definição de zonas de manejo, para aplicação a taxa variada de calcário, mapas de solo, e aplicação a taxa variada de fósforo e potássio.
- 85 % dos que adotam a AP e 63% dos que não adotam, acreditam que a AP será lucrativa para eles no futuro. 86% dos que adotam a AP e 74% dos que não adotam possuem computadores, enquanto 74% e 55% usam-os para gerenciar a propriedade agrícola, respectivamente.
- A disponibilidade do cotonicultor pagar por um sistema de monitoramento de produtividade de algodão é inversamente proporcional ao seu preço.

Em direção às pesquisas relacionadas à aplicação de fitorreguladores à taxa variável, destacam-se as pesquisas para determinar a altura das plantas de algodão como alternativa ao manejo médio, que, vêm ocorrendo desde meados da década de 90. Em 1997 SEARCY e BECK (2000) iniciaram o desenvolvimento de dois protótipos para este fim, um mecânico e outro ótico. O protótipo com sensor mecânico consistia de dedos mecânicos dispostos

horizontalmente, que ao entrarem em contato com a planta, deslocavam-se para traz e o padrão final dos dedos, normal e deslocado, permitia estimar a altura da planta. O protótipo com sensor ótico consistia em 40 pares de emissores e receptores de luz montado em duas colunas verticais (Figura 8) formando uma cortina de feixes de luz onde o feixe interrompido era interpretado como “um” e não interrompido como “zero”, sendo a altura da planta estimada pelo padrão da matriz de “zeros” e “uns” obtidos quando a planta interrompia a cortina de luz. Os autores avaliaram esses sensores em 1998 e concluiu que o protótipo mecânico era aceitável, entretanto tinha menor acurácia do que o protótipo com sensor ótico. Proposta alternativa apresentada por pesquisadores do Instituto de Agricultura da Califórnia (BETHEL; YAMAZAKI; e PAGGI, 2003) consistia em determinar o crescimento e vigor das plantas por meio de análise do parâmetro NDVI sobre imagens obtidas por técnicas de sensoriamento remoto. Maior e menor dosagem de fitorregulador seria atribuída para regiões que tivessem alto ou baixo valor de NDVI respectivamente. Os pesquisadores referem se a necessidade de uma série de informações complementares para esse tipo de abordagem, como análise do solo, coleta de alturas de plantas no campo entre outras para a calibração do modelo e auxílio as definições de dosagens.

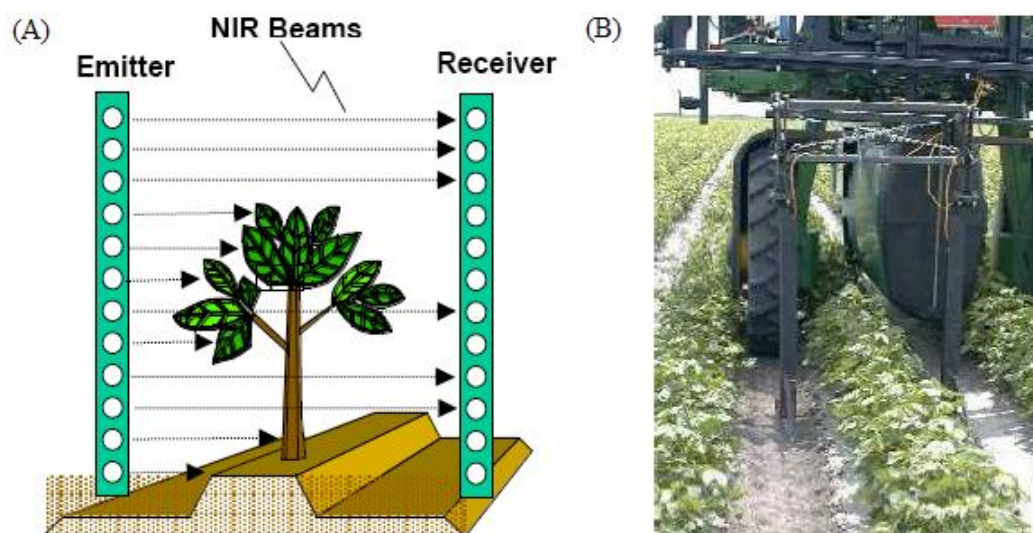


Figura 8 Protótipo com sensor ótico para estimar alturas de plantas de algodão. – (A) ilustração da cortina de luz, (B) ilustração da montagem do protótipo num pulverizador. Fonte: SEARCY e BECK (2000).

STABILE (2005) em sua dissertação de mestrado, dentre os vários estudos realizados para manejo localizado do algodão, usou o protótipo proposto por SEARCY e BECK (2000) mais um controlador de pulverização comercial a taxa variável Raven SCS 750 – Raven – para aplicação de fitorregulador no algodão. Ele menciona que uma alternativa para variar a taxa de aplicação de acordo com a altura é usando um sistema para mapeamento de altura para calcular a taxa de crescimento da planta de algodão. Através do uso do histórico de alturas, o sistema poderá determinar a recente taxa de crescimento e, usando a informação prévia de aplicação de cloreto de mepiquate em cada ponto do talhão, o sistema determinará a apropriada taxa de aplicação para alcançar a concentração desejada de cloreto de mepiquate. O pulverizador, configurado com o protótipo mais o controlador Raven, deslocou se no campo a duas velocidades: $1,34\text{ m.s}^{-1}$ e $2,68\text{ m.s}^{-1}$. A Figura 9 ilustra erros de aplicação, entre a taxa de PIX desejada e aplicada efetivamente pelo controlador, problema esse, típico de não consideração do tempo de resposta do sistema. Ele relatou que: embora o algoritmo para estimar as alturas funcionasse apropriadamente, é necessário modificações em software e hardware para considerar a resposta dinâmica do sistema; e que o controlador Raven não trabalhou adequadamente com mudanças rápidas de taxa de aplicação.

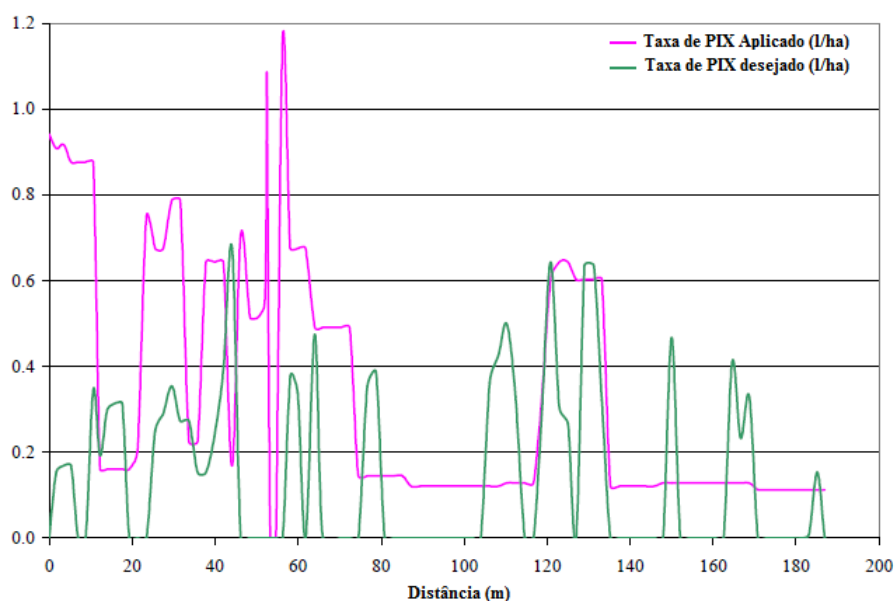


Figura 9 Taxa de cloreto de mepiquat - PIX – desejada (linha na cor verde) e aplicada (linha na cor rosa), STABILE (2005).

No Brasil, algumas iniciativas de AP em algodão têm sido feitas, como, por exemplo, o desenvolvimento de um sistema proposto por (QUEIROS; SHIRATSUCHI; e VINHAL, 2005) para automatizar o mapeamento de alturas de plantas de algodão com vistas a auxiliar na formulação de dose variada de reguladores de crescimento. Os autores desenvolveram um protótipo baseado em conjunto de sensores ultrassônicos montados em uma barra, acoplada na parte frontal do pulverizador de maneira a não entrar em contato com as plantas sobre as fileiras de produção (Figura 10). Cada sensor estima a altura das plantas de uma fileira de produção considerando o tempo gasto entre a emissão e retorno da onda sonora emitida na parte superior da planta. SHIRATSUCHI et al. (2005) justificam o desenvolvimento desse sistema com o mapeamento de uma área comercial de 50 ha de produção de algodão no município de Correntina-Bahia, onde constataram alta variabilidade na altura do algodão conforme pode ser observado na Figura 11.

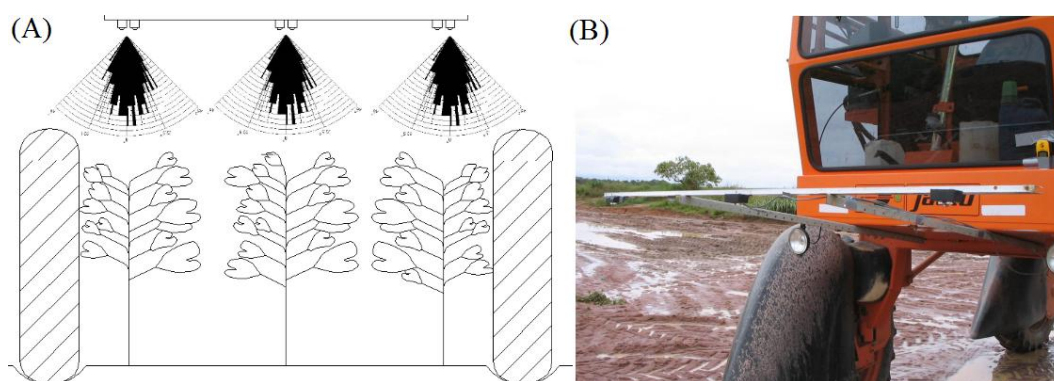


Figura 10 Protótipo para estimar a altura de plantas de algodão com sensores ultra-sônicos – (A) ilustração da emissão e recepção da onda sonora, (B) ilustração do arranjo de sensores montados na barra acoplada na parte frontal do pulverizador. Fonte: (QUEIROS; SHIRATSUCHI; e VINHAL, 2005).

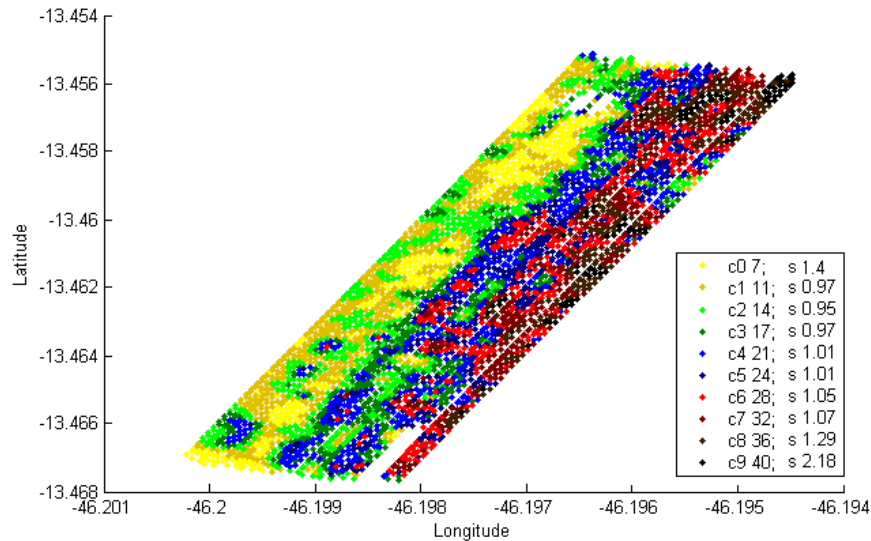


Figura 11 Variabilidade espacial de altura do algodão constatada numa área comercial de 50 ha no município de Correntina-Bahia. Cada cor corresponde a regiões de alturas diferentes sendo c0 até c9 as regiões de alturas em cm e s o desvio padrão de altura em cada região. Fonte: (QUEIROS; SHIRATSUCHI; e VINHAL, 2005).

Segundo os autores, a justificativa de desenvolvimento do protótipo é corroborada por THURMAN e HEINIEER (1998) e THURMAN e HEINIEER (1999) onde foi conduzido experimentos em duas diferentes resoluções de amostragem (a cada 0,1 e 0,3 ha) de alturas de algodão em fazendas na Carolina do Norte, os autores concluíram que a variabilidade de altura das plantas de algodão é grande o suficiente para justificar a aplicação à taxa variada de regulador de crescimento e relatam ganho de produtividade de 51-74 kg.ha⁻¹ em relação a áreas com aplicação tradicional uniforme, devido a variabilidade de altura inerente do algodão. (QUEIROS; SHIRATSUCHI; e VINHAL, 2005) concluem que o sistema protótipo é viável para mapeamento automático das alturas, entretanto ressaltam a importância de mais pesquisas para o contínuo aprimoramento e adequação às realidades de produção do cotonicultor brasileiro.

BELTRÃO e AZEVEDO (2008) no capítulo “Agricultura de precisão para gerenciamento do algodão”, destaca a importância da área de Sensoriamento Remoto como suporte a AP. Os autores apresentam uma vasta revisão bibliográfica sobre essa área com

ênfoque em índices espectrais que podem ser úteis para obter informações sobre as plantas de algodão. São discutidos principalmente: a resposta espectral do algodoeiro e sua relação com a nutrição da planta; índices de vegetação e determinação de parâmetros biofísicos e bioquímicos; índices baseados na diferença normalizada; índices de vegetação baseado nos efeitos do solo; novos índices de vegetação baseados em três faixas espectrais; relação entre o NVDI e a biomassa para o algodoeiro. Como exemplo de resultado, na discussão sobre a relação do NVDI e biomassa para o algodoeiro, os autores apresentam um estudo em duas áreas agrícolas para a estimativa de biomassa e concluíram que o NDVI de faixa larga mostrou-se suficientemente adequado para a determinação do LAI (Leaf Area Index) e da biomassa, apresentando relações lineares.

A escassa literatura sobre a AP para o algodão no Brasil demonstra que há uma carência de pesquisas e aplicações. Essa carência é um risco para o estabelecimento de estratégias de manejo, para a sustentabilidade da cotonicultura nacional, de maneira que, é urgente a maior atenção do setor público e privado para a intensificação de pesquisas e inovações em AP.

2.3 Sistemas de Controle

AZZO et al. (2003) descreve que o advento dos computadores e sistemas de controle automático no século XX, tem contribuído para uma explosão tecnológica com grandes avanços para a ciência, e tem sido catalisadores no progresso e desenvolvimento da sociedade no século XI. Os autores destacam que, tal advento tornou possível o desenvolvimento tecnológico: de trens-bala de alta velocidade; de veículos capazes de exploração de outros planetas; da estação espacial Alpha; de automóveis seguros, confortáveis e eficientes; de sofisticadas aeronaves civis e militares; da eficiência robótica nas linhas de montagem; e controles ecológicos eficientes de poluição para as indústrias.

OGATA (2003) relata que o controle automático tem desempenhado um papel fundamental no avanço da engenharia e da ciência, e que além da extrema importância em sistemas de veículos espaciais, sistemas de direcionamento de mísseis, sistemas robóticos e similares, o controle automático tem se tornado de grande importância e parte integrante de

modernos processos industriais e de produção. Dentre vários exemplos de aplicações controle citadas pelo autor pode-se destacar aplicações projetos de controle para sistema de piloto automático na indústria aero espacial; controle numérico de máquinas e ferramentas nas indústrias manufatureiras; controle de pressão, temperatura, umidade, viscosidade e de vazão nos processos industriais. O autor destaca ainda que pelo fato dos computadores estarem mais baratos e compactos, eles são integrados como parte integrante dos sistemas de controle e que recentes aplicações da teoria de controle tem incluído sistemas biológicos, de biomedicina, econômicos e socioeconômicos.

Os sistemas de controle podem ser em malha aberta ou em malha fechada (também conhecido por sistemas de controle com realimentação). Nos sistemas de controle em malha aberta, o sinal de saída não tem nenhum efeito sobre a entrada, conforme pode ser observado na Figura 12. Dessa maneira, a precisão do sistema depende de uma calibração e só poderá ser usado se a relação entre a entrada e a saída for conhecida e se não houver nenhum distúrbio interno ou externo, como por exemplo, atritos, histereses e desgastes mecânicos de um componente da planta do sistema. Por outro lado os sistemas de controle em malha fechada comparam o valor desejado na entrada (também conhecido por valor de referência ou “*setpoint*” em inglês) com o valor medido na saída, e se houver um erro entre esses valores, manipula a saída de forma a eliminar o erro ou reduzi-lo a um valor pequeno, conforme pode ser observado na Figura 13 (OGATA, 2003) (CAMPOS e TEIXEIRA, 2006).

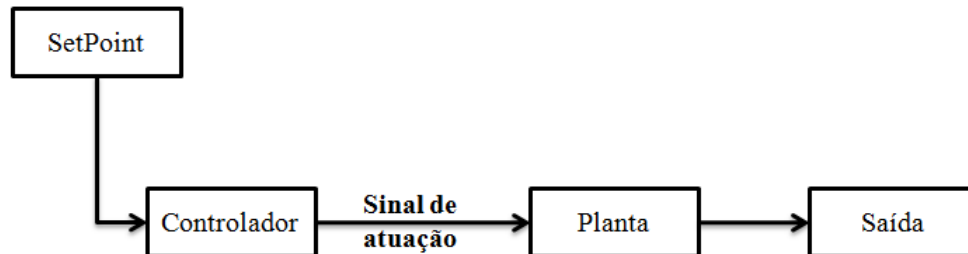


Figura 12 Sistema de controle em malha aberta.

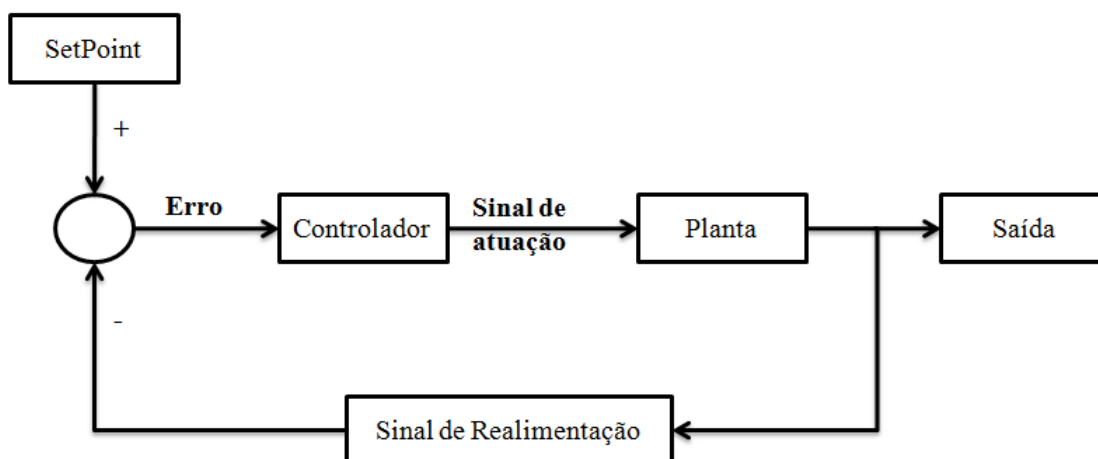


Figura 13 Sistema de controle em malha fechada ou com realimentação.

CAMPOS e TEIXEIRA (2006) relatam que controles em malha aberta são simples e baratos, mas não compensam as possíveis variações internas da planta, nem as perturbações externas inerentes a um processo industrial. Quanto a controles em malha fechada, os autores afirmam que eles mantêm a variável do processo no seu valor desejado, compensando as perturbações externas e as possíveis não linearidades do sistema, entretanto, relatam que o preço a se “pagar” com esse tipo de controle é uma tendência de o sistema oscilar, podendo até mesmo instabilizar o processo, pois ao tentar corrigir os erros da variável de processo em relação ao valor desejado, o controlador pode causar oscilações de amplitudes crescentes na abertura de uma válvula por exemplo, instabilizando a planta. Para resolver a possível instabilidade, os autores afirmam que é preciso tirar o controlador do modo “automático” e reajustar seus parâmetros de sintonia.

A palavra “control system” como argumento de consulta em todas as edições do jornal “Precision Agriculture” (11 volumes de 1999 até 2010) tem como resultado 26 publicações, mostrando que a presença de sistemas de controle também estão sendo aplicados em Máquinas e Implementos Agrícolas.

Em sintonia com os objetivos desse trabalho, e para maior detalhamento e entendimento de questões relacionadas a um projeto de controle em malha fechada, essa seção está dividida nos seguintes itens: Especificação de desempenho; Controlador Proporcional,

Integral e Derivativo – PID; e Sintonia a partir da Metodologia Ziegler e Nichols; Modelagem experimental do processo com modelo de primeira ordem mais o tempo morto.

2.3.1 Especificação de desempenho

A dinâmica da resposta de um sistema de controle em malha fechada é composta por duas partes: a resposta transitória e a resposta estacionária. Segundo OGATA (2003) frequentemente as características de desempenho de um sistema de controle são especificadas em termos da resposta transitória a uma entrada em degrau unitário, já que se trata de uma entrada suficientemente brusca e gerada com facilidade. Segundo o autor as características mais comuns de especificar são (Figura 14):

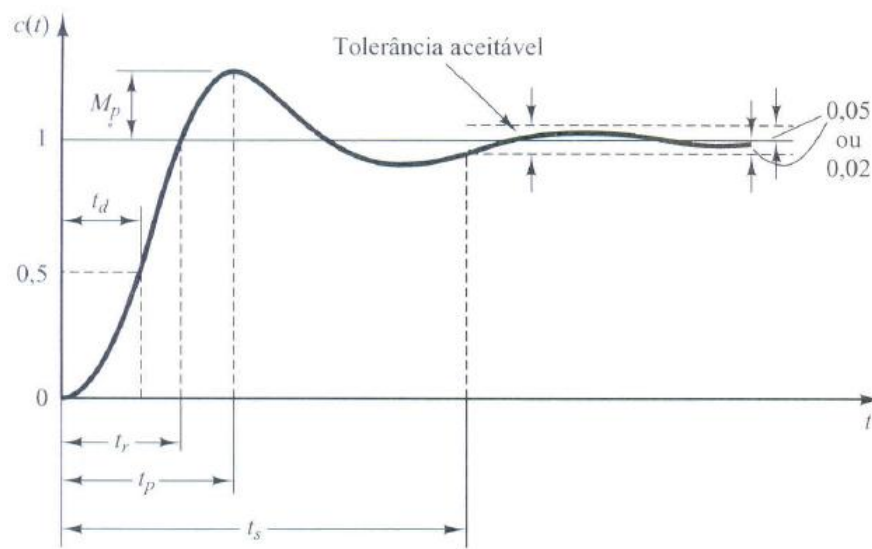


Figura 14 Curva de resposta a uma entrada em degrau unitário que mostra algumas características para especificar as repostas transitórias de um sistema de controle. Figura retirada de OGATA (2003).

- Tempo de atraso, t_d - é o tempo requerido para que a resposta alcance metade do seu valor final pela primeira vez;
- Tempo de subida, t_r - é o tempo requerido para que a resposta passe de 10% a 90%, ou de 5% a 95%, ou de 0% a 100% do valor final. Para sistemas de segunda ordem,

subamortecidos, o tempo de subida de 0% a 100% é o normalmente usado, por outro lado, para sistemas superamortecidos, o tempo de subida de 10% a 90% é o normalmente usado;

- Tempo de pico, t_p - é o tempo para que a resposta atinja o primeiro pico de sobre-sinal;
- Máximo sobre-sinal, M_p - é o valor máximo de pico da curva de resposta, medido a partir da unidade. Se o valor final da resposta em regime permanente diferir da unidade, então é comum usar porcentagem máxima de sobre-sinal, definida por

$$M_p(\%) = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} * 100\%, \text{ sendo o valor máximo (em porcentagem) do sobre-}$$

sinal um indicador da estabilidade relativa do sistema;

- Tempo de acomodação, t_s - é o tempo necessário para que a curva de resposta alcance valores em uma faixa (usualmente de 2% ou 5%) em torno do valor final, aí permanecendo indefinidamente.

OGATA (2003) ressalta que todas as especificações descritas acima não se aplicam necessariamente a todos os sistemas de controle, como por exemplo, para sistemas superamortecidos, os termos tempo de pico e máximo sobre-sinal não se aplicam.

2.3.2 Controlador Proporcional, Integral e Derivativo - PID

CAMPOS e TEIXEIRA (2006) apud ASTROM e HAGGLUND (1995) relatam que o controlador PID é o algoritmo de controle mais tradicional na indústria e apontam que numa pesquisa realizada em mais de 11.000 malhas de controle para diversas plantas cerca de 97% eram controladas com PID. Os autores descrevem esta popularidade se deve principalmente à simplicidade no ajuste de seus parâmetros para se obter um bom desempenho, e do fato desse algoritmo estar disponível em quase todos os equipamentos de controle na indústria.

OGATA (2003) também destaca a popularidade desse algoritmo ao afirmar que mais da metade dos controladores das plantas industriais o adotam. O autor explica que a utilidade dos controladores PID está na sua aplicabilidade geral à maioria dos sistemas de controle, e em particular, quando o modelo matemático da planta não é conhecido, de forma que para os

casos em que os métodos analíticos não puderem ser usados, esses controladores se mostram os mais úteis.

O sinal de atuação ou saída do controlador PID, sobre a planta controlada, é calculado proporcionalmente ao erro, proporcionalmente à integral do erro e proporcionalmente à derivada do erro entre o valor desejado (“setpoint”) e o valor de realimentação medido na saída da malha fechada. CAMPOS e TEIXEIRA (2006) e OGATA (2003) descrevem que há variantes do algoritmo PID, dentre elas o PID: paralelo clássico, onde a ação ou termo Proporcional afeta tanto o termo Integral quanto o Derivativo; o PID paralelo alternativo, onde a ação ou termo Proporcional não afeta tanto o termo Integral quanto o Derivativo; o PID série ou iterativo, onde a ação ou termo Proporcional e Integral são calculados em paralelo e logo em seguida o resultado é colocado em série com o termo Derivativo; entre outros. Para exemplificação, logo a seguir será mostrado a equação do algoritmo de posição da variante PID paralelo clássico:

$$u(t) = K_p * e(t) + K_p * \frac{1}{T_i} * \int e(t)dt + K_p * T_D * \frac{de(t)}{dt} + u_0 \quad \text{eq. PID paralelo clássico}$$

Onde: $u(t)$ é o valor do sinal de atuação; $e(t)$ é o erro; K_p é o ganho proporcional; T_i é o tempo integral; e T_D é o tempo derivativo. Nota-se nessa variante a ação Proporcional (K_p) em todos os termos da equação.

Aplicando a transformada de Laplace à equação anterior, obtém-se a função de transferência (FT) do controlador PID paralelo clássico ($G_C(s)$):

$$G_C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_D s \right) \quad \text{eq. da FT do controle PID clássico}$$

Um diagrama de blocos desse controlador PID pode ser observado na Figura 15.

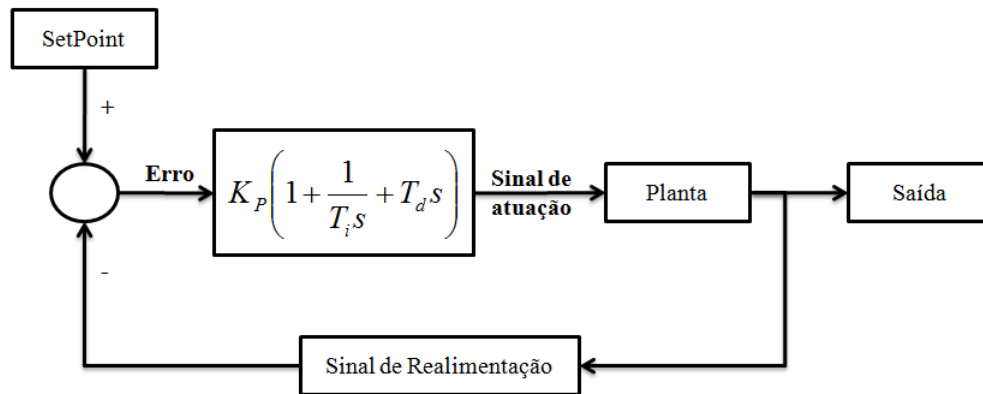


Figura 15 Função de Transferência do controle PID clássico.

A combinação entre as ações dos termos Proporcional, Integral e Derivativo compõem a dinâmica do controlador PID. Essas ações estão descritas logo a seguir

- **Ação Proporcional** – num controlador do tipo proporcional (FT anterior com $T_I \approx \infty$ e $T_D = 0$), o sinal de atuação é diretamente proporcional à magnitude do erro e responde imediatamente. Nesse caso o controlador é apenas um amplificador com um ganho constante, ou, seja quanto maior o erro, maior a ação de controle gerada (FACCIN, 2004). Conforme UMEZU (2003) suas principais características são: diminuir o tempo de subida, aumentar o sobresinal, diminuir o erro em regime e praticamente não afetar o tempo de estabilização;
- **Ação Integral** – num controlador do tipo integral, o sinal de atuação é diretamente proporcional à integral do erro atuante, ou, seja sua velocidade de correção é proporcional ao erro. Conforme UMEZU (2003) suas principais características são: diminuir o tempo de subida, aumentar o sobre-sinal, zerar o erro em regime e aumentar o tempo de estabilização. Para FACCIN (2004) o grande benefício de seu uso é a eliminação do erro em regime permanente, entretanto, essa ação reduz a estabilidade da malha de controle;
- **Ação Derivativa** – um controlador do tipo derivativo responde tentando “estimar” uma tendência de aumento ou diminuição do erro, em caráter

antecipatório, de forma a eliminar o potencial erro que está sendo previsto no futuro (CAMPOS e TEIXEIRA, 2006). Essa ação não pode ser usada separadamente. Conforme UMEZU (2003) suas principais características são: praticamente não afetar o tempo de subida, diminuir o sobresinal, praticamente não afetar o erro em regime, diminuir o tempo de estabilização.

A Tabela 5 retirada de UMEZU (2003) é outra maneira de verificar essas ações:

Tabela 5 Resumo das ações de um controlador PID, retirado de UMEZU (2003).

(↑: aumento, ↓: diminuição, ↔: não afeta e 0: zero)

Especificações de desempenho				
Ação	Tempo de subida	Sobresinal	Erro estacionário	Tempo de estabilização
P	↓	↑	↓	↔
I	↓	↑	0	↑
D	↔	↓	↔	↓

UMEZU (2003) relata que o controlador PID permite que os valores de ganho de cada uma das ações sejam ajustados individualmente, sendo permitido, até mesmo, que uma determinada ação seja removida do controlador, entretanto, ele alerta que o modo integral raramente é usado sozinho e que o modo derivativo jamais é usado sozinho.

O processo de seleção dos parâmetros do controlador que garantam uma dada especificação de desempenho é conhecido como sintonia do controlador. No próximo item dessa seção será descrito a metodologia proposta por Ziegler e Nichols.

2.3.3 Sintonia a partir da Metodologia Ziegler e Nichols

ZIEGLER e NICHOLS (1942) desenvolveram dois métodos para ajustar parâmetros de um controlador PID, sendo um método baseado na observação de um sistema em malha fechada que apresente oscilações sustentadas para um valor de ganho crítico, e o outro, baseado na observação da dinâmica da planta em malha aberta. Esses métodos estão descritos abaixo.

2.3.3.1 Primeiro Método (malha fechada)

Consiste em aumentar o ganho proporcional de um controlador P ($T_I \approx \infty$ e $T_D = 0$) até se observar uma resposta oscilatória com amplitude constante. Esse ganho é conhecido como grande crítico K_{CR} que leva a variável controlada da malha ao limite da estabilidade, com um período de P_{CR} (Figura 16). A partir da obtenção de K_{CR} e P_{CR} deve-se consultar a Tabela 6 para se obter a sintonia do controlador PID, usando como critério de desempenho a razão de declínio do sobre-sinal igual a $\frac{1}{4}$. Para ganhos superiores a K_{CR} o sistema é considerado instável.

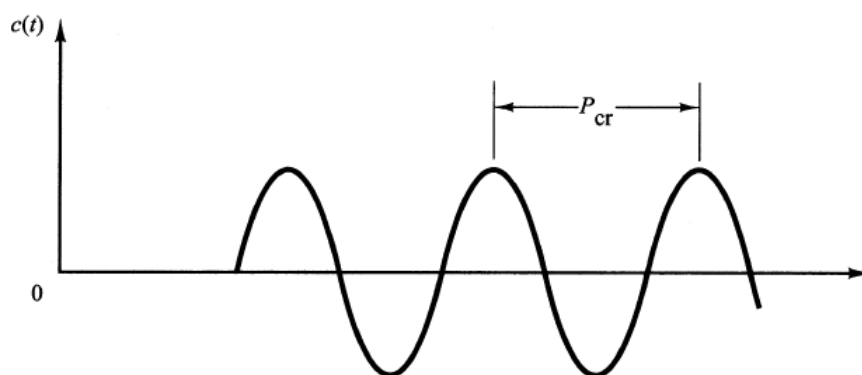


Figura 16 Resposta oscilatória com amplitude constante.

Tabela 6 Sintonia dos parâmetros do controlador PID segundo Ziegler e Nichols (malha fechada)

Controlador	K_p	T_I	T_D
P	$0.5 K_{CR}$	-	-
PI	$0.45 K_{CR}$	$\frac{P_{CR}}{1.2}$	-
PID	$0.6 K_{CR}$	$\frac{P_{CR}}{2}$	$\frac{P_{CR}}{8}$

2.3.3.2 Segundo Método (malha aberta)

Consiste em desativar o controle PID e a partir de um degrau em malha aberta calcular o tempo morto “L” e a constante de tempo T . O tempo morto “L” e a constante de tempo T são determinados desenhando-se uma linha tangente no ponto de inflexão da curva com o formato em “S” e determinando-se a interseção da linha tangente com o eixo dos tempos e a linha $c(t) = K$, como mostra a Figura 17. A partir da obtenção de “L” e “T”, deve-se consultar a Tabela 7 Sintonia dos parâmetros do controlador PID segundo Ziegler e Nichols (malha aberta) para se obter a sintonia do controlador PID, usando como critério de desempenho a razão de declínio do sobre-sinal igual a $\frac{1}{4}$.

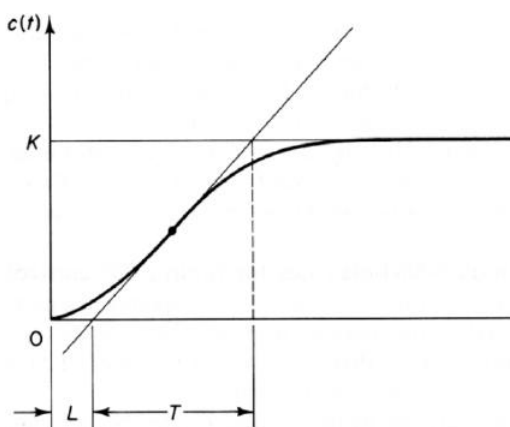


Figura 17 Estimativa de parâmetros de controlador PID a partir da identificação do tempo morto e constante de tempo da planta em malha aberta.

Tabela 7 Sintonia dos parâmetros do controlador PID segundo Ziegler e Nichols (malha aberta).

Controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{(L)}$	-	-
PI	$\frac{0.9 * T}{(L)}$	$3.33 * L$	-
PID	$\frac{1.2 * T}{(L)}$	$2 * L$	$0.5 * L$

Conforme explicado por OGATA (2003) a função de transferência $\frac{C(s)}{U(s)}$ para a dinâmica de uma planta pode ser aproximada por um sistema de primeira ordem com tempo morto, como se segue:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{K * e^{-Ls}}{Ts + 1}$$

CAMPOS e TEIXEIRA (2006) mostram que a taxa de variação de um processo modelado pela equação anterior pode ser obtida a partir da variação da variável controlada de um processo e da constante de tempo “T” e apresenta uma equação para obter o ganho crítico e o período de oscilação da seguinte forma:

$$K_{CR} = \frac{2 * T}{K * L} \text{ e } P_{CR} = 4 * L$$

Onde K é o ganho do processo em malha aberta

Na seção 2.3.4 será mostrado outro método empírico para a identificação dos parâmetros da dinâmica de um processo (K , T e L) modelado pelo modelo de primeira ordem mais um tempo morto descrito acima.

2.3.3.3 Considerações Gerais

Para OGATA (2003) as regras de sintonia propostas por Ziegler e Nichols fornecem estimativas dos valores dos parâmetros do controlador PID e proporcionam um ponto de partida na sintonia fina, e não os valores definitivos de K_p , T_I , e T_D logo na primeira tentativa.

CAMPOS e TEIXEIRA (2006) fazem algumas considerações gerais a respeito da sintonia de controladores PID a partir dos resultados de Ziegler e Nichols:

- O ganho proporcional do controlador (K_p) é inversamente proporcional ao ganho do processo;
- O ganho proporcional do controlador (K_p) também é inversamente proporcional à razão entre o tempo morto e a constante de tempo do processo ($\frac{L}{T}$). Quanto maior essa razão, mais difícil de controlar o processo e menor deve ser o ganho do controlador. Portanto, quanto maior for o tempo morto comparativamente à constante de tempo do processo, mais difícil de controlar esta planta;
- O tempo integral (T_I) do controlador está relacionado com a dinâmica do processo (L). Quanto mais lento o processo (maior o tempo morto) maior deve ser o tempo integral (T_I). Isto é, o controlador deve esperar mais, antes de “repetir” a ação proporcional;
- O tempo derivativo (T_D) do controlador também está relacionado com a dinâmica do processo (L). Quanto mais lento o processo (maior o tempo morto), maior deve ser o tempo derivativo (T_D). Ziegler e Nichols utilizaram sempre uma razão de $\frac{1}{4}$ entre $\frac{T_D}{T_I}$, logo $T_I = 4T_D$.

2.3.4 Modelagem experimental do processo por um modelo de primeira ordem mais o tempo morto.

O modelo de primeira ordem mais o tempo morto $G_p(s) = \frac{K * e^{-Ls}}{Ts + 1}$ é muito usado na prática para representar a dinâmica de um processo e servir de base para a sintonia de controladores PID (OGATA, 2003; CAMPOS e TEIXEIRA, 2006).

CAMPOS e TEIXEIRA (2006) descrevem uma metodologia para a obtenção dos parâmetros (K, T e L) que representam a dinâmica do processo, que consiste nos seguintes passos:

1. Introduzir variações na variável manipulada de forma a garantir o condicionamento do sistema (verificar bandas mortas, histereses entre outros), efetuando dois ciclos de degrau para cima e para baixo;
2. Introduzir um degrau na variável manipulada e obter a resposta do processo, conhecida como curva de reação da planta. A partir dessa curva obter o ganho do processo K, a constante de tempo “T” usando as seguintes equações respectivamente:

$$K = \frac{\Delta VC}{\Delta VM}; \quad T = 0.63 * \Delta VC;$$

Onde VC é a variável controlada e VM a variável manipulada.

Para obtenção do tempo morto “L” considere a variação de tempo a partir do instante inicial da perturbação na VM com o tempo em que a VC começa a responder.

3. Repetir pelo menos três vezes as etapas acima e considerar como modelo da dinâmica do processo a média dos valores obtidos em cada uma dessas identificações.

2.4 Bicos de Pulverização.

Recentemente foi lançado no mercado de bicos pulverizadores o bico VariTarget® (VT) fornecido pela SprayTarget®, especificamente para aplicações que demandam “Variable Rate Application”, VRA, que segundo os fabricantes apresentam uma série de vantagens quando comparados aos bicos convencionais. Segundo avaliações da ASABE (2005) estes bicos apresentam uma variação linear da vazão de 0,57 a 3,3 L min⁻¹ à medida que a pressão de aplicação varia de 15 a 50 psi apresentando uma significativa redução da quantidade de fertilizante aplicado melhorando o desempenho dos pulverizadores e consequentemente menor impacto ambiental. Ainda segundo a ASABE (2005) podem ser utilizados em aplicações a velocidades de 2 a 20 km h⁻¹ com taxas de 50 a 400 L ha⁻¹.

Para BUI (2005) o funcionamento dos bicos VT e suas características de desempenho com variações de pressão de 15 a 52 psi é possível obter uma variação de 57 a 300 L min⁻¹ e espectro de gotas entre 425 a 325 microns para pesticidas sistêmicos e 240 a 200 microns para pesticidas de contato. Os autores apontam ainda como uma das principais aplicações deste tipo de bico encontra-se na VRA, pois apresenta um tempo de resposta de apenas 0,25 s para alterações da taxa de aplicação. Ainda segundo o fabricante (VARITARGET, 2008) a relação entre a vazão e a pressão é bastante linear, sendo obtida por que a nova tecnologia desenvolvida e patenteada permite a variação do tamanho do orifício de saída do fluido ser flexível e deformar-se automaticamente e apropriadamente em resposta a alterações da pressão de defensivos líquidos.

DAGGUPATI (2007) avaliou o desempenho de alguns destes bicos em laboratório e no campo, comparando com bicos convencionais. O autor concluiu que quando comparado com as curvas de vazão x pressão fornecidas pelo fabricante os resultados são bastante similares até a pressão de 40 psi, mas, a partir deste ponto os dados experimentais apresentam valores superiores. A variação do tamanho da gota também se mostrou dentro dos padrões até a pressão de 40 psi, mas apresentaram tendências de aumento a partir deste ponto. O leque de distribuição se mostrou consistente com 110 graus para variações de pressão de 30 a 82 psi, mas houve reduções para pressões entre 9 e 18 psi. Nos testes de campo com velocidade de deslocamento entre 6,5 e 20 km h⁻¹ a taxa de aplicação constante de 50 L ha⁻¹ observaram que o bico VT pretos não apresentaram tamanhos de gotas dentro dos padrões necessários, sendo a

variação significativamente superior na velocidade maior. Durante os ensaios de variação da taxa aplicação entre 40 e 110 L ha⁻¹ observaram que a o tamanho da gota medias encontrava-se dentro dos padrões desejados apenas para a taxa de 40 L ha⁻¹, mas, que para gotas maiores estavam dentro do padrão em toda a faixa ensaiada.

A descrição do funcionamento é apresentada por vários autores (WOLF, 2004; BUI, 2005; DAGGUPATI, 2007) além das brochuras do fabricante. O bico VT é composto de uma ponta pulverizadora, regulador, diafragma, mola corpo (Figura 18 e Figura 19). A ponta pulverizadora tem um orifício flexível cuja área é controlada por um par de alavancas. Uma das pontas do regulador é composta por uma cunha que controla o movimento do par de alavancas. A cunha consiste de duas ranhuras de profundidades variadas. A outra extremidade do regulador está unida a um diafragma e uma mola (pré-orifício). O diafragma é usado para controlar o movimento do regulador através do equilíbrio da pressão e força de da mola.



Figura 18 Componentes do bico VariTarget.

Para se alterar o espectro da gota dos bicos VT, deve-se trocar as pontas pulverizadoras que variam de cores conforme a o espectro de gota. Pontas amarelas espectro de gota médio, azul gotas grandes, laranja gotas finas e verde gotas muito grandes.

O líquido entra no corpo de bico, flui através de ranhuras e sai através do orifício da ponta. A variação do fluxo é obtida como consequência da variação da posição do regulador. Quando a pressão líquida for menor que a força de pré-tensão da mola, o regulador move na direção do orifício reduzindo o fluxo, e quando a pressão líquida for maior que a força de pré-tensão da mola, o regulador move na direção oposta aumentando o fluxo (Figura 19).

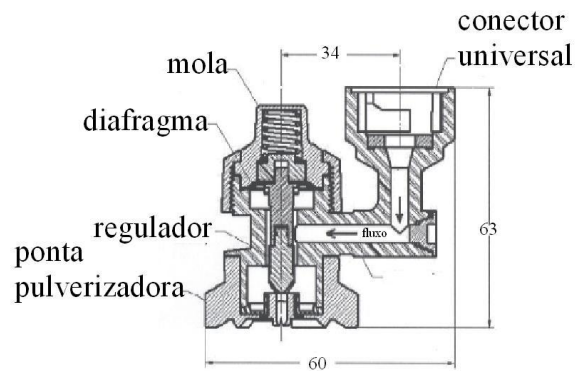


Figura 19 Bico VT em corte (dimensões em mm), adaptado de DAGGUPATI (2007).

A adoção desse bico de pulverização como componente do dispositivo desenvolvido se deu, principalmente, pelo fato dele ser concebido para aplicações VRA, pela potencialidade de variação linear da vazão com a variação da pressão, e por ter sido o único encontrado na literatura com essa característica e disponível comercialmente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O objetivo dessa seção é descrever todos os materiais necessários e as metodologias associadas ao desenvolvimento do dispositivo para aplicação a taxa variada em tempo real para regulador de crescimento na cultura do Algodoeiro – dispositivo VRT⁶. O dispositivo VRT proposto é composto pela interação de três sistemas: hidráulico; de controle; e de ultrassom. Uma visão geral dos componentes que compõem esses sistemas pode ser observada na Figura 20.

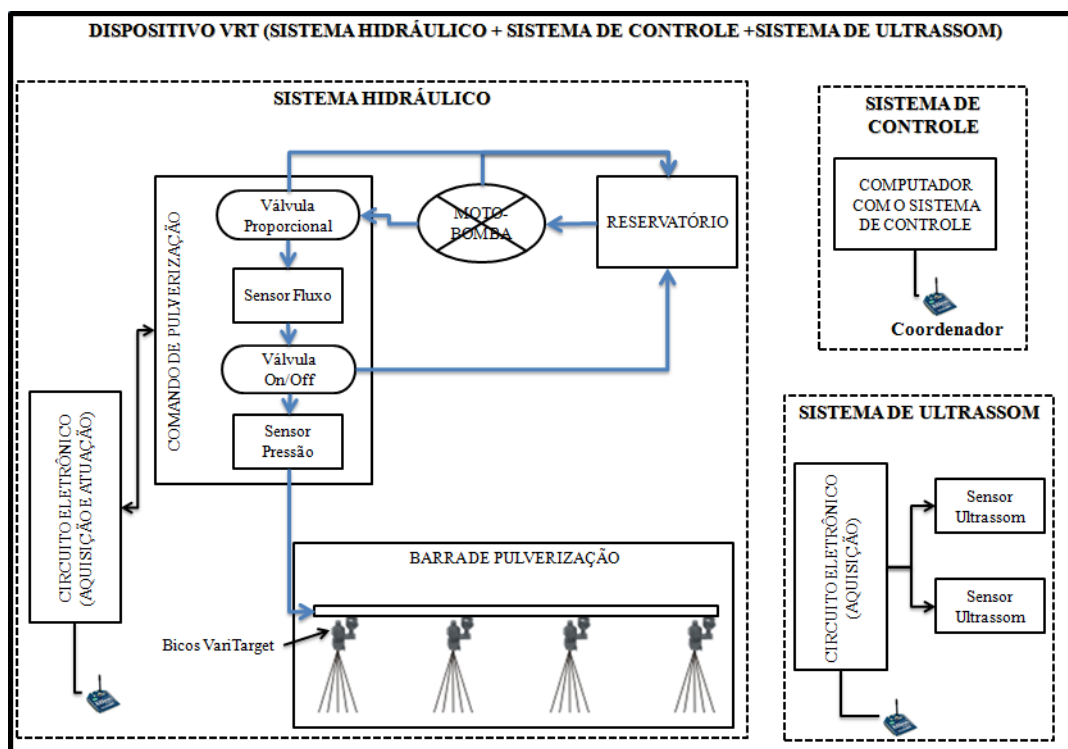


Figura 20 Visão geral dos componentes que compõem esses sistemas que formam o Dispositivo VRT

As etapas para o desenvolvimento do dispositivo VRT foram:

- 1) Validação do Fluxo do Bico e Pontas VariTarget;
- 2) Confeção do Sistema Hidráulico;
- 3) Confeção do Sistema Ultrassom;

⁶ VRT é um acrônimo de “Variable Rate Technology”, usado para referenciar tecnologias de taxa variável.

- 4) Confecção do Sistema de Controle PID;
- 5) Validação do dispositivo VRT.

3.1 Avaliação do desempenho dos bicos VariTarget

Tendo em vista que a bibliografia disponível sobre o desempenho do bico VT e suas pontas não é consistente quanto ao seu desempenho nas faixas de vazão e pressão que planejamos utilizar neste experimento, optou-se por realizar ensaios de avaliação deste bico e suas pontas no Laboratório para Avaliação de Aplicação de Produtos Fitossanitários da ESALQ/USP – LASAPF/ESALQ – para se determinar suas limitações reais. Foram obtidos quatro bicos, sendo que para cada bico estavam disponíveis as pontas Laranja (15 a 75 psi), Amarela (15 a 100 psi), Azul (16 a 85 psi), e Verde (16 a 85 psi), que respectivamente permitem aumentar a vazão no bico para um dado valor de pressão na linha de pulverização.

3.1.1 Bancada e metodologia utilizada no LASAPF/ESALQ para a coleta dos dados.

Para realização de ensaio dos bicos VT utilizou-se o sistema hidráulico e a bancada para análise da distribuição transversal de bicos de pulverização disponíveis no LASAPF/ESALQ (Figura 21 e Figura 22). Este sistema tem as seguintes características técnicas: reservatório em fibra vidro com capacidade de 2000L; bomba hidráulica de 3 êmbolos com capacidade de recalque de 75L min^{-1} a 540 rpm; motor elétrico trifásico, para acionamento da bomba hidráulica com potência de 7,5 cv a 1740 rpm; mecanismo de transmissão de polia e correia para acionamento da bomba hidráulica e bancada para análise da distribuição transversal de bicos de pulverização com comprimento de 3,5 m e largura de 3,0 m; distância entre canaletas, 0,025 m; regulagem de altura da barra de pulverização; conjunto de 167 provetas para coleta; estrutura em cantoneira de aço carbono; chapas verticais em aço inoxidável; mecanismo de corte de alimentação das provetas durante a leitura. Foi montada uma barra de pulverização única com um conjunto de porta bicos e com alimentação lateral para ser ligada no sistema hidráulico. Nessa barra de pulverização instalou-se um manômetro alinhado com dois bicos VT de forma a ter maior precisão de leitura de pressão.



Figura 21 Vista geral sistema hidráulico.



Figura 22 Bancada para análise da distribuição transversal de bicos de pulverização.

Utilizou-se o método de pesagem para a medição da vazão, sendo considerado que o volume coletado deveria ser pelo menos oito vezes a vazão da ponta. Durante todos os ensaios foi monitorado o coeficiente de retenção a umidade e temperatura. Foram realizados três repetições para cada valor de pressão com intervalo de 5 psi entre o valor mínimo e máximo de acordo com o catálogo do fabricante para cada tipo de ponta. A equação 1 foi utilizada para

interpolam os dados em caso de discrepância entre os valores utilizados no ensaio e os disponíveis no catálogo, de maneira a observar a variação da vazão a cada variação da pressão em 5 psi.

$$\frac{Q1}{Q2} = \sqrt{\left(\frac{P1}{P2}\right)} \quad eq.....1$$

3.2 Confecção do Sistema Hidráulico

3.2.1 Montagem do Circuito Hidráulico

O Circuito Hidráulico foi montado numa bancada do Laboratório de Agricultura de Precisão da Feagri da Unicamp conforme pode ser observado na Figura 23 e Figura 24. Na Figura 23: A. representa uma visão geral, sem o reservatório que pode ser observado na Figura 24; B. (da esquerda para direita) sensor de pressão, válvula on/off, sensor de fluxo e válvula proporcional; C. (da esquerda para direita) motor elétrico, inversor de frequência, e bomba hidráulica de pistão.

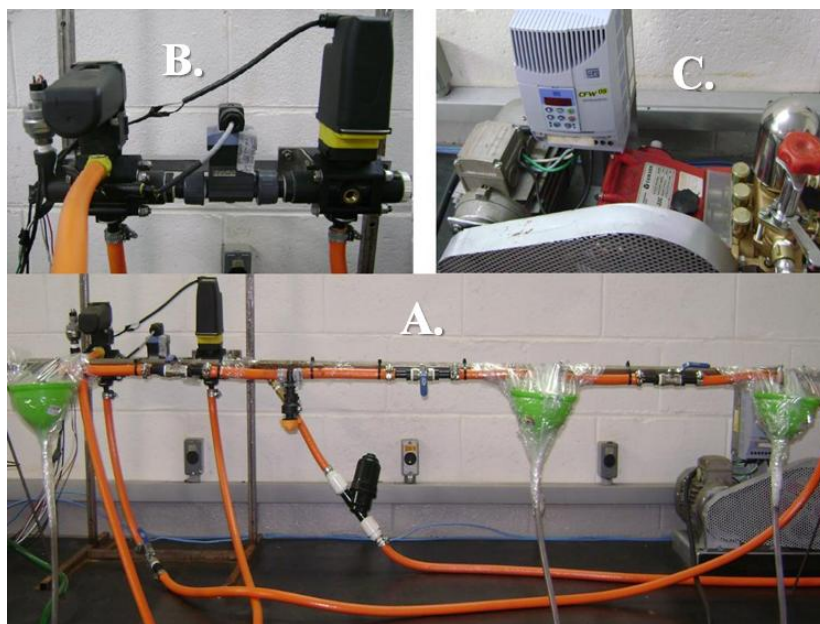


Figura 23 Circuito Hidráulico e componentes. A. visão geral; B. da esquerda para direita: sensor de pressão, válvula on/off, sensor de fluxo e válvula proporcional; C. motor elétrico, inversor de frequência, e bomba hidráulica de pistão.



Figura 24 Ilustração do reservatório com um “pulmão” de 100L usado na bancada.

São apresentadas a seguir as características de interesse dos principais componentes do Sistema Hidráulico:

- **Bomba de Deslocamento Positivo Yamaho LS-22C:** Rotação de 800 rpm, capacidade de 15 L/min^{-1} , pressão de 27 bar e potência de 2hp.
- **Motor Bonfiglioli BN80B4:** Potência nominal de 0.75 kW a 230/400 V ou 0.9 kW para 460V, frequência de alimentação de 50Hz para 230/400V ou 60 Hz para 460V, velocidade nominal: 1400 min^{-1} a 230/400 ou 1700 para 460V e fator de potência $\cos \phi = 0.78$.
- **Inversor de Frequência Weg CFW 08 Modelo CFW080160T2024PSZ:** Software versão 4.16 R49, rede/line de 200-240Vac, frequência de 50/60 Hz.
- **Reservatório:** Caixa d'água 100 L Fortlev.
- **Filtro de Linha:** filtro de tela de 155 mesh.
- **Manômetro:** Manômetro 63mm vertical 160x11 psi x kgf/cm^2 1/4 NPT aço inox e internos em latão.
- **Válvula Reguladora Elétrica Geoline modelo 8386011⁷:** Válvula do tipo agulha, vazão de 60 L.min^{-1} , pressão máxima 40 bar (580,15 psi), ciclo de 7s e tensão de alimentação 12 Vdc.

⁷ Informações complementares podem ser obtidas acessando o endereço eletrônico <http://www2.geoline.it/database/tecomec/geoline.nsf/27ebd2b68707bbc6c1256e3d00503a50/57027c378a1e2318c1256e4700448c28!OpenDocument>

- **Fluxômetro Gray Flow 1-100 L.mi⁻¹ modelo FL GFL 001:** Fluxômetro GRAY FLOW com faixa de vazão de 1 a 100 L.min⁻¹, pressão máxima de 10 bar, linearidade de < +- 0,5% da escala total.
- **Sensor de Fluxo SE30 para o Fluxômetro Gray Flow⁸:** tensão de alimentação 12 a 30Vdc, consumo máximo de corrente 300 mA e saída NPN ou PNP. O fator de conversão de quantidade de pulsos para litro fornecido pelo fabricante que é de 1 litro para cada 105 pulsos.
- **Válvula de Seção On/Off 3 Fios com Retorno Geoline modelo 8388005⁹:** válvula de estrangulamento on/off, vazão 15 L.min⁻¹, pressão máxima 20 bar, e tensão de alimentação 12 Vdc.
- **Sensor de Pressão modelo C209 para 844E de 0 a 145 psi¹⁰:** saída de corrente de 4mA até 20mA, acurácia de +- 0,25% FS, tempo de resposta < 5ms e tensão de alimentação 12Vdc.
- **Barra de Pulverização:** barra metalon 20 x 20 de 2m de comprimento com 4 bicos Varitarget e 4 pontas disponíveis por bico (laranja, amarela, verde e azul)
- **Tubulação:** mangueira de 127 mm de diâmetro interno, própria para uso com defensivos;
- **Registros:** 4 registros de esfera de 127mm, sendo 3 colocados entre os bicos e um na saída da Válvula de Seção On/Off. Fabricado por Japi modelo 105.

No comando de pulverização do Sistema Hidráulico (Figura 23), optou-se por componentes disponíveis no mercado, de forma a reduzir o custo do circuito hidráulico e aumentar a possibilidade de adoção de solução apresentada pelos agricultores.

⁸ Informações complementares podem ser obtidas acessando o endereço eletrônico http://www.burkert.com/products_data/datasheets/DSSE30-Exhazard-EU-EN.pdf

⁹ Informações complementares podem ser obtidas acessando o endereço <http://www2.geoline.it/database/tecomec/geoline.nsf/27ebd2b68707bbc6c1256e3d00503a50/9de4edd46899fae0c1256e4700446b37!OpenDocument>

¹⁰ Tendo em vista que esse sensor e os bicos VT têm como padrão a unidade psi para representar valores de pressão, adotou-se essa unidade (sistema inglês) como padrão para os ensaios realizados. À medida do possível os valores serão expressos em bar. Informações complementares podem ser obtidas acessando o endereço <http://www.boiswood.co.uk/product/1000002-1000001/Model-209C209>

O sentido de abertura da válvula proporcional é determinado pela polaridade da tensão aplicada em seus terminais. Essa tensão define também a velocidade de abertura da válvula, sendo 12V para a velocidade máxima e 3,5V para a velocidade mínima.

A barra de pulverização foi montada com 4 bicos VariTarget separados por uma distância de 0,50m. Entre cada bico foi instalado um registro para facilitar ensaios com diferentes quantidades de bicos.

A recomendação de diluição do ingrediente ativo cloreto de mepiquate é de 50g por litro de água, não alterando significativamente a viscosidade da calda a ser aplicada. Como o regulador de crescimento é um produto tóxico, optou-se por usar apenas água nos ensaios realizados em laboratório, eliminando assim os riscos de exposição humana ao produto.

3.2.2 Placa de aquisição e atuação no “Comando de Pulverização”

Para realizar a aquisição de dados dos sensores de Pressão e Fluxo, e realizar a atuação nas válvulas proporcional e on/off presentes no comando de pulverização do Circuito Hidráulico descrito na seção anterior, foi desenvolvido no Laboratório de Eletrônica da Feagri um circuito eletrônico com esse propósito (ele será referido nesse trabalho por “placa de comando”). Os principais componentes necessários para o desenvolvimento da placa de comando estão descritos a seguir e uma visão geral do relacionamento entre eles pode ser observado nas Figura 25 e Figura 26:

- 1) Microcontrolador PIC18F452 – PIC; processador de dados no circuito eletrônico. Dentre as várias instruções a serem executadas, destacam-se as instruções responsáveis pela aquisição de dados dos sensores de Pressão e Fluxo, e envio de sinal de atuação para as válvulas conforme as requisições solicitadas pelo Sistema de Controle que serão descritas com detalhes na próxima seção;
- 2) Circuito integrado RCV420; conectado a um dos canais analógicos do PIC, ele converte o sinal do sensor de pressão de 4 a 20mA para 0 a 5V;
- 3) Optoaclopador; adequa o nível de tensão do sensor de fluxo que é superior ao suportado por uma das entradas digitais do PIC. Sem essa adequação o sinal não pode ser ligado diretamente no PIC;

- 4) Módulo de Potência L298; converte os níveis de tensão e corrente vindo do PIC em níveis que possam acionar as válvulas do comando de pulverização descritas na seção anterior;
- 5) Módulo XBee XPro; trabalha com rádio frequência e possui alcance de até 1,6km em ambiente aberto. A taxa de transferência configurada é de 115.200bps.

Foi utilizada uma placa universal de fenolite para a montagem do circuito eletrônico e desenvolvimento do firmware. Adotou-se os seguintes ferramentais para compor o ambiente de desenvolvimento: Proteus 6.9 da Labcenter Electronics Ltd., para elaboração do circuito elétrico; IDE mikroBasic versão 5.0.02 da mikroElektronika, para o desenvolvimento do firmware; e PIC kit 2.55.02 da T&S Equipamentos Eletrônicos, para a gravação do firmware no formato hexadecimal (.hex) no *PIC*.

Diagrama de Blocos da Placa de Comando

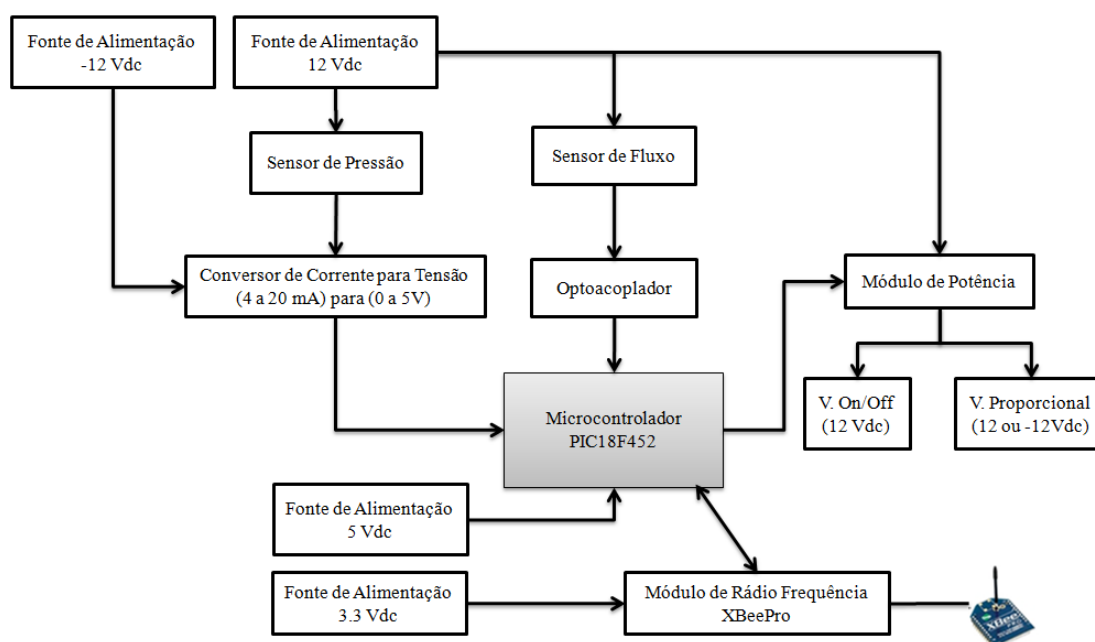


Figura 25 Diagrama de blocos dos principais elementos de interface e de composição da Placa de Comando.

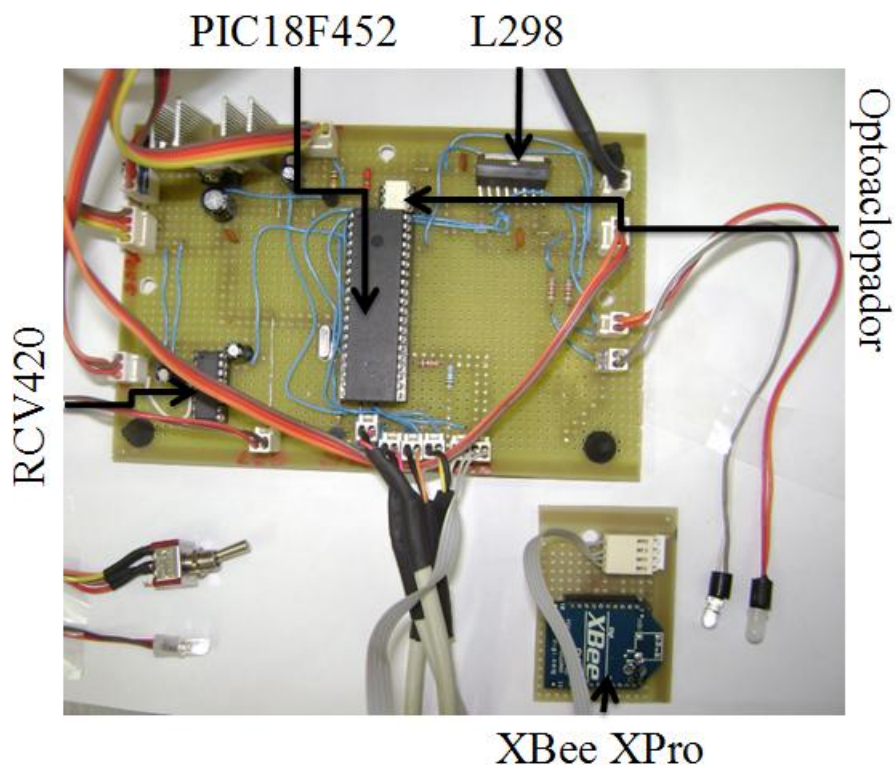


Figura 26 Circuito eletrônico da “Placa de Comando” para a aquisição de dados de Pressão e Fluxo e atuação nas válvulas proporcional e on/off.

Metodologicamente, considerou-se que um computador separado dessa placa – computador externo - interagiria com o firmware do PIC via envio de comandos na forma de caracteres para gerenciar a aquisição de dados dos sensores e atuação nas válvulas do comando de pulverização. Os comandos estão listados e descritos na Tabela 8.

Tabela 8 Comandos de interação do firmware do PIC com um computador externo.

Comando	Descrição	Ação no PIC
P	Solicita leitura de Pressão para o PIC	Lê a entrada analógica do PIC, onde está conectado o sensor de Pressão, e envia os dados pelo módulo da porta serial.
F	Solicita leitura de Fluxo para o PIC	Lê a entrada digital do PIC, onde está conectado o sensor de Fluxo, e converte a leitura em 3 bytes para transmissão.
L	Solicita a abertura da Von/off	Habilita alimentação.
D	Solicita o fechamento da Von/off	Desabilita alimentação.
Y	Solicita a abertura da VP	Configura os dois pinos com a polaridade da tensão para diferença de potencial positiva (12Vdc)
Z	Solicita parada de abertura ou fechamento da VP	Configura os dois pinos com a polaridade da tensão para diferença de potencial nula
X	Solicita o fechamento da VP	Configura os dois pinos com a polaridade da tensão para diferença de potencial negativa (-12Vdc)
r	Solicita o reinício do PIC. Usado caso o firmware trave ou aconteça algum imprevisto	Reinicia-se

Como estratégia para facilitar o desenvolvimento de software em um computador externo e permitir auditoria visualmente dos comandos recebidos e processados pelo firmware do PIC, instalou-se dois Leds na placa, sendo um para representar o estado da válvula on/off e

outro para representar o estado da válvula proporcional (Figura 27). O Led associado à válvula on/off era multicolor e acendia com cores de tonalidades alternadas quando o firmware recebia o comando ‘L’ e apagava quando o firmware recebia o comando ‘D’, configurando os estados habilitada e desabilitada respectivamente. Já o Led associado à válvula proporcional, é bicolor e por isso permitiria mapear três estados: aceso na cor verde quando o firmware recebesse o comando ‘Y’ indicando o estado de abertura; aceso na cor vermelha quando o firmware recebesse o comando ‘X’, indicando o estado de fechamento; e apagado quando o firmware recebesse o comando ‘Z’, indicando estado de parada.

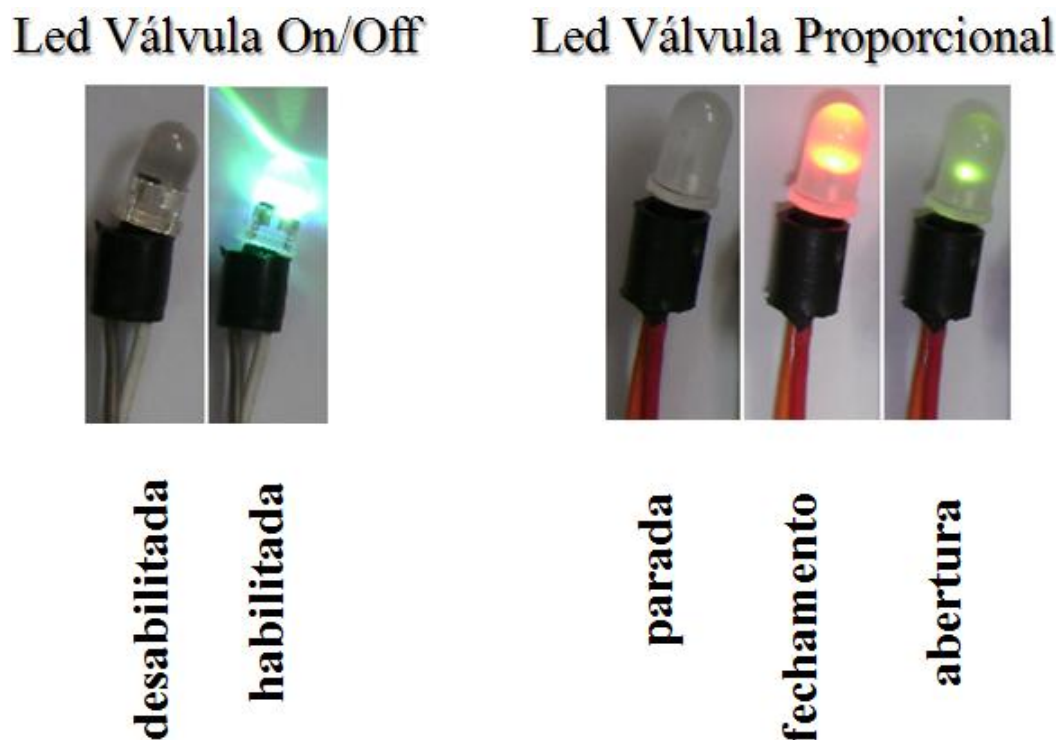


Figura 27 Leds auxiliares associados aos estados das válvulas conforme comandos recebidos pelo firmware do PIC.

Com objetivo de reduzir o tempo de resposta do sistema de controle (seção 3.4) adotou-se a estratégia de sempre acionar a válvula proporcional em + -12Vdc, de forma a obter a máxima velocidade de abertura ou fechamento respectivamente. Nessa configuração, o tempo necessário para abertura ou fechamento completo da válvula proporcional é de 7

segundos, conforme informações obtidas do fornecedor. Dessa forma, para acionar a válvula o sistema de controle informa o sentido do movimento, ‘Y’ para abertura ou ‘X’ para fechamento, e, após o tempo desejado de movimento, envia um comando de parada ‘Z’(Figura 28).

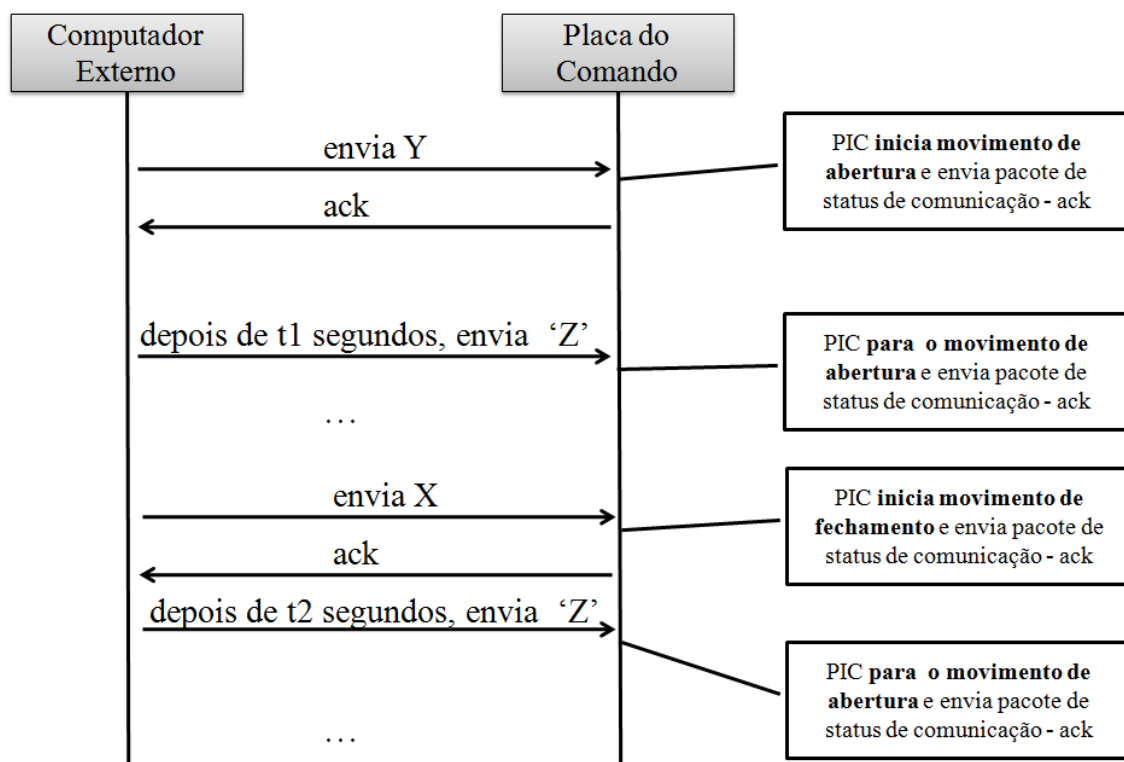


Figura 28 O acionamento de movimento da válvula proporcional é dada X ou Y por um tempo t, seguido de um comando de parada Z.

3.2.3 Desenvolvimento de software para testar a Placa do Comando

Desenvolveu-se um software para testar a comunicação e os comandos de interação com a Placa do Comando. Dentre os materiais usados, destacam-se:

- 1) Linguagem de programação Java para a escrita do software (JDK 1.6);
- 2) Ambiente de desenvolvimento NetBeans IDE 6.7.1, para facilitar e acelerar o desenvolvimento;

- 3) Notebook, processador Intel® Core™ Duo CPU T7500 2.20GHz e memória RAM de 2038MB;
- 4) Sistema operacional Linux - Kubunto karmic 9.10, 32 bits;
- 5) Placa CON-USBBEE ROGERCOM com módulo de rádio frequência XBee-Pro XBP24-AWI para comunicação sem fio com o módulo de rádio frequência XBee-Pro XBP24-AWI do PIC.

É possível observar na Figura 29 com a tela do software desenvolvido, que todos os comandos de interação com a Placa do Comando estão contemplados em botões cujo nome do rótulo equivale ao próprio caractere de comando. No canto superior esquerdo inicia-se uma série de componentes responsáveis pela configuração da porta serial de comunicação com o módulo COM-USBBEE ROGERCOM. Há uma área de texto rotulada por “Recebe/Escuta (RX)” cuja funcionalidade é mostrar todos os dados transmitidos pelo PIC e dessa forma verificar o seu funcionamento. Posteriormente, esses dados são transformados nas grandezas de Pressão (psi) e Fluxo (Litros), e mostrados nos botões com cor de fundo rosa. Para testar a aquisição de dados em diferentes taxas de amostragem, deve-se escolher na seção “Modo Automático de Tempo de Leitura” o valor dessa taxa, tipo de sensor (Pressão e/ou Fluxo), e acionar o botão rotulado em “Iniciar Automático”. Na seção “Modo Manual Vp” é possível abrir ou fechar a válvula proporcional por um determinado tempo em milissegundos.

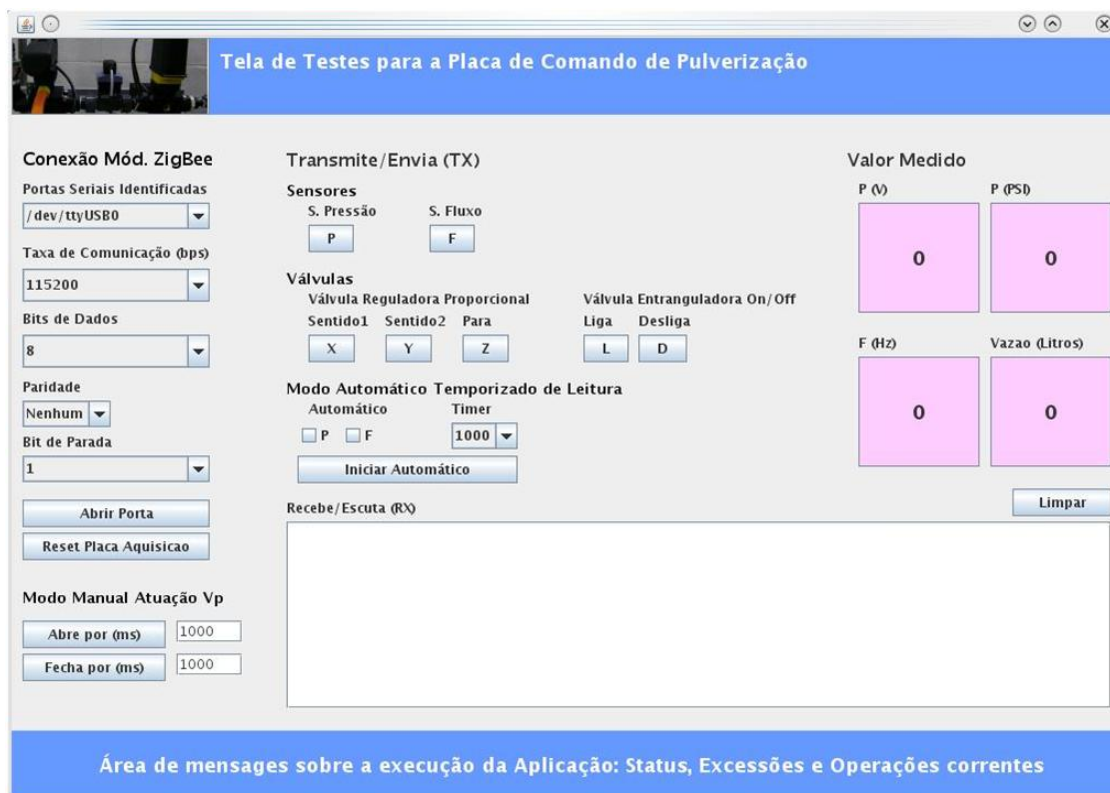


Figura 29 Software desenvolvido para testar a comunicação e comandos de interface com a Placa do Comando.

3.3 Confeção do Sistema Ultrassom

3.3.1 Placa de aquisição dos sensores de Ultrassom

No sentido de aumentar a robustez e agregar melhorias ao protótipo proposto por QUEIROS et al. (2005 e 2007), optou-se por confeccioná-lo em outra arquitetura, melhorar o algoritmo do firmware e adotar comunicação sem fio para recepção de comandos e envio de pacote de dados (Placa de Ultrassom). Esta placa foi desenvolvida no LIC -Laboratório de Instrumentação e Controle, e os principais componentes estão descritos a seguir.

- 1) Microcontrolador PIC18F452 – PIC; processador de dados no circuito eletrônico. Dentre as várias instruções a serem executadas, destacam-se as instruções responsáveis pela aquisição de dados dos sensores ultrassom conforme as requisições solicitadas pelo Sistema de Controle que serão descritas com detalhes na próxima seção;

- 2) Conversor de tensão 5Vdc; para alimentação do PIC utilizou-se o circuito integrado LM7805 como regulador linear de tensão;
- 3) 2 Sensores Ultrassom SRF10 Devantech; auxiliares na determinação de altura das plantas de algodão;
- 4) Módulo XBee XPro; trabalha com rádio frequência que possui alcance de até 1,6km em ambiente aberto. A taxa de transferência configurada é de 115200bps;
- 5) Display LCD alfanumérico.

Uma visão geral do relacionamento entre eles pode ser observado no diagrama de blocos da (Figura 30 e Figura 31).

Foi utilizada uma placa universal de fenolite para a montagem do circuito eletrônico e desenvolvimento do firmware. Adotou-se os seguintes ferramentais para compor o ambiente de desenvolvimento: Proteus 6.9 da Labcenter Electronics Ltd., para elaboração do circuito elétrico; IDE mikroBasic versão 5.0.02 da mikroElektronika, para o desenvolvimento do firmware; e PIC kit 2.55.02 da T&S Equipamentos Eletrônicos, para a gravação do firmware no formato hexadecimal (.hex) no *PIC*.

Diagrama de Blocos da Placa de Ultrassom

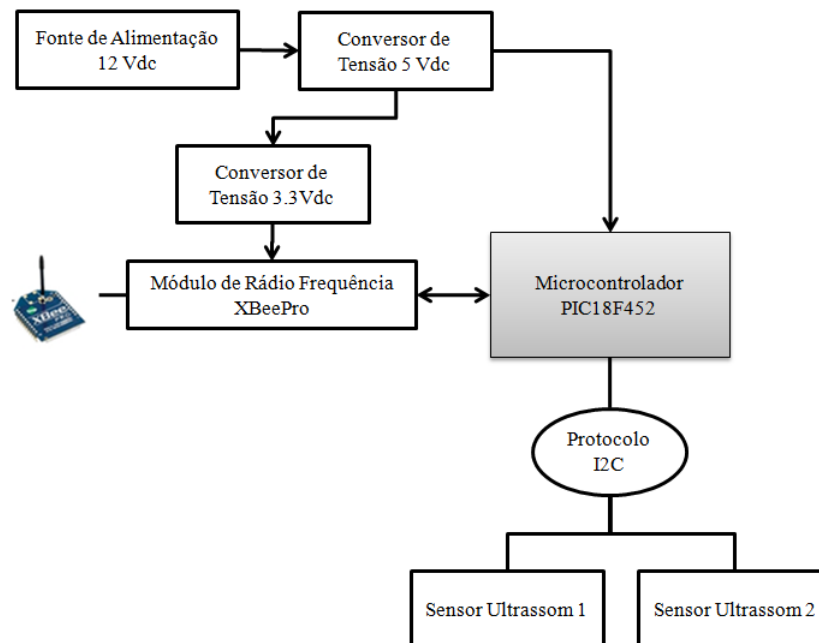


Figura 30 Diagrama de Blocos da Placa Ultrassom.

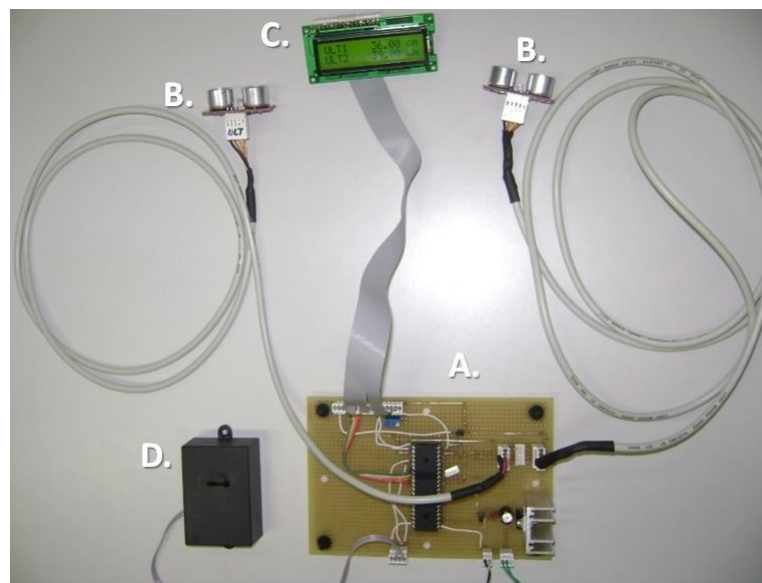


Figura 31: Placa Ultrassom e componentes: A. visão geral da Placa Ultrassom; B. sensores ultrassom; C. Display com leituras dos sensores feitas pelo PIC; e D. módulo XBeePro responsável pela comunicação sem fio.

O sistema de controle interage com o firmware do PIC, via envio de comandos na forma de caracteres, para gerenciar a aquisição de dados dos sensores ultrassom. Os comandos estão listados e descritos na Tabela 9:

Tabela 9 Comandos de interação do firmware do PIC com o sistema de controle.

Comando	Descrição	Ação no PIC
H	Solicita leitura de todos os sensores no barramento I2C	Envia um comando no barramento I2C para que os sensores iniciem as leituras (broadcast)
U	Solicita leitura do primeiro sensor do barramento I2C	Envia comando no barramento I2C endereçado para receber a leitura do primeiro sensor.
W	Solicita leitura do segundo sensor do barramento I2C	Envia comando no barramento I2C endereçado para receber a leitura do segundo sensor.
M	Informa para o PIC iniciar o processo de cálculo das médias das leituras dos sensores no barramento I2C	Inicia procedimento de leituras automáticas dos sensores no barramento I2C a cada 100ms.
Q	Recebe a média das leituras de todos sensores em apenas um pacote de dados. As alturas são separadas por ";" e cada altura é representado por uma string com 5 caracteres (um caracter é o ponto para representação decimal)	Para a leitura automática de leituras e calcula a média e envia a média para o sw solicitante e comando M (verificar)
r	Solicita o reinício do PIC.	

Dentre os comandos descritos acima para interagir com o firmware do PIC, destacam-se os comandos ‘M’ e ‘Q’, responsáveis por disparar a execução dos procedimentos (Tabela 10): ‘leituraSensores()’ para o firmware iniciar o cálculo das médias das leituras dos sensores ultrassom; e ‘enviaLeituras()’ por interromper ‘leituraSensores()’, enviar as médias das leituras para o sistema de controle e iniciar a execução novamente de ‘leituraSensores()’. Esses dois procedimentos correspondem às principais alterações do firmware do novo protótipo proposto em relação ao protótipo antigo referido no início dessa seção. Na Tabela 10 é descrito com mais detalhes como está implementado esses dois procedimentos no novo protótipo e no protótipo antigo.

Como estratégia para facilitar o desenvolvimento de software no sistema de controle e permitir auditoria visualmente dos comandos recebidos e processados pelo firmware do PIC, instalou-se um Display, para representar o estado de leitura do firmware e os valores das leituras dos sensores. (item ‘C.’ na Figura 31).

Tabela 10 Principais alterações do firmware do novo Protótipo.

Procedimento	Novo Protótipo	Protótipo Anterior
leituraSensores()	A cada 100ms o microcontrolador PIC faz a leitura dos sensores ultrassom no barramento I2C. Na sequência, é calculada a média das leituras para cada sensor ultrassom. Esta etapa fica em um laço aguardando a solicitação de leitura pelo Sistema de Controle (será descrito com mais detalhes na seção 3.4);	A cada 100ms o microcontrolador 8051 faz a leitura dos sensores ultrassom e armazena as leituras em um buffer com suporte de até 20 leituras. Nessa configuração há a possibilidade do buffer estourar.
enviaLeituras()	- Interrompe procedimento leituraSensores(); - Envia dois pacotes ZigBee: 1 contendo o status da comunicação (ack), e outro com as leituras médias dos sensores; - As médias do PIC são zeradas e inicia-se o procedimento leituraSensores() novamente.	- Interrompe procedimento leituraSensores(); - Envia até 20 leituras sem tratamento. Nessa configuração, é necessário enviar maior quantidade de bytes e o processamento das médias é externo ao microcontrolador; - O buffer é esvaziado e inicia-se o procedimento leituraSensores() novamente.

3.3.2 Desenvolvimento de software para testar a Placa do Ultrassom

Desenvolveu-se um software para testar a comunicação e os comandos de interação com a Placa do Ultrassom. Dentre os materiais usados, destacam-se:

1. Linguagem de programação Java para a escrita do software (JDK 1.6);
2. Ambiente de desenvolvimento NetBeans IDE 6.7.1, para facilitar e acelerar o desenvolvimento;
3. Sistema operacional Linux - Kubunto karmic 9.10, 32 bits;
4. Notebook, processador Intel® Core™ Duo CPU T7500 2.20GHz e memória RAM de 2038MB;
5. Placa CON-USBBEE ROGERCOM com módulo de rádio frequência XBee-Pro XBP24-AWI para comunicação sem fio com o módulo de rádio frequência XBee-Pro XBP24-AWI do PIC;
6. API gráfica JChart2D, para apresentar num gráfico cartesiano a aquisição das leituras dos sensores no tempo.

É possível observar na Figura 32 com a tela do software desenvolvido, todos os comandos de interação com a Placa do Ultrassom estão contemplados em botões cujo nome do rótulo equivale ao próprio caractere de comando. No canto superior esquerdo, os botões rotulados em “Abrir Porta” e “r (RESET)” são responsáveis por abrir ou fechar a porta serial de comunicação com o módulo CON-USBBEE ROGERCOM e por reiniciar o PIC respectivamente.

Há uma área de texto rotulada por “(RX)” cuja funcionalidade é mostrar todos os dados transmitidos pelo PIC e dessa forma verificar o seu funcionamento. Posteriormente, os dados relativos aos sensores ultrassom são tratados, e mostrados de duas formas em cm: textual - nos botões com cor de fundo rosa, sendo a leitura do primeiro botão do primeiro sensor e a segunda leitura do segundo sensor - ; gráfica - em um plano cartesiano, onde a abscissa corresponde ao tempo de amostragem acumulada e a ordenada as valores das leituras dos sensores, sendo a linha na cor “verde” associada ao primeiro sensor e a linha na cor “azul” associado ao segundo - . Ressalta-se que na forma gráfica de apresentação da aquisição de dados dos sensores no tempo, foi necessário identificar uma API em Java que permitisse

apresentar os dados em tempo real e a API JChart2D foi escolhida por sua capacidade teórica de atualizar a área gráfica a uma taxa de até 20 milissegundos.

Para testar a aquisição de dados em diferentes taxas de amostragem, deve-se escolher o valor na seção “Leitura Temporizada” e acionar o botão “Iniciar Timer”, sendo possível parar a aquisição temporizada a qualquer momento acionando o botão “Parar Timer”.

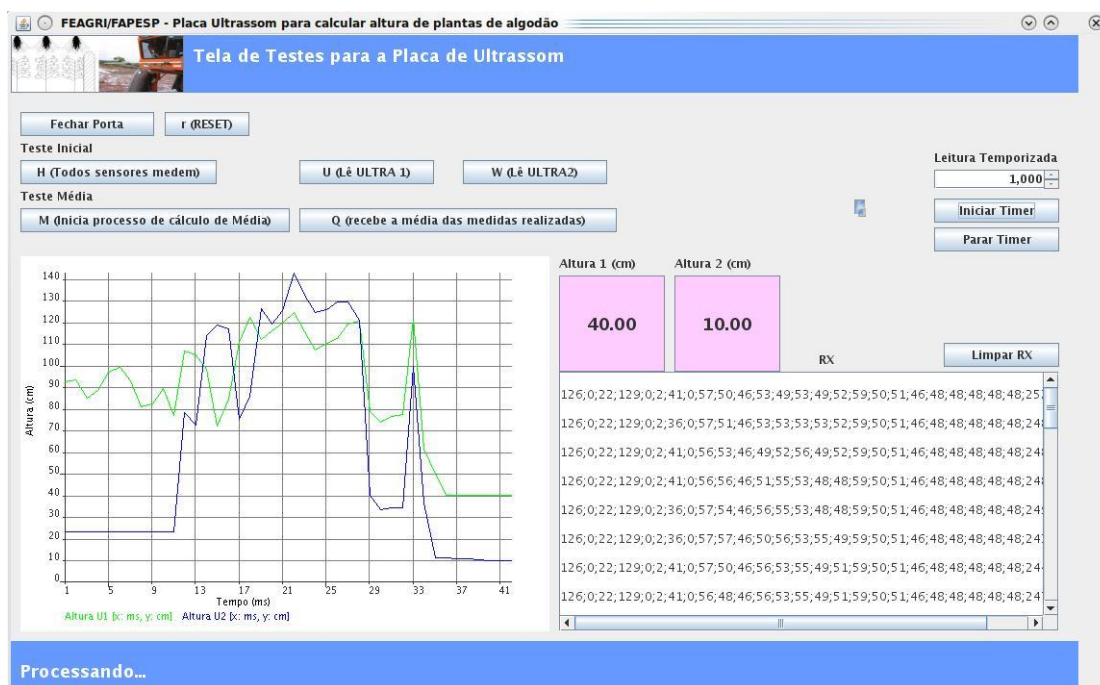


Figura 32 Tela do software de teste da Placa de Ultrassom.

3.4 Confecção do Sistema de Controle PID

3.4.1 Sistema de Controle

O Sistema de Controle é o núcleo do dispositivo VRT, pois ele é o responsável por gerenciar as informações dos Sistemas Hidráulico e de Ultrassom e, com um algoritmo de controle PID e regras de aplicação de regulador de crescimento definidas por um especialista, é capaz de variar a dose de regulador de crescimento em tempo real controlando as válvulas proporcional e on/off do comando de pulverização. A Figura 33 ilustra a tela desse sistema.

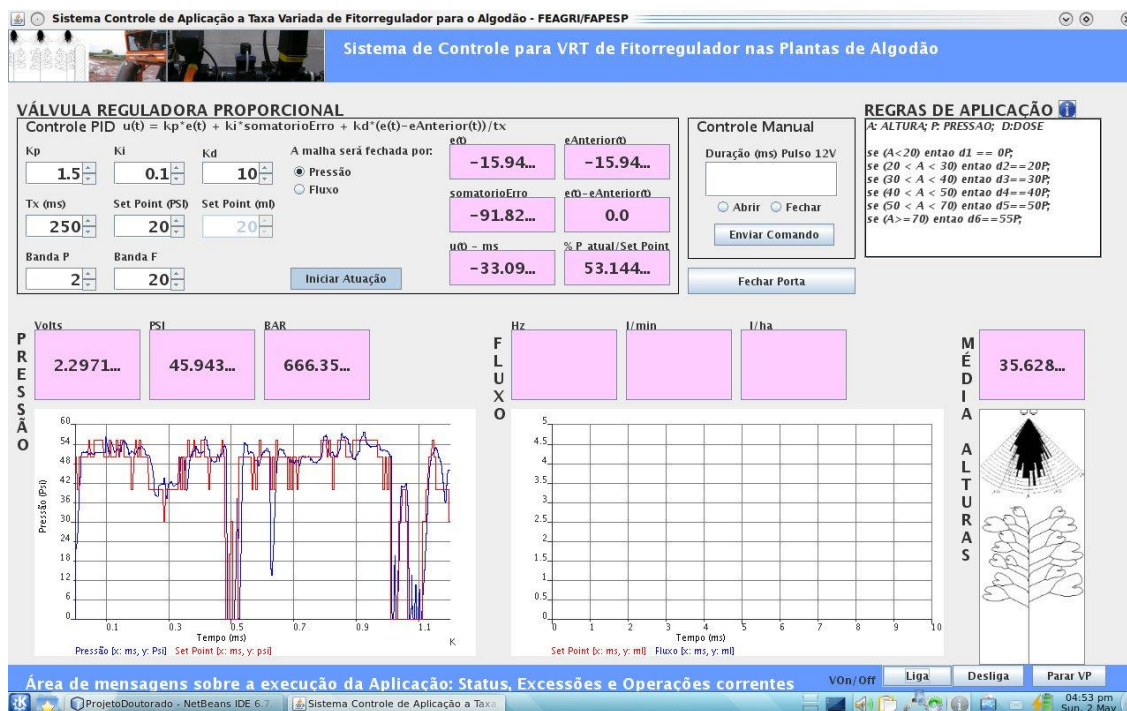


Figura 33 Sistema de Controle do Dispositivo VRT.

Os materiais necessários para seu desenvolvimento foram:

1. Linguagem de programação Java para a escrita do software (JDK 1.6);
2. Ambiente de desenvolvimento NetBeans IDE 6.7.1, para facilitar e acelerar o desenvolvimento;
3. Sistema operacional Linux - Kubunto karmic 9.10, 32 bits;
4. Notebook, processador Intel® Core™ Duo CPU T7500 2.20GHz e memória RAM de 2038MB;
5. Placa CON-USBBEE ROGERCOM com módulo de rádio frequência XBee-Pro XBP24-AWI para comunicação sem fio com o módulo de rádio frequência XBee-Pro XBP24-AWI do PIC;
6. API gráfica JChart2D, para apresentar num gráfico cartesiano a aquisição das leituras dos sensores no tempo.

Para organizar o desenvolvimento das classes Java, elas foram dispostas em pacotes (Figura 34), conforme as funcionalidades que se pretende alcançar. A seguir uma breve descrição de cada pacote:

- Sensores: para classes relacionadas ao tratamento das informações dos sensores;
- Atuadores: para classes relacionadas ao tratamento das informações dos atuadores;
- Controles: para classes que representam modelos de controle para controlar os atuadores;
- ProtocolosComunicacao: para classes que implementem protocolos de comunicação;
- Graficos2D: para classes que permitem exibir informações no modo gráfico do plano cartesiano;
- InterfacesGraficaUsuario: para classes associadas à criação e o gerenciamento da interface gráfica com usuário;
- InterpretadorRegrasAplicacao: classes para interpretar as regras de aplicação de reguladores de crescimento escritas por especialista;
- MapasAplicacao: classes que implementem conjuntos de operações para tratar dados georeferenciados;
- Persistencia: classes que possibilitem persistir em arquivo a aquisição de dados, informações de atuação e informações da aplicação a taxa variada.

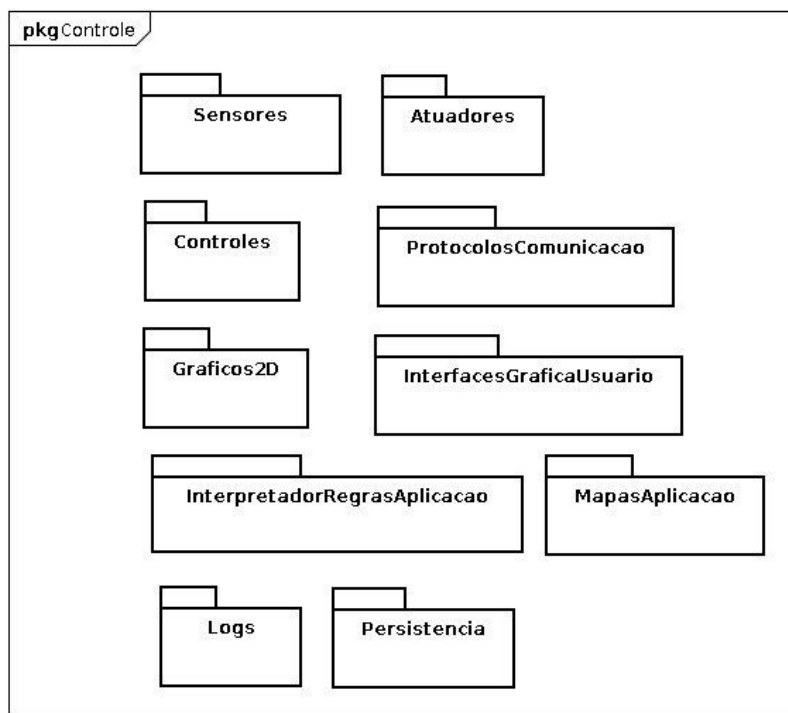


Figura 34 Classes Java organizadas em pacotes.

Conforme pode ser observado na Figura 33 da tela do sistema de controle, parte da interface com o usuário foi dividida em três seções de conjuntos de componentes para permitir a entrada de dados: seção **‘Controle PID’** para configurar os parâmetros dos ganhos Proporcional, Integral e Derivativo, a Taxa de Amostragem, a Faixa de Pressão entre outros; seção **‘Controle Manual’** caso durante a etapa de desenvolvimento seja necessário desativar o controle PID para definição de sinais de testes de atuação de forma manual; e seção **‘REGRAS DE APLICAÇÃO’** para o especialista escrever as regras de aplicação para variação de doses.

Para monitoramento visual e em tempo real da aquisição de dados e sinais de atuação PID usa-se na interface recurso textual e gráfico. O recurso textual corresponde aos botões na cor rosa espalhados por toda a tela e o gráfico a dois gráficos cartesianos, sendo o primeiro para mostrar a aquisição dos valores de pressão e o SetPoint desejado, e o segundo para mostrar fluxo no comando de pulverização ao longo do tempo de aplicação.

O algoritmo PID clássico foi escolhido para calcular o sinal de atuação $u(t)$ do controlador PID sobre a “planta”. Para implementação do termo derivativo e integral no Sistema de Controle, usou-se a aproximação da CHARAIS e LOURENS (2004), onde:

- $dE(t)/dt \approx [E(n) - E(n-1)]/T_s$ *eq. tendência do erro*
- $\int_0^t E(t)dt \approx T_s * \sum_0^N E(n)$ *eq. soma do erro*

sendo $E(n)$ o erro atual, $E(n-1)$ o erro anterior, e T_s é o período de amostragem.

Dessa forma, a equação resultante da aproximação adotada foi:

$$u(t) = K_p * E(t) + K_i * T_s * \sum_0^N E(n) + K_d * [E(n) - E(n-1)]/T_s \quad \text{eq. aprox. digital}$$

Conforme recomendado pela literatura, tanto o termo integral como o termo derivativo poderia atingir valores muito altos ou muito baixos, consequência da saturação do atuador ou de ruídos na planta controlada, dessa forma foi implementado um filtro para limitar tanto o valor máximo como o mínimo para esses termos.

A malha fechada de controle tem como sinal de realimentação a pressão medida na linha de pulverização e para não comprometer os componentes do Sistema Hidráulico a pressão máxima foi limitada em 80 psi.

A partir da altura fornecida pelo Sistema de Ultrassom, o Sistema de Controle precisa saber qual dose deverá ser aplicada. As regras de aplicação, associando altura medida com valor de dose, deverão ser fornecidas por um especialista em aplicação de fitorreguladores, preenchendo a seção de entrada de dados na interface com usuário ‘REGRAS DE APLICAÇÃO’ (Figura 35). As regras são expressas por sentenças condicionais e uma ação associada – se (condicaoN) então dN== XP, onde:

- condicaoN serve para especificar qual faixa de altura via manipulação da variável pré-definida A, em cm, deve ser associada a dose dN. Como exemplo, caso não seja necessário aplicar regulador de crescimento quando a altura da planta de algodão for inferior a 20 cm, então essa regra seria escrita da forma *se (A < 20) então d1=0P*;

- XP é o valor de pressão em psi que o Sistema de Controle deverá manter a linha do circuito hidráulico, caso a condição da regra seja verdadeira. Ressalta que X é parte de um valor real entre 0 a 100 psi.

REGRAS DE APLICAÇÃO	
A: ALTURA; P: PRESSÃO; D:DOSE	
se (A<20) entao d1 == 0P;	
se (20 < A < 30) entao d2==20P;	
se (30 < A < 40) entao d3==30P;	
se (40 < A < 50) entao d4==40P;	
se (50 < A < 70) entao d5==50P;	
se (A>=70) entao d6==55P;	

Figura 35 Exemplo de um conjunto de regras de aplicação definida pelo especialista em reguladores de crescimento.

Outra estratégia adotada para o desenvolvimento do Sistema de Controle é que a comunicação dele com os outros componentes do Dispositivo VRT seria por módulos de rádio frequência que implementam o protocolo ZigBee – módulo ZigBee. Dessa forma, pretende-se eliminar uma grande quantidade de cabos que seriam necessários para a interligação dos sistemas. A rede formada pode ser observada na Figura 36, na qual o módulo ZigBee do Sistema de Controle é configurado no modo ‘coordenador’ e os demais módulos no modo ‘escravo’.

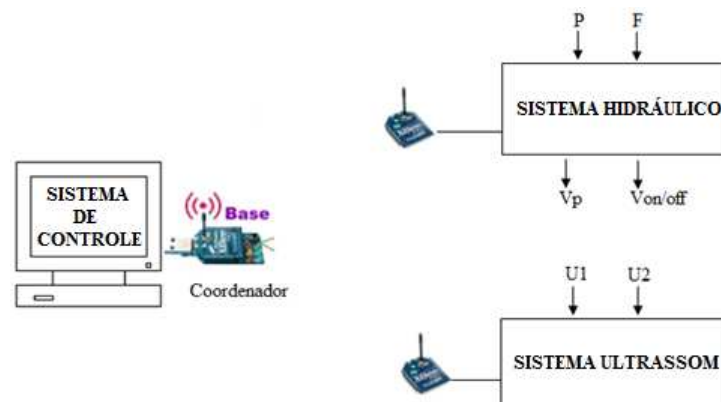


Figura 36 Rede ZigBee para comunicação do Sistema de Controle com os outros Sistemas.

De forma geral o algoritmo de funcionamento do Sistema de Controle pode ser observado no fluxograma apresentado na Figura 37.

Fluxograma do algoritmo do Sistema de Controle

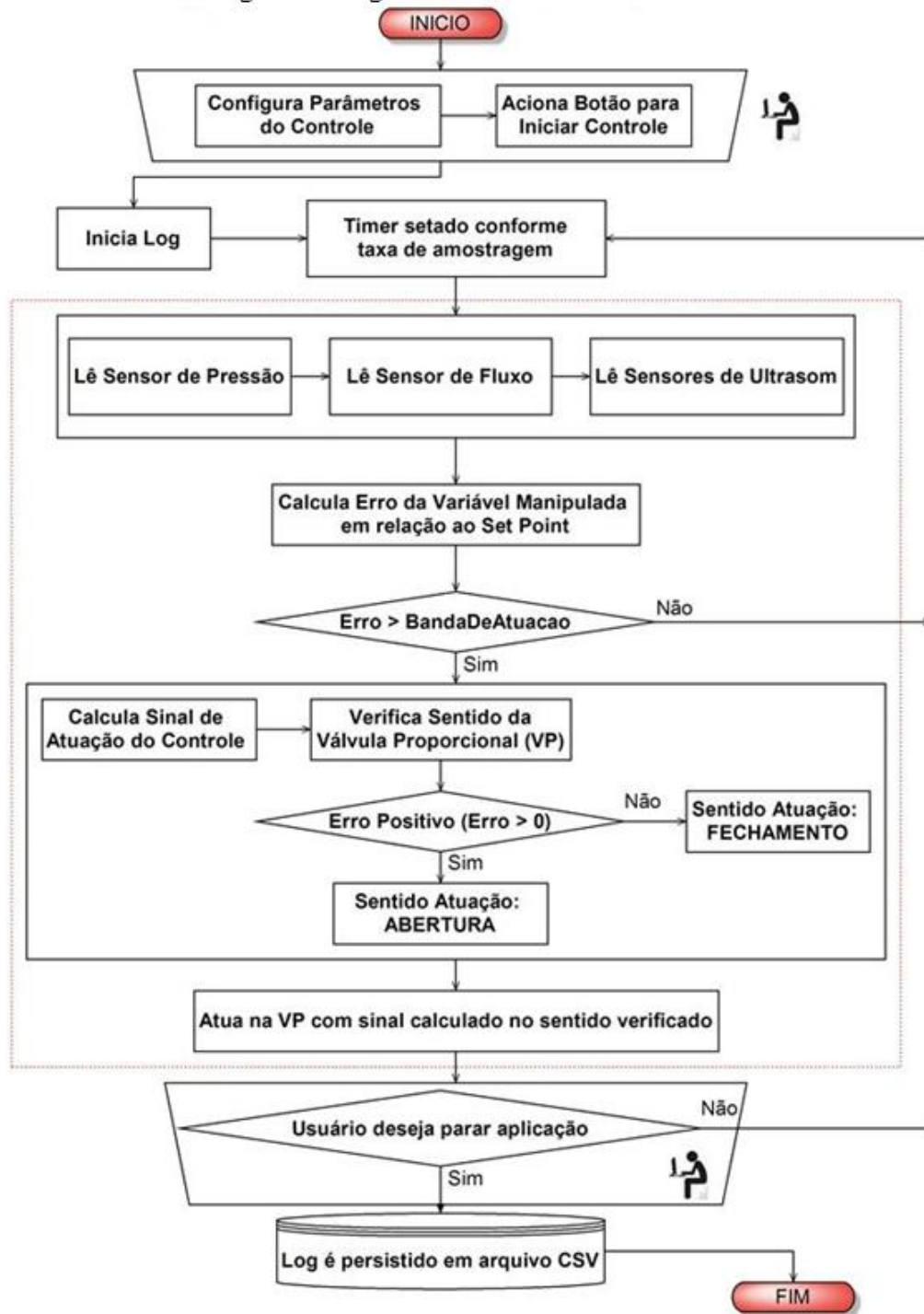


Figura 37 Visão geral o algoritmo de funcionamento do Sistema de Controle.

Conforme pode ser observado no fluxograma apresentado na Figura acima, antes de iniciar uma aplicação a taxa variada, é necessário:

- Configurar o comportamento do controle PID via atribuição de valores para os termos Proporcional, Integral e Derivativo;
- Configurar a taxa de amostragem;
- Configurar Faixa de Pressão;
- Escrever as regras de aplicação;
- Acionar o botão “Iniciar Atuação”

Após configurar os parâmetros de controle (ações PID + regras de aplicação + taxa de amostragem), e acionar o botão “Iniciar Atuação”, a funcionalidade de log é ativada para todas as variáveis do software e um “loop” de operações é executado a cada taxa de amostragem até o fim da aplicação. O “loop” de operações consiste na repetição das seguintes etapas:

- 1) Ler os sensores das duas placas;
- 2) Caso o Erro em relação ao Set Point esteja fora da Faixa de Pressão é feito o cálculo do sinal de atuação e é definido se o sentido da atuação é de abertura ou fechamento da Válvula Proporcional. O sinal e o sentido de atuação é enviado para a Placa de Comando atuar na válvula proporcional;
- 3) Caso a regra definida para não aplicar regulador de crescimento seja verdadeira a válvula on/off é desabilitada . Nesse caso, adotou-se a estratégia de não atuar na válvula proporcional, de forma que ao habilitar a válvula on/off a pressão na linha corresponde à pressão anterior ;
- 4) Os passos 1, 2 e 3 são executados a cada taxa de amostragem repetidamente até o usuário parar a aplicação. Ao pará-la os dados de log são gravados em um arquivo no formato csv.

3.4.2 Modelagem do processo e ajustes do controlador PID

Foi usada a metodologia descrita por CAMPOS e TEIXEIRA (2006) para obtenção dos parâmetros da dinâmica do processo (tempo morto ‘L’, constante de tempo ‘T’ e ganho do

processo ‘K’) e sua representação por um modelo aproximado de primeira ordem mais o tempo morto.

A suposição inicial para os valores dos parâmetros do controlador PID será feito usando métodos empíricos descritos por ZIEGLER e NICHOLS (1942).

3.5 Validação do Dispositivo VRT

3.5.1 Áreas 12ha e 50ha com mapeamento de alturas reais de plantas de algodão

SHIRATSUCHI et al. (2004) para validar o sistema protótipo de ultrassom, conduziram um experimento numa lavoura comercial de algodão. Duas áreas, uma de 12 ha e outra de 50 ha, foram escolhidas e mapeadas pelo sistema protótipo. Cada área era compreendida por duas épocas de plantio distintas, assim, as áreas de 12 ha e 50 ha foram divididas em 4 subáreas, sendo por 12a, 12b, 50a e 50b respectivamente, conforme mostra a Figura 38. A estatística descritiva dos dados pode ser encontrada na Tabela 11. Na análise geoestatística realizada por QUEIROS (2004) em sua dissertação de mestrado, verificou-se que para as áreas 12a, 12b, 50a e 50b, as distâncias máximas ou alcances¹¹ em que as alturas de algodão possuíram dependência entre si foram de 150.3m, 249.77m, 53m, e 249.9 m respectivamente.

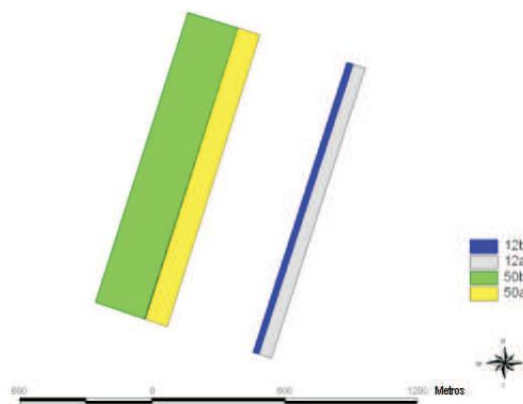


Figura 38 Áreas experimentais separadas por épocas de plantio diferentes. Da esquerda para direita: 50b, 50a, 12b, 12a.

¹¹ Isso significa que, para cada área, as amostras seriam independentes entre si para um intervalo de amostragem maior que seu alcance, pois a semivariância tenderia à variância amostral, implicando em variância aleatória ou ao acaso (TRANGMAR et al, 1985). Dessa forma o valor do alcance corresponde à região de influência ou ao máximo raio de vizinhança considerado pela Krigagem para a estimativa de um novo ponto.

Tabela 11 Estatística descritiva dos dados coletados pelos sensores ultrassom para cada área experimental

SENSORES Áreas experimentais	S1 – SENSOR 1				S2 – SENSOR 2			
	12a	12b	50a	50b	12a	12b	50a	50b
Total de Pontos	1251	594	396	822	1251	594	396	822
Média	54,15	68,38	50,23	19,77	53,30	68,20	54,49	24,10
Mediana	55,22	68,68	50,78	18,35	54,16	68,85	54,92	23,60
Valor Mínimo	15	28,89	8,29	0,57	15,65	29,94	9,57	3,07
Valor Máximo	80,95	81,31	69,80	49,28	78,84	82,58	73,43	50,58
Variância	91,43	32,56	112,70	96,34	79,88	35,69	85,16	90,11
Desvio Padrão	9,56	5,71	10,62	9,82	8,94	5,97	9,23	9,49

As alturas coletadas pelos dois sensores usados nesse experimento serão empregadas como material para validar o Dispositivo VRT.

Metodologicamente, será considerado uma área de 7,2ha da área de 12ha sem levar em consideração as distinções por épocas de plantios feitas pelos autores, pois para o Dispositivo VRT essa distinção não faz sentido, uma vez que a aplicação de regulador de crescimento acontecerá conforme as regras de aplicação editadas por um especialista e dependerá, principalmente, das alturas de plantas de algodão.

A metodologia para validar o Dispositivo VRT consiste em:

1. Dividir a área em células de aplicação considerando as dimensões da barra de pulverização de um autopropelido comercial de 21 m e do comprimento longitudinal de 7,5m dessa barra até o Sistema Ultrassom, totalizando uma área de 157,5 m² por célula (Figura 39 e Figura 40);
2. Hipoteticamente serão consideradas seis regras de doses, conforme apresentado na Tabela 12;
3. Realizar duas aplicações de reguladores de crescimento para cada área considerando uma velocidade comercial de pulverização de 5 m.s⁻¹ e uma de 2,5 m.s⁻¹. Cada célula de aplicação receberá uma dose conforme a altura média de plantas de algodão nessa célula;
4. Configurar no sistema de controle os parâmetros do controlador PID conforme sintonia obtida experimentalmente;

5. Após as aplicações, será apresentado um estudo estatístico com a média e o desvio padrão entre as doses desejadas e as utilizadas nas células de aplicação;

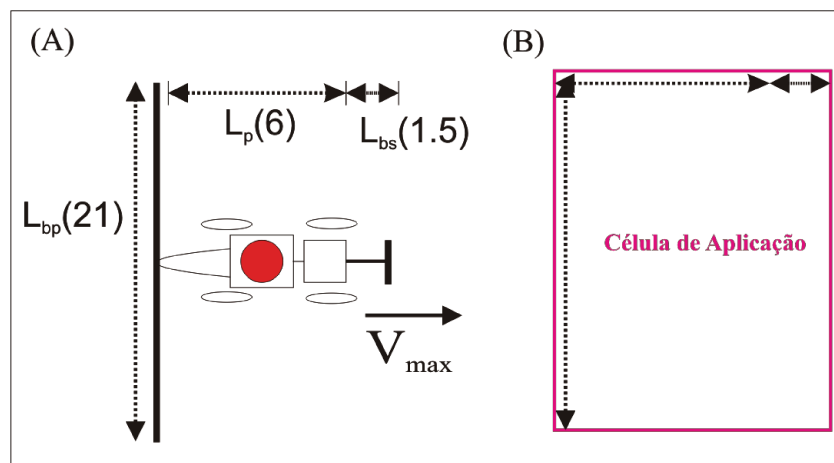


Figura 39 Ilustração de uma célula de aplicação para o Dispositivo VRT.

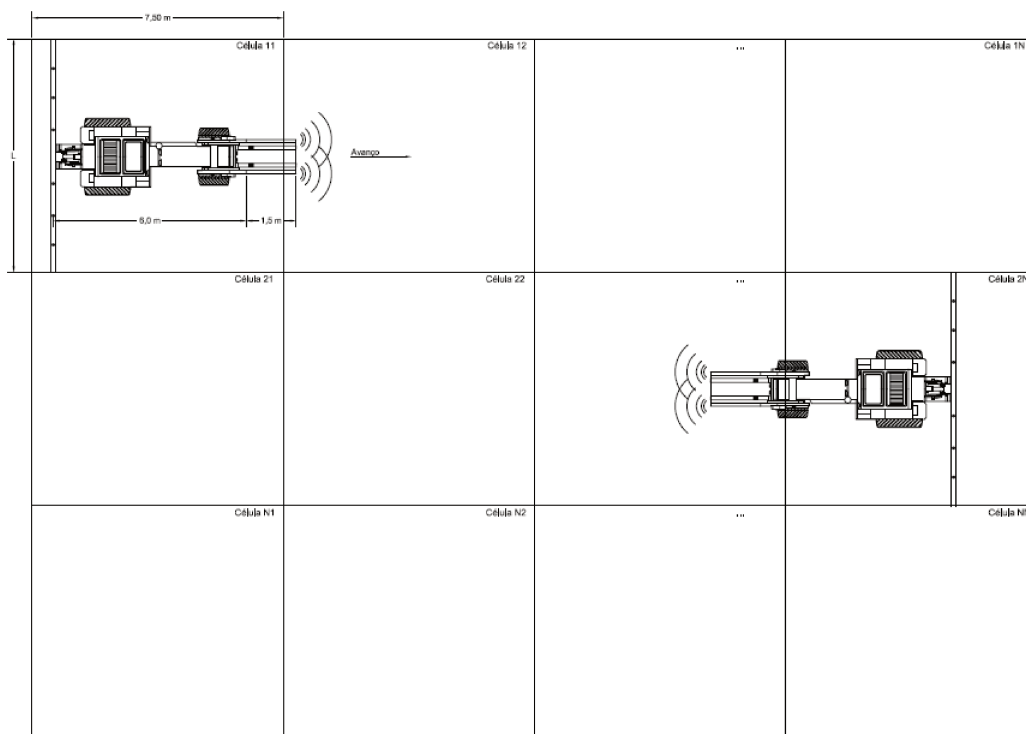


Figura 40 Ilustração de um conjunto de células de aplicação para o Dispositivo VRT.

Tabela 12 Regras de aplicação hipotéticas para validação do Dispositivo VRT.

Regra de Aplicação	Altura (cm)	Pressão (psi)	Dose
se ($A < 20$) então $d1 = 0P$	< 20	0	1
se ($20 < A < 30$) então $d2 = 20P$	> 20 e < 30	20	2
se ($30 < A < 40$) então $d3 = 30P$	> 30 e < 40	30	3
se ($40 < A < 50$) então $d4 = 40P$	> 40 e < 50	40	4
se ($50 < A < 70$) então $d5 = 50P$	> 50 e < 70	50	5
se ($A > 70$) então $d5 = 50P$	> 70	55	6

3.5.2 Simulação de Entupimento de Bico.

Para verificar a robustez do controle PID do Dispositivo VRT, serão simulados entupimentos dos bicos de forma lenta e rápida. Para tanto, a pressão na linha do circuito hidráulico será mantida em um valor constante e o registro de 1 bico será fechado simulando o entupimento. Espera-se que o controle PID irá reduzir o aumento de pressão introduzido na linha até o valor mantido inicialmente constante. Os valores de pressão e fluxo serão registrados em arquivo csv.

3.6 Testes Estáticos

3.6.1 Sinais de excitação do tipo degrau e degraus múltiplos

Para entender a dinâmica da planta em malha aberta e em malha fechada foram usados sinais de excitação do tipo degrau e do tipo degraus múltiplos, a partir de uma tela de software desenvolvida para esse propósito (Figura 41).

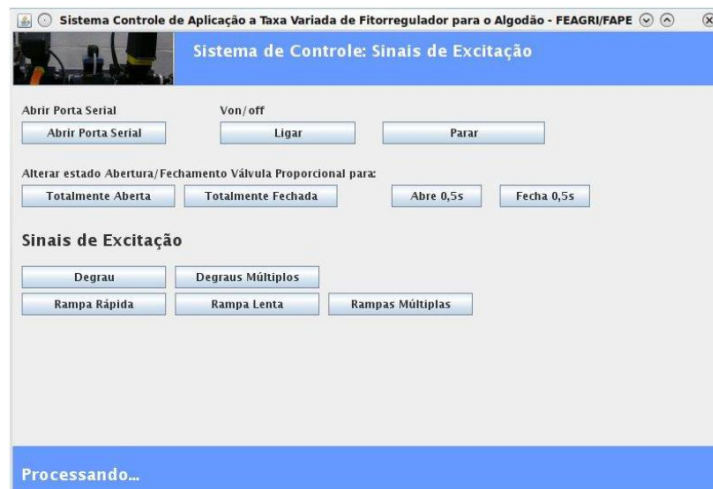


Figura 41 Tela de testes desenvolvida com sinais de excitação.

3.6.1.1 *Excitação do tipo degrau*

De forma a garantir que a válvula esteja sempre totalmente fechada e o sem valor residual de pressão ou fluxo, antes de iniciar o sinal de degrau, é enviado um sinal de atuação para fechá-la e aguardado 10 segundos sem fazer nada. A partir de então se inicia a excitação do tipo degrau, que consiste em enviar o sinal de atuação de 7 segundos no sentido de abertura, que mudará o estado da válvula proporcional para totalmente aberta. A partir de então, a válvula proporcional é mantida no estado totalmente aberta por 10 segundos, e logo em seguida é enviado um sinal de atuação de 7 segundos no sentido de fechamento da válvula proporcional de forma que ela volte ao estado inicial de totalmente fechada.

3.6.1.2 *Excitação do tipo degraus múltiplos*

De forma a garantir que a válvula esteja sempre totalmente fechada e o sem valor residual de pressão ou fluxo, antes de iniciar o sinal de degrau, é enviado um sinal de atuação para fechá-la e aguardado 10 segundos sem fazer nada. A partir de então se inicia a excitação do tipo degraus múltiplos, que consiste numa sequência de 14 degraus crescentes de pressão, seguido de 14 degraus decrescentes. Com a válvula proporcional totalmente fechada, o sinal parte de 0 segundo no sentido de abertura e é incrementado em 0.5 segundos a cada 10 segundos até chegar em 7 segundos (totalmente aberta). Nesse momento, mantém-se a válvula totalmente aberta por 10 segundos e em seguida, o sentido do sinal é alterado para

fechamento, sendo decrementado em 0.5 segundos a cada 10 segundos até chegar em 0 segundo (totalmente fechada).

Em determinados ensaios, a amplitude desses sinais ou até o mesmo seu ponto de partida podem variar, e quando cabível as modificações serão apontadas no texto.

3.6.2 Verificação de vazão do sensor de fluxo

Para a verificação dos valores medidos de vazão pelo sensor de fluxo instalado no comando de pulverização do Sistema Hidráulico, foram montadas balanças compostas por células de carga para a pesagem do insumo aplicado e usado o Spider para a aquisição de dados (Figura 42 e Figura 43).

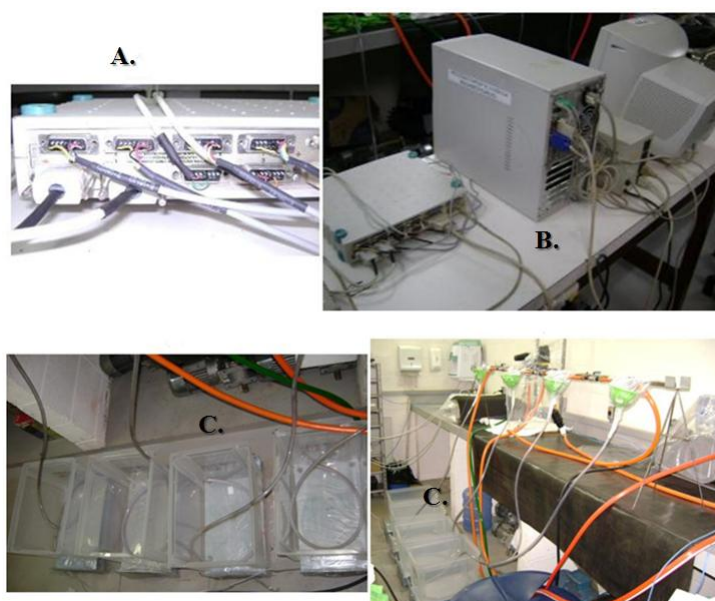


Figura 42 Arranjo entre Spider e balanças montadas com células de carga para a pesagem do insumo aplicado. A. e B. Spider; C. Balanças.



Figura 43 Interface configurada no software Catman do Spider para fazer a aquisição de dados das balanças.

No próximo capítulo, serão apresentados os resultados referentes à utilização dos materiais e métodos descritos de forma detalhada nesse capítulo, a fim de validar o dispositivo VRT. Sempre que necessário, serão feitas referencias aos itens e subitens descritos até aqui.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Além da demonstração e discussão de resultados obtidos sobre o desempenho do Dispositivo VRT, entende-se ainda, como resultados, todos os algoritmos implementados, os hardwares desenvolvidos, e os métodos usados para o seu desenvolvimento como um todo.

4.1 Sistema Hidráulico

4.1.1 Resultados dos ensaios realizados no LASAPF/ESALQ para os bicos VariTarget e suas pontas.

4.1.1.1 Ponta Laranja

Os dados de vazão detalhados das três repetições para os dois bicos VT com as pontas laranja estão disponíveis no Anexo A, seção 8.1, Tabela 28 e Tabela 29. De maneira sucinta a Tabela 13 apresenta esses dados, mostrando os valores de vazão média entre as repetições para cada bico e a vazão média e desvio padrão sobre esses valores. A Figura 44 ilustra esses valores médios. A Tabela 14 apresenta o percentual de variação entre os dados coletados e os informados no catálogo do fabricante para essa ponta. A Figura 45 ilustra essa variação.

Tabela 13 Desvio padrão do valor médio sobre a média de vazão da Ponta Laranja 1 e 2.

Ponta Laranja					
Pressão	Pressão	Vazão Média	Vazão Média	Vazão Média	Desvio Padrão
(bar)	(psi)	Ponta 1	Ponta 2		
		L.min ⁻¹	L.min ⁻¹	L.min ⁻¹	
1,03	15	0,4494	0,3980	0,4237	0,0363
1,38	20	0,5114	0,5724	0,5419	0,0431
1,72	25	0,5882	0,5377	0,5630	0,0357
2,07	30	0,8585	0,8070	0,8327	0,0364
2,41	35	1,1876	1,1818	1,1847	0,0041
2,76	40	1,7122	1,5723	1,6423	0,0989
3,10	45	1,8534	1,7556	1,8045	0,0692
3,45	50	1,9783	1,8640	1,9212	0,0808
3,79	55	2,1115	1,9756	2,0435	0,0961
4,14	60	2,2084	2,1243	2,1664	0,0595
4,48	65	2,3013	2,2330	2,2671	0,0483
4,83	70	2,4000	2,3102	2,3551	0,0635
5,17	75	2,4770	2,4267	2,4518	0,0356

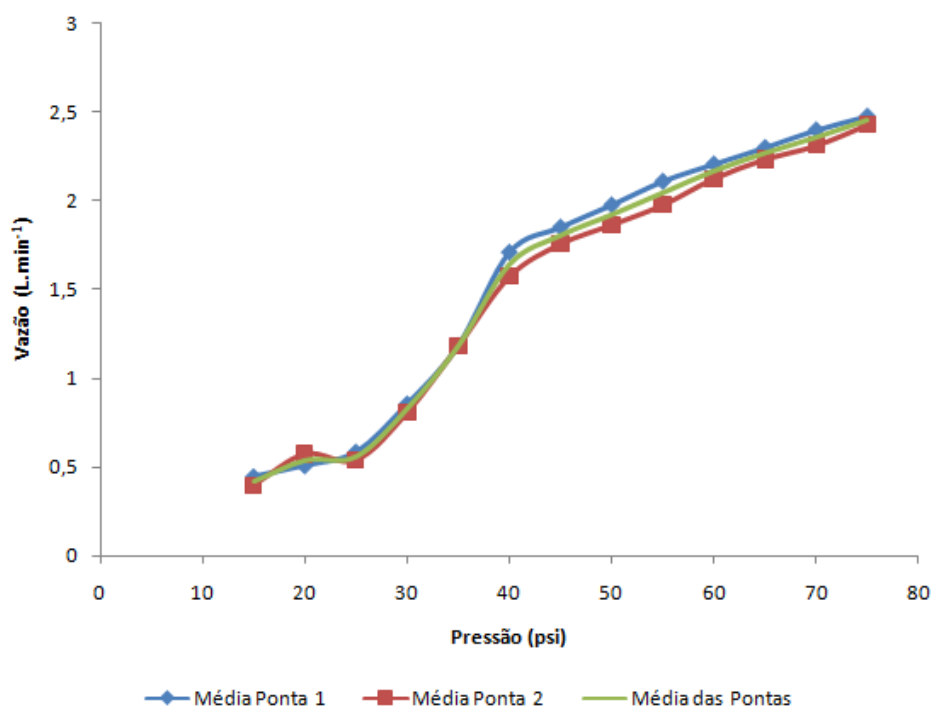


Figura 44 Valores médios obtidos, entre os dois bicos ensaiados com a ponta laranja.

Tabela 14 Percentual de variação entre os dados coletados e os dados informados no catálogo do fabricante para a Ponta Laranja. Valores em negrito foram interpolados.

Ponta Laranja				
Pressão	Pressão	Média Vazão	Vazão Catálogo	%
bar	psi	L.min ⁻¹	L.min ⁻¹	
1,03	15	0,4237	0,2650	59,91
1,38	20	0,5419	0,3785	43,16
1,72	25	0,5630	0,5678	-0,85
2,07	30	0,8327	0,7571	9,99
2,41	35	1,1847	1,1356	4,32
2,76	40	1,6423	1,5142	8,46
3,10	45	1,8045	1,7034	5,93
3,45	50	1,9212	1,7956	7,00
3,79	55	2,0435	1,8927	7,97
4,14	60	2,1664	2,0820	4,05
4,48	65	2,2671	2,1670	4,62
4,83	70	2,3551	2,2488	4,73
5,17	75	2,4518	2,6498	-7,47

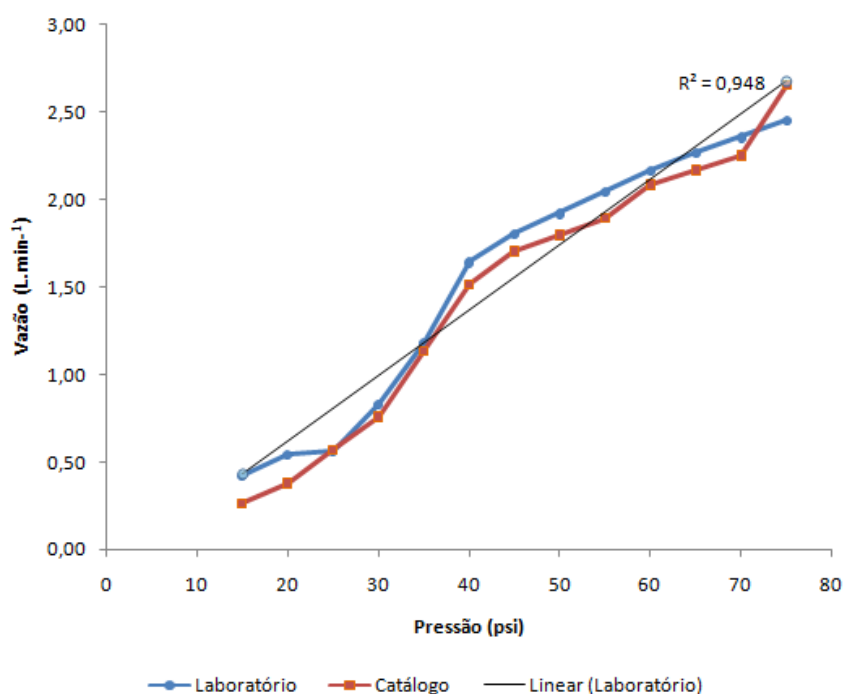


Figura 45 Dados de vazão versus pressão para os bicos de ponta laranja com 82% de confiança de que não haja diferença entre os mesmos (●) e dados do fabricante (■).

Através da análise estatística (teste t) da média entre os dois bicos ensaiados, observamos que há 82% de confiança de que não haja diferença entre os mesmos, semelhança entre os mesmos ocorre também para o desvio padrão (Tabela 13). A diferença máxima observada entre as duas pontas foi de 0,0989 para a pressão de 2,76 bar (40 psi). Contudo ao se comparar o valor médio de vazão das duas pontas com o valor de vazão fornecido pelo fabricante (Tabela 14), encontrou-se variação mínima de -0,85% para 1,72 bar (25 psi) até variação máxima de 59,9% para 1,03 bar (15 psi).

4.1.1.2 *Ponta Amarela*

Os dados de vazão detalhados das três repetições para os dois bicos VT com as pontas laranja estão disponíveis no Anexo A, seção 8.1, Tabela 30 e Tabela 31. De maneira sucinta, a Tabela 15 apresenta esses dados, mostrando os valores de vazão média entre as repetições para cada bico e a vazão média e desvio padrão sobre esses valores. A Figura 46 ilustra esses valores médios. A Tabela 16 apresenta o percentual de variação entre os dados coletados e os informados no catálogo do fabricante para essa ponta. A Figura 47 ilustra essa variação.

Tabela 15 Desvio padrão e média de vazão da Ponta Amarela 1 e 2.

Ponta Amarela					
Pressão	Pressão	Vazão Média	Vazão Média	Vazão Média	Desvio Padrão
(bar)	(psi)	Ponta 1	Ponta 2		
		L.min⁻¹	L.min⁻¹	L.min⁻¹	
1,03	15	0,4569	0,4553	0,4561	0,0011
1,38	20	0,5039	0,5372	0,5205	0,0235
1,72	25	0,5867	0,5904	0,5885	0,0026
2,07	30	0,8788	0,8818	0,8803	0,0021
2,41	35	1,4568	1,4966	1,4767	0,0281
2,76	40	2,0534	1,8266	1,9400	0,1604
3,10	45	2,4146	2,6593	2,5370	0,1730
3,45	50	2,6809	2,8659	2,7734	0,1308
3,79	55	2,8782	3,0191	2,9486	0,0997
4,14	60	3,0927	3,1985	3,1456	0,0748
4,48	65	3,2683	3,3784	3,3234	0,0779
4,83	70	3,4046	3,5072	3,4559	0,0725
5,17	75	3,5622	3,6784	3,6203	0,0821
5,52	80	3,7405	3,8099	3,7752	0,0490
5,86	85	3,9437	3,9491	3,9464	0,0039
6,21	90	4,1244	4,0794	4,1019	0,0318
6,55	95	4,3024	4,3382	4,3203	0,0253
6,89	100	4,4248	4,4822	4,4535	0,0406

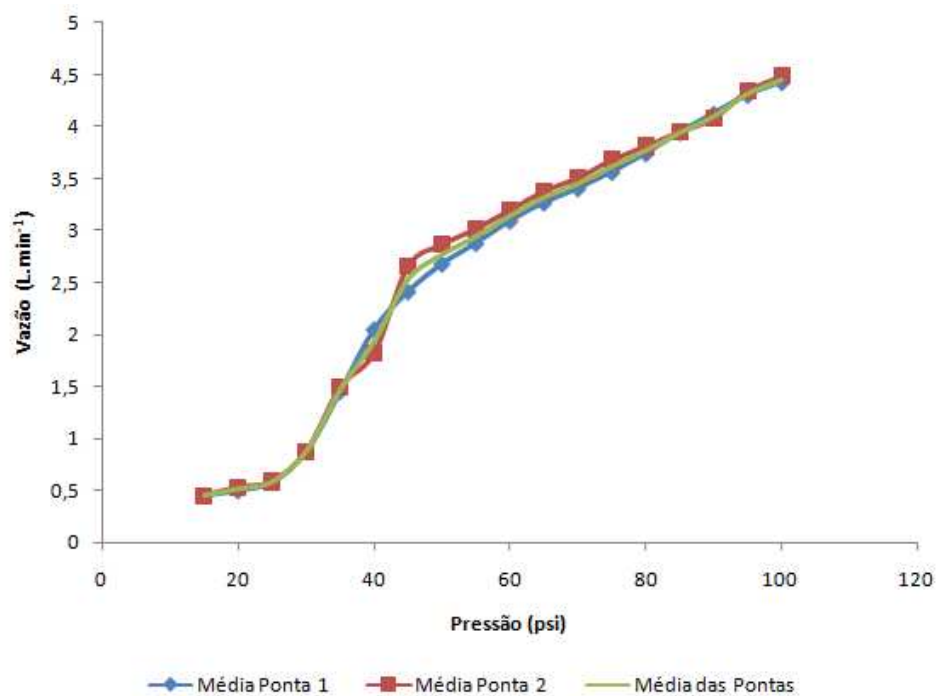


Figura 46 Valores médios obtidos, entre os dois bicos ensaiados com a ponta amarela.

Tabela 16 Percentual de variação entre os dados coletados e os dados informados no catálogo do fabricante para a Ponta Amarela. Valores em negrito foram interpolados.

Ponta Amarela				
Pressão	Pressão	Média Vazão	Vazão Catálogo	%
bar	psi	L.min ⁻¹	L.min ⁻¹	
1,03	15	0,4545	0,3795	19,76
1,38	20	0,5273	0,4382	20,34
1,72	25	0,6256	0,4899	27,70
1,86	27	0,6502	0,5670	14,67
2,07	30	0,9154	0,7570	20,92
2,21	32	0,9454	0,9460	-0,06
2,34	34	0,9745	1,1350	-14,14
2,41	35	1,4492	1,1516	25,85
2,62	38	1,5100	1,5140	-0,26
2,76	40	1,9506	1,5533	25,58
2,90	42	1,9988	1,8920	5,65
3,10	45	2,5249	1,9584	28,93
3,24	47	2,4393	2,2710	7,41
3,45	50	2,7458	2,3424	17,22
3,79	55	2,9220	2,6490	10,31
4,14	60	3,1117	2,7668	12,46
4,48	65	3,2881	3,0280	8,59
4,83	70	3,4188	3,1423	8,80
5,17	75	3,5812	3,2526	10,10
5,52	80	3,7323	3,3593	11,10
5,86	85	3,8981	3,4627	12,57
6,21	90	4,0642	3,7650	7,95
6,55	95	4,2707	3,8682	10,41
6,89	100	4,4225	4,5420	-2,63

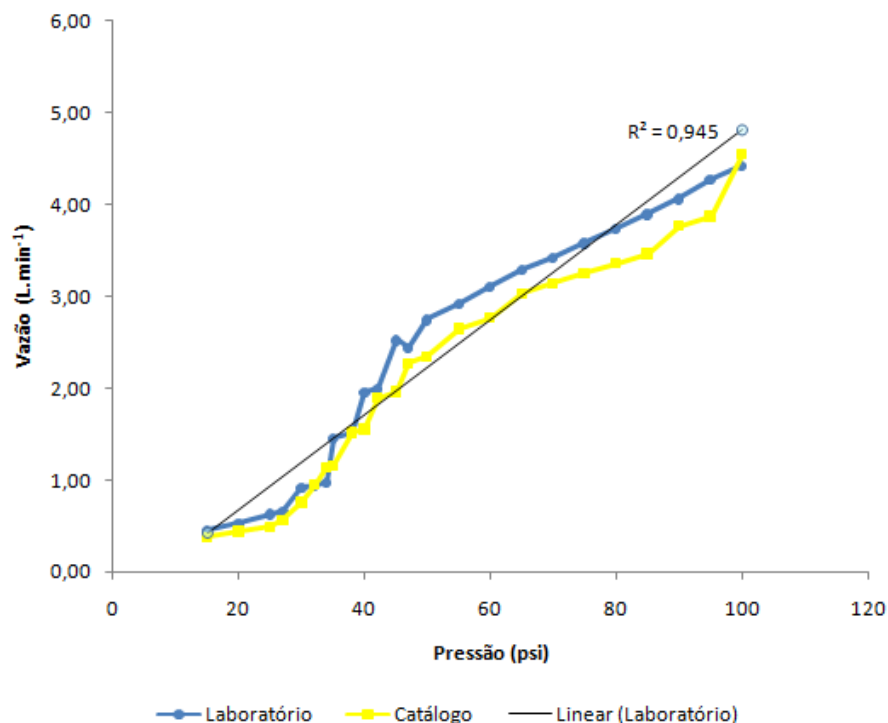


Figura 47 Dados de vazão versus pressão para os bicos de ponta amarela com 91% de confiança de que não haja diferença entre os mesmos (●) e dados do fabricante (■).

Através da análise estatística (teste t) da média entre os dois bicos ensaiados, observou-se que não existe diferença entre os mesmos com 91% de confiança, o mesmo ocorrendo para o desvio padrão (Tabela 15). A diferença máxima observada entre as duas pontas foi de 0,173 para a pressão de 3,1 bar (45 psi). Contudo ao se comparar o valor médio de vazão das duas pontas com o valor de vazão fornecido pelo fabricante (Tabela 16) encontrou-se variação mínima de -0,06% para 2,21 bar (32 psi) até variação máxima de 28,93% para 3,1 bar (45 psi).

4.1.1.3 Ponta azul

Os dados de vazão detalhados das três repetições para os dois bicos VT com as pontas azul estão disponíveis no Anexo A, seção 8.1, Tabela 32 e Tabela 33. De maneira sucinta, a Tabela 17 apresenta esses dados, mostrando os valores de vazão média entre as repetições para cada bico e a vazão média e desvio padrão sobre esses valores. A Figura 48 ilustra esses

valores médios. A Tabela 18 apresenta o percentual de variação entre os dados coletados e os informados no catálogo do fabricante para essa ponta. A Figura 49 ilustra essa variação.

Tabela 17 Desvio padrão do valor médio sobre a média de vazão da Ponta Azul 1 e 2.

Ponta Azul					
Pressão	Pressão	Vazão Média	Vazão Média	Vazão Média	Desvio Padrão
(bar)	(psi)	Ponta 1	Ponta 2		
		L.min ⁻¹	L.min ⁻¹	L.min ⁻¹	
1,03	15	0,5550	0,5840	0,5695	0,0205
1,38	20	0,6285	0,6685	0,6485	0,0283
1,72	25	0,7034	0,7458	0,7246	0,0300
2,07	30	1,0646	0,9394	1,0020	0,0885
2,41	35	1,7508	2,0679	1,9094	0,2243
2,76	40	2,5647	2,5166	2,5406	0,0340
3,10	45	3,1001	3,2231	3,1616	0,0869
3,45	50	3,6849	3,7271	3,7060	0,0298
3,79	55	4,0059	3,9630	3,9845	0,0303
4,14	60	4,3525	4,2663	4,3094	0,0610
4,48	65	4,5273	4,5370	4,5322	0,0068
4,83	70	4,7551	4,7521	4,7536	0,0021
5,17	75	5,1637	4,9403	5,0520	0,1580
5,52	80	5,3574	5,1165	5,2369	0,1703
5,86	85	5,5128	5,3261	5,4194	0,1320

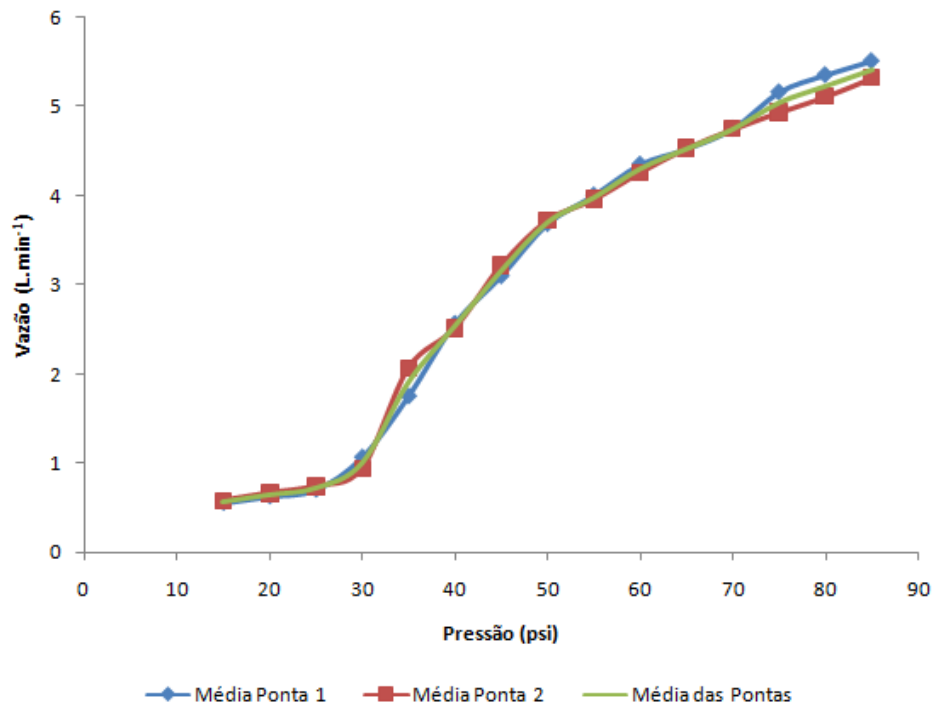


Figura 48 Valores médios obtidos, entre os dois bicos ensaiados com a ponta azul.

Tabela 18 Percentual de variação entre os dados coletados e os dados informados no catálogo do fabricante para a Ponta Azul. Valores em negrito foram interpolados.

Ponta Azul				
Pressão	Pressão	Média Vazão	Vazão Catálogo	%
bar	psi	L.min ⁻¹	L.min ⁻¹	
1,03	15	0,5695	0,5497	3,60
1,10	16	0,5882	0,5678	3,60
1,38	20	0,6485	0,6348	2,17
1,72	25	0,7246	0,7570	-4,28
2,07	30	1,0020	0,9463	5,89
2,21	32	1,0348	1,1355	-8,87
2,41	35	1,9094	1,5140	26,11
2,62	38	1,9895	1,8925	5,13
2,76	40	2,5406	1,9417	30,85
2,83	41	2,5722	2,2710	13,26
3,03	44	2,6646	2,6495	0,57
3,10	45	3,1616	2,6794	18,00
3,24	47	3,2311	3,0280	6,71
3,45	50	3,7060	3,1231	18,66
3,79	55	3,9845	3,2756	21,64
4,14	60	4,3094	3,7850	13,86
4,48	65	4,5322	4,5420	-0,22
4,83	70	4,7536	4,7135	0,85
5,17	75	5,0520	4,8789	3,55
5,52	80	5,2369	5,0389	3,93
5,86	85	5,4194	5,6775	-4,55

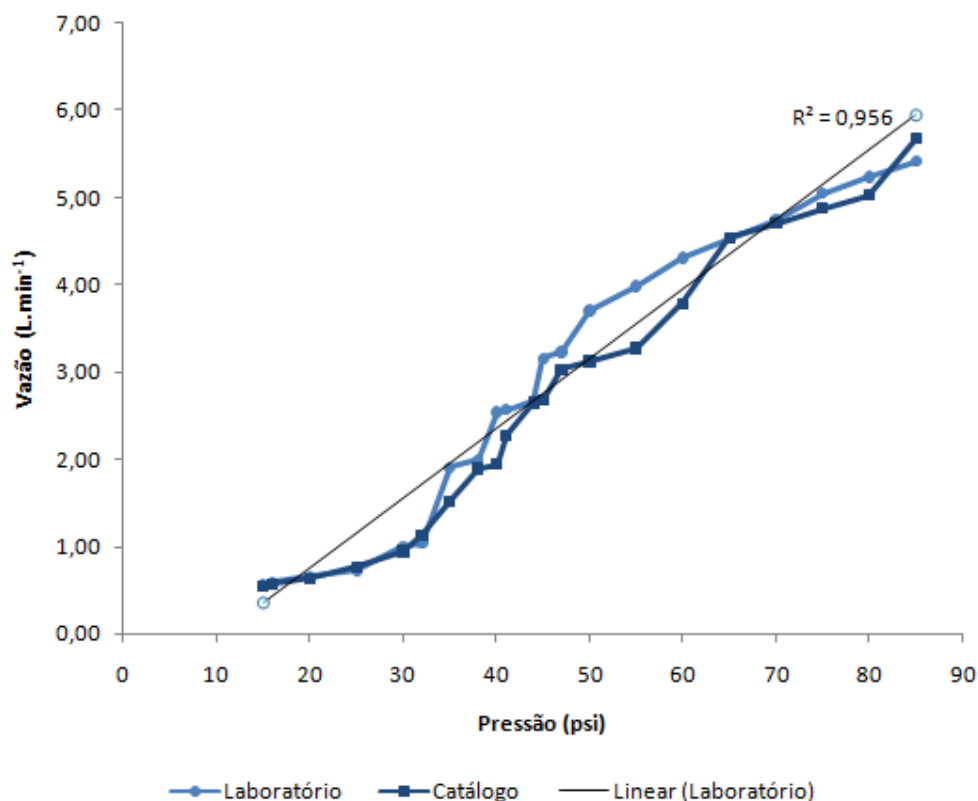


Figura 49 Dados de vazão versus pressão para os bicos de ponta azul com 97% de confiança de que não haja diferença entre os mesmos (●) e dados do fabricante (■).

Através da análise estatística (teste t) da média entre os dois bicos ensaiados, observou-se que não existe diferença entre os mesmos com 97% de confiança, o mesmo ocorrendo para o desvio padrão (Tabela 17). A diferença máxima observada entre as duas pontas foi de 0,2243 para a pressão de 2,41 bar (35 psi). Contudo ao se comparar o valor médio de vazão das duas pontas com o valor de vazão fornecido pelo fabricante (Tabela 18) encontrou-se variação mínima de -0,22% para 4,48 bar (65 psi) até variação máxima de 30,85% para 2,76 bar (40 psi).

4.1.1.4 Ponta verde

Os dados de vazão detalhados das três repetições para os dois bicos VT com as pontas verde, estão disponíveis no Anexo A, seção 8.1, Tabela 34 e Tabela 35 . De maneira sucinta, a Tabela 19 apresenta esses dados, mostrando os valores de vazão média entre as repetições para cada bico e a vazão média e desvio padrão sobre esses valores. A Figura 50 ilustra esses valores médios. A Tabela 20 apresenta o percentual de variação entre os dados coletados e os informados no catálogo do fabricante para essa ponta. A Figura 51 ilustra essa variação.

Tabela 19 Desvio padrão do valor médio sobre a média de vazão da Ponta Verde 1 e 2.

Ponta Verde					
Pressão	Pressão	Vazão Média	Vazão Média	Vazão Média	Desvio Padrão
		Ponta 1	Ponta 2		
(bar)	(psi)	L.min ⁻¹	L.min ⁻¹	L.min ⁻¹	
1,03	15	0,6166	0,6258	0,6212	0,0065
1,38	20	0,6933	0,6966	0,6950	0,0023
1,72	25	0,7908	0,8029	0,7969	0,0085
2,07	30	1,8186	0,9817	1,4002	0,5917
2,41	35	1,9095	1,8357	1,8726	0,0522
2,76	40	2,8325	2,7553	2,7939	0,0546
3,10	45	3,6869	3,5552	3,6211	0,0931
3,45	50	4,1204	4,2150	4,1677	0,0669
3,79	55	5,6791	4,6778	5,1784	0,7080
4,14	60	5,1445	4,9700	5,0573	0,1233
4,48	65	5,3986	5,4105	5,4045	0,0084
4,83	70	5,7903	5,7331	5,7617	0,0404
5,17	75	6,0964	5,9834	6,0399	0,0799
5,52	80	6,3061	6,2014	6,2537	0,0740
5,86	85	6,5367	6,4224	6,4796	0,0809

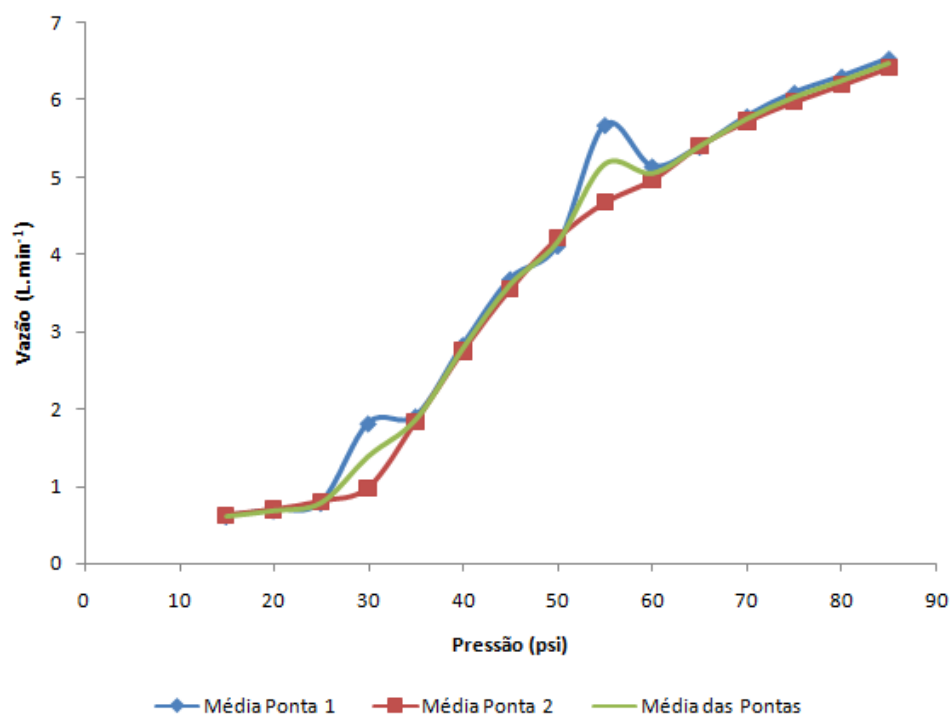


Figura 50 Valores médios obtidos, entre os dois bicos ensaiados com a ponta verde.

Tabela 20 Desvio padrão e média de vazão da Ponta Verde 1 e 2. Valores em negrito foram interpolados.

Ponta Verde				
Pressão	Pressão	Média Vazão	Vazão Catálogo	%
bar	psi	L.min ⁻¹	L.min ⁻¹	
1,03	15	0,6212	0,5497	13,00
1,10	16	0,6416	0,5678	13,00
1,38	20	0,6950	0,6348	9,49
1,72	25	0,7969	0,7570	5,27
2,07	30	1,4002	0,9463	47,97
2,21	32	1,4461	1,1355	27,35
2,41	35	1,8726	1,5140	23,69
2,62	38	1,9512	1,8925	3,10
2,76	40	2,7939	1,9417	43,89
2,83	41	2,8286	2,2710	24,55
3,03	44	2,9302	2,6495	10,60
3,10	45	3,6211	2,6794	35,14
3,24	47	3,7007	3,0280	22,22
3,45	50	4,1677	3,1231	33,45
3,79	55	5,1784	3,2756	58,09
4,14	60	5,0573	3,7850	33,61
4,48	65	5,4045	4,5420	18,99
4,83	70	5,7617	4,7135	22,24
5,17	75	6,0399	4,8789	23,80
5,52	80	6,2537	5,0389	24,11
5,86	85	6,4796	5,6775	14,13

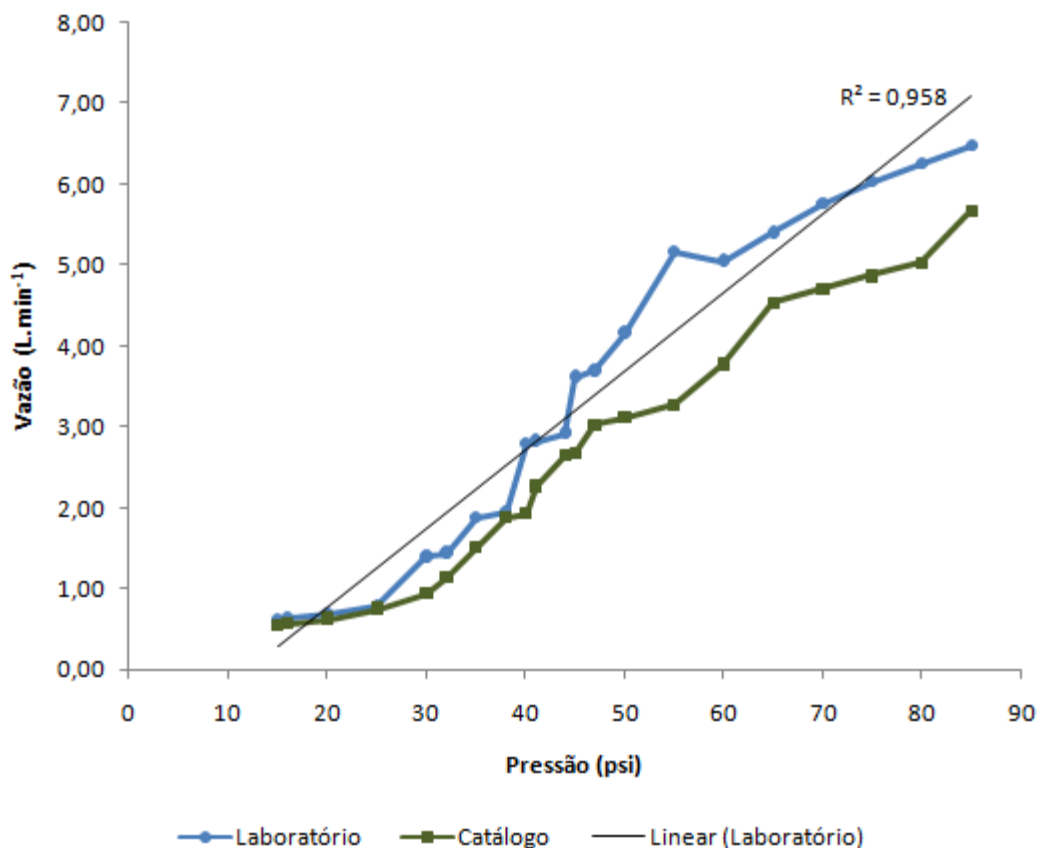


Figura 51 Dados de vazão versus pressão para os bicos de ponta verde com 83% de confiança de que não haja diferença entre os mesmos (●) e dados do fabricante (■).

Através da análise estatística (teste t) da média entre os dois bicos ensaiados, observamos que há 83% de confiança de que não haja diferença entre os mesmos, semelhança entre os mesmos ocorre também para o desvio padrão (Tabela 19). A diferença máxima observada entre as duas pontas foi de 0,708 para a pressão de 3,79 bar (55 psi). Contudo ao se comparar o valor médio de vazão das duas pontas com o valor de vazão fornecido pelo fabricante (Tabela 20), encontrou-se variação mínima de 3,10% para 2,62 bar (38 psi) até variação máxima de 58,09% para 3,79 bar (55 psi).

Pelos resultados obtidos dos ensaios no LASAPF/ESALQ observamos que para todas as pontas houve variações de vazão em relação ao fornecido pelo fabricante, entretanto, a média entre as repetições e os desvios para os dados coletados somente entre as pontas apresentaram pouca diferença. Desta forma pode-se concluir que estes bicos podem ser

utilizados neste trabalho, observando que os mesmos devem ser calibrados individualmente antes de serem utilizados principalmente na fase de desenvolvimento do projeto do dispositivo VRT.

4.1.2 Placa de comando

O circuito eletrônico confeccionado com o microcontrolador PIC18F452 trabalhou adequadamente tanto no processamento dos dados dos sensores de pressão e fluxo como na atuação nas válvulas proporcional e on/off. Vale ressaltar que os Leds usados para indicar os estados das válvulas foram de grande importância para a validação desse circuito e para o desenvolvimento da tela da interface de teste, pois eles permitiam com eficiência acompanhar de forma visual a resposta desse circuito aos comandos enviados pela interface de teste. Houve dois problemas a serem contornados durante os testes com esse circuito eletrônico: o primeiro consistia em configurar o pacote de comunicação serial oficial do JAVA para o Linux; e o segundo foi em implementar a verificação de integridade – *checksum* – do protocolo ZigBee. O primeiro caso foi difícil de resolver devido à carência de documentos orientadores na literatura consultada e por isso foi necessário um estudo aprofundado desse pacote e bastante tempo despendido até entender a forma de fazer a configuração adequada. No segundo problema, chegou-se a desconfiar que a grande perda de pacotes na comunicação entre a interface de testes com o circuito eletrônico era algum problema de ordem eletrônica, entretanto, tratava-se de uma implementação inconsistente de *checksum* na interface de teste. Após correção da implementação do *checksum* a comunicação se deu adequadamente com poucas perdas de pacotes.

4.1.3 Testes Estáticos

4.1.3.1 Pressão obtida com a variação do tempo de comando sobre a válvula proporcional

Para conhecer a pressão na barra de pulverização em função do tempo de comando aplicado sobre a válvula proporcional, realizou-se um teste estático que consistiu em aplicar tempos de comando constantes, na faixa de 0,5 s a 7 s e na medição da pressão correspondente após sua estabilização. A Tabela 21 apresenta os resultados das pressões obtidas, ao variar o tempo de comando de 0,5 em 0,5 s, tanto no regime crescente-abertura como no decrescente-fechamento com a respectiva diferença, média e desvio.

Tabela 21 Pressão obtida a partir de variações constantes no tempo de comando sobre a válvula proporcional nos regimes crescente e decrescente.

Tempo (s)	Pressão (PSI)				Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
	Regime Crescente	Regime Decrescente	Diferença	Média		
0,50	0,005	0,003	0,001	0,004	0,001	0,218
1,00	0,019	0,013	0,006	0,016	0,004	0,265
1,50	0,034	0,024	0,010	0,029	0,007	0,244
2,00	0,080	0,216	-0,136	0,148	0,096	0,650
2,50	0,384	0,600	-0,216	0,492	0,153	0,310
3,00	0,872	1,216	-0,344	1,044	0,243	0,233
3,50	1,760	2,280	-0,520	2,020	0,368	0,182
4,00	3,300	4,016	-0,716	3,658	0,506	0,138
4,50	6,570	8,192	-1,622	7,381	1,147	0,155
5,00	16,220	17,016	-0,796	16,618	0,563	0,034
5,50	27,610	27,240	0,370	27,425	0,262	0,010
6,00	48,860	47,096	1,764	47,978	1,247	0,026
6,50	54,344	52,632	1,712	53,488	1,211	0,023
7,00	59,528	59,528	0,000	59,528	0,000	0,000

A Figura 52 mostra o gráfico do comportamento da pressão em função do tempo de comando.

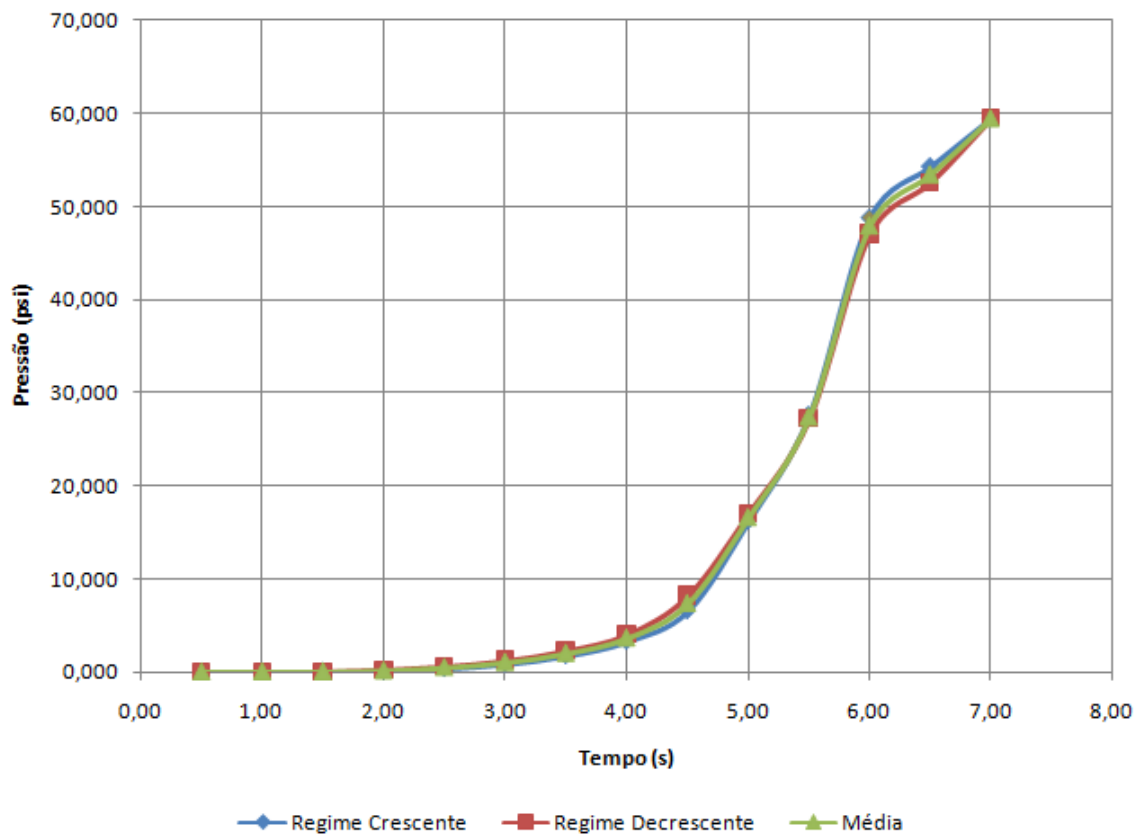


Figura 52 Comportamento da pressão a partir de variações constantes no tempo de comando sobre a válvula proporcional nos regimes crescente e decrescente.

Pela análise dos dados, fica evidente a ocorrência do fenômeno histerese e que a pressão não é proporcional para toda a amplitude do tempo de comando (0 a 7s). Observa-se que: (i) até o tempo de comando de 2,5 s a pressão é praticamente nula (valor médio de 0,004 até 0,492 e desvio padrão de 0,001 até 0,153); (ii) com 7 s obteve-se uma pressão máxima de aproximadamente 60 psi; (iii) na maioria dos valores medidos o desvio padrão foi inferior a 0,6, sendo superior a esse valor para as tensões de comando 4,5, 6 e 6,5 s com desvios aproximados de 1,15, 1,3 e 1,2 respectivamente.

Para um controlador de pressão em malha aberta, a curva de calibração poderia ser representada ajustando-se um polinômio para os valores médios de pressão medidos nos dois regimes. Um polinômio de 5ª ordem com correlação de 0,99 seria:

$$\text{Pressão [psi]} = -0,120479.TC^5 + 2,014984.TC^4 - 11,527527.TC^3 + 28,454735.TC^2 - 29,067069.TC + 9,196426$$

onde TC representa o valor do tempo de comando.

A (Figura 53) mostra o gráfico com polinômio ajustado.

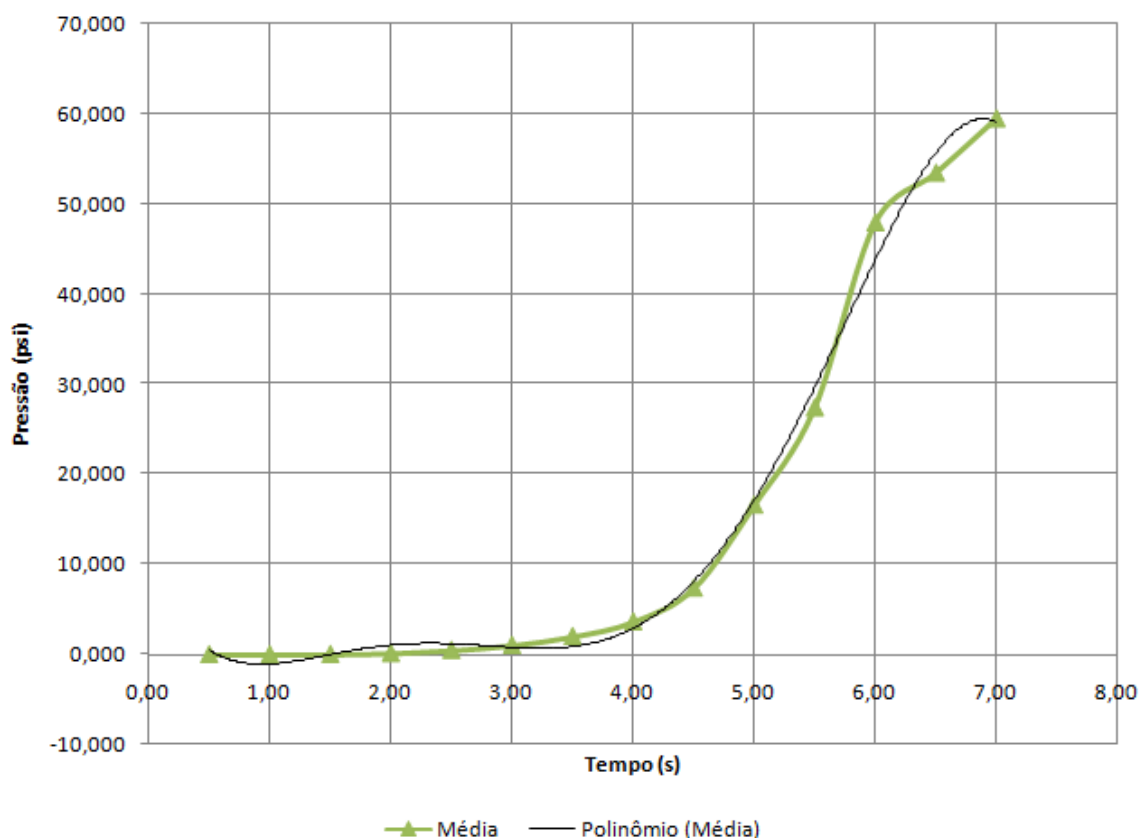


Figura 53 Polinômio de aproximação da pressão em função do tempo de comando.

Como a pressão mínima de catálogo das pontas VT é de 15 psi, por haver uma região onde o ganho de pressão é praticamente nulo (até o tempo de 2,5s) e pela falta de proporcionalidade para toda a amplitude de tempo de comando (0 a 7s), recomenda-se que um controlador em malha aberta ou em malha fechada deve evitar de enviar sinais de atuação na válvula proporcional na região de atuação inferior a 15 psi. Nesse sentido, a estratégia consiste em antes de iniciar uma aplicação de regulador de crescimento, elevar a pressão de pulverização na planta em 15 psi (os ganhos do sinal de atuação do controlador serão maiores)

e, caso seja necessário não efetuar aplicação em determinadas regiões da lavoura, ao invés de zerar a pressão fechando totalmente essa válvula, ambos os controladores deveriam fechar a válvula on/off para que dessa forma não estejam em uma região de atuação onde o ganho de pressão é praticamente nulo (implicando em um tempo de resposta menor).

A partir de 4,5 s (7,38 psi), notam-se maiores ganhos e proporcionalidade entre o tempo de comando e a pressão obtida, de forma que é possível encontrar a equação de uma reta que melhor ajuste essa relação e, conseqüentemente, poder-se-ia ser usada como a equação de calibração de um controlador em malha aberta. A equação da reta obtida possui correlação de 0,97 e está apresentada logo a seguir:

$$\text{Pressão [psi]} = 22,39 \cdot \text{TC} - 93,36$$

A Figura 54 mostra o gráfico com a reta ajustada.

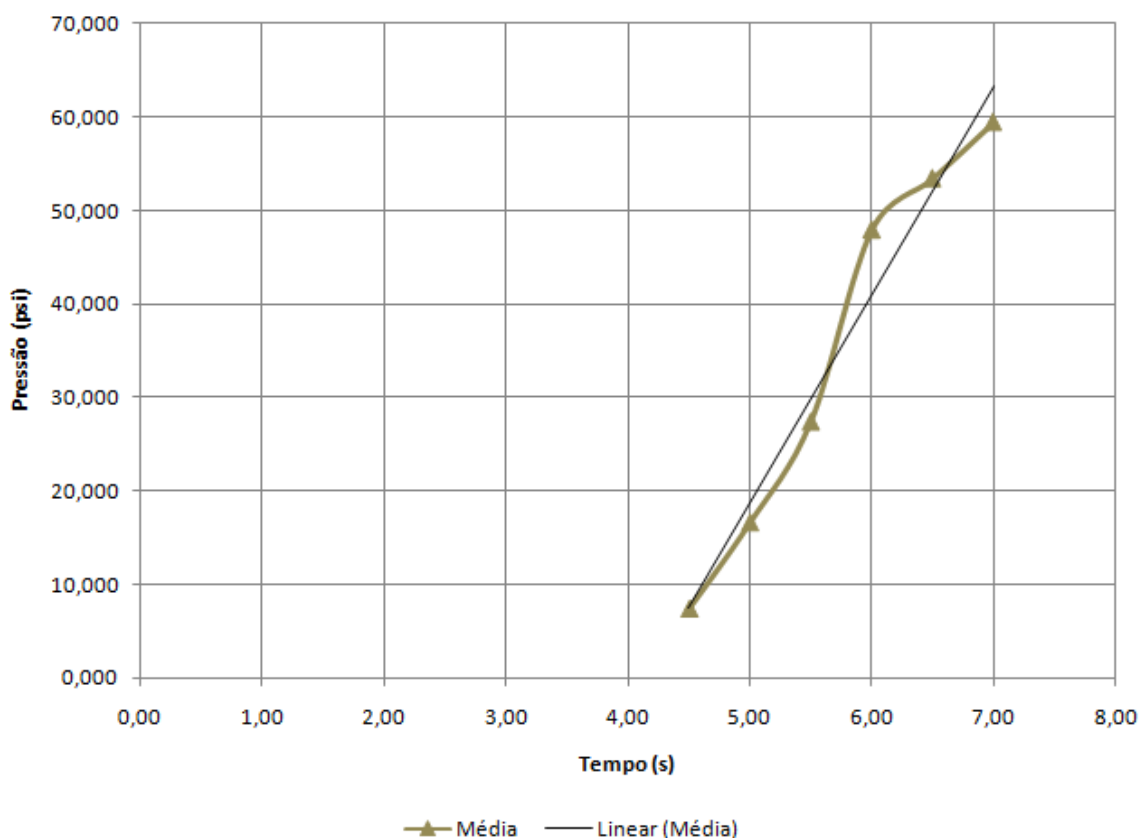


Figura 54 Reta ajustada para pressão obtida a partir do tempo de 4,5 s.

4.1.3.2 Precisão do Sensor de Fluxo

Para verificar a precisão do sensor de fluxo e se o fator de conversão de 105 Impulsos/Litro estava consistente, realizou-se um teste estático que consistiu em manter valores de pressão na faixa de 15 até 55psi. Após a estabilização desses valores, iniciava-se a medição do fluxo pelas células de carga e pelo sensor de fluxo por 1 minuto, para duas pontas laranjas. Para estabilizar o valor de pressão, antes do início do teste, usou-se o sistema de controle PID ajustado (item 4.3.2) com uma faixa de erro permitido de até 1 psi. A Tabela 22 apresenta os dados obtidos com informação de média e desvio.

Tabela 22 Coleta de vazão pelo sensor de fluxo e pelas células de carga para duas pontas laranjas.

Pressão (psi)		Células de Carga			Sensor de Fluxo		Célula de Carga x Sensor de Fluxo	
Média	Desvio	Vazão	Vazão	Vazão	Vazão (L/min)	Total	Média	Desvio
	Padrão	(L/min)	(L/min)	(L/min)			entre	
		Ponta 1	Ponta 2	Total			Totais	Padrão
15,21	0,04	0,65	0,65	1,30	0,00		*	*
19,07	0,04	0,86	0,79	1,66	0,00		*	*
24,50	0,05	1,67	1,64	3,31	3,20		3,26	0,08
29,31	0,05	2,07	2,23	4,30	4,34		4,32	0,03
35,07	0,06	2,28	2,48	4,76	4,80		4,78	0,03
40,16	0,06	2,46	2,62	5,08	5,03		5,05	0,04
45,89	0,06	2,66	2,84	5,50	5,94		5,72	0,31
49,41	0,07	2,79	2,98	5,78	6,17		5,97	0,28
54,59	0,07	2,95	3,17	6,12	6,63		6,37	0,36

* O Sensor de Fluxo não mediu a vazão

Pela análise dos dados, conclui-se que: a vazão medida pelo sensor de fluxo é proporcional à vazão medida pelas células de carga com desvio padrão inferiores a 0,4; o fator de conversão fornecido para o sensor de fluxo está consistente; na especificação técnica do sensor de Fluxo está descrito que ele é capaz de medir a vazão mínima de 1 L.min⁻¹, porém, para as pressões médias de 15,21 e 19,07 psi, com vazões de 1,3 e 1,66 L.min⁻¹ respectivamente (medidas pelas células de carga), ele não mediu a vazão.

4.2 Sistema Ultrassom

As principais melhorias desse novo circuito eletrônico em relação ao proposto por QUEIROS et al. (2005) permitiram:

- Aumento do poder de processamento com o uso do microcontrolador PIC18F452 – PIC;
- Eliminação de grande quantidade de cabos entre os sensores ultrassom e o sistema de controle com a implementação da comunicação sem fio usando o módulo ZigBee XPro;
- Redução do tamanho do pacote de dados entre os sensores ultrassom e o sistema de controle com o cálculo da média das alturas sendo efetuadas pelo microcontrolador PIC;
- Flexibilização para adicionar mais sensores ultrassom e adoção de um protocolo padrão, com o uso de sensores SRF10 que suportam o protocolo I2C;
- Acompanhamento visual dos comandos e leituras dos sensores via inclusão de um Display, facilitando os testes e a fase de desenvolvimento da tela de interface de teste.

A tela de interface de teste permitiu testar de forma adequada a comunicação com esse circuito eletrônico. Observou-se que o pacote gráfico JChart2D conseguiu atualizar a área gráfica a uma taxa superior aos 20 milissegundos (de sua especificação teórica) requeridos em fase de projeto.

4.2.1 Testes Estáticos

Para verificar a precisão dos sensores SRF10, realizou-se dois testes estáticos: o primeiro consistiu em coletar por 10 segundos a altura de uma mesma planta de algodão; o segundo consistiu em variar a distância dos sensores em relação à planta e coletar por 10 segundos a altura de uma mesma planta de algodão, para verificar se ocorre alguma variação na altura medida.

No primeiro teste, considerando a barra com 90 cm de altura em relação ao solo, os dois sensores obtiveram o mesmo valor médio de altura de 69 cm de uma planta com a folha mais alta em aproximadamente 72 cm. Já o teste com a variação da altura da barra de 90 cm para 160 cm também não apresentou diferença entre os valores médios medidos pelos dois sensores, entretanto a leitura média foi de 71 cm. Pelos resultados obtidos, pode-se concluir que os dois sensores tiveram a mesma precisão e acurácia em relação às medidas de altura, entretanto ao aumentar a distância do sensor em relação à planta de 21 cm para 131 cm, ocorreu uma melhora na medida da altura e isso se deve ao fato da região do cone do ultrassom ter aumentado.

4.3 Sistema de Controle

4.3.1 Desenvolvimento

A organização das classes Java em pacotes permitiram de forma fácil, a inclusão ou criação de novas funcionalidades no Sistema de Controle, sempre que necessário durante a fase de desenvolvimento. Outra vantagem foi a utilização do pacote gráfico JChart2D para visualização gráfica dos dados de pressão e fluxo, e do uso de botões com as cores padronizadas em rosa, para indicar campos de visualização dos dados e informações oriundas do comando de pulverização ou do cálculo das ações do controle PID, pois com esses recursos de visualização o modelo de interface ficou simples, intuitivo e consequentemente mais fácil de observar as informações.

O ambiente de desenvolvimento de código aberto Netbeans facilitou a codificação das classes Java e ainda, demonstrou ser: um ambiente robusto com recursos sofisticados para a verificação de inconsistências de programação – *debugs* –; produtivo para a construção da interface gráfica via recursos de arrastar e soltar os objetos de interface – *drag and drop* –, e customização gráfica dos objetos de interface.

O sistema operacional de código aberto Linux, permitiu total controle sobre os processos aplicativos em execução e em nenhum dos testes durante e após a fase de desenvolvimento do Sistema de Controle ocorreu travamento desse sistema operacional.

4.3.2 Modelagem da dinâmica do Processo e parâmetros do controlador PID

4.3.2.1 *Excitação do tipo degrau*

A Figura 55 mostra o comportamento da pressão na planta ao submeter o sinal de degrau de 7s (enviado no tempo de 0 s) na válvula proporcional e a Tabela 23 contém os dados obtidos com informações de tempo morto, tempo de subida/descida para os critérios de 0 a 100% e de 10 a 90%, constante de tempo de subida/descida e o ganho alcançado na subida/descida.

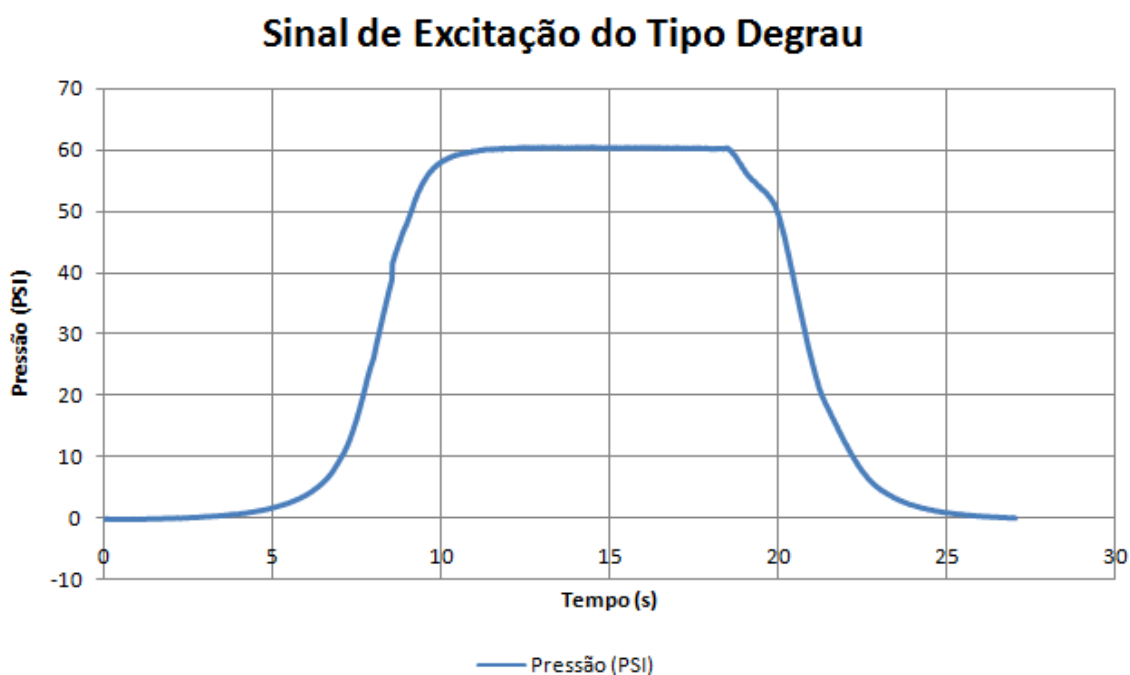


Figura 55 Sinal de excitação do tipo degrau, partindo do tempo de comando de 0 até 7 s sobre a planta e expresso em pressão.

Tabela 23 Dados obtidos sobre a dinâmica do processo através da excitação em degrau em malha aberta.

Regime	Tempo morto (s)	Tempo (s) de subida/descida ¹	Tempo (s) de subida/descida ²	Constante de tempo (s) ³	Ganho (psi/s)
Regime Crescente - RC	1,42	9,78	2,86	7,06	6,13
Regime Drescente - RD	0,12	8,48	3,14	2,62	7,08
RC - RD	1,3	1,3	-0,28	4,44	-0,94

1 critério de 0 a 100% do valor final [0 a 60 psi subindo ou 60 a 0 psi descendo]

2 critério de 10 a 90% do valor final [6 a 54 psi subindo e 54 a 6 descendo]

3 tempo para alcançar 63% do valor final [37,8 psi subindo e 22,2 descendo]

Pela análise dos dados obtidos, observa-se que: (i) o sinal de degrau em regime decrescente foi mais rápido em quase todos os critérios analisados, exceto para o tempo de subida/descida usando o critério de 10 a 90%, onde o regime crescente superou em 0,28 s; (ii) é evidente o fenômeno de histerese, e isso dificulta a atuação do controlador, pois um tempo de comando enviado pode não corresponder à pressão desejada.

A Figura 56 acrescenta a pressão desejada em relação à pressão obtida por meio da reposta de pressão da planta ao sinal de degrau anteriormente analisado. Para o cálculo da pressão desejada foi usado o polinômio de 5ª ordem, ajustado no item 4.1.3.1, como curva de calibração de um controlador em malha aberta. Observa-se claramente que a pressão obtida não acompanha a pressão desejada.

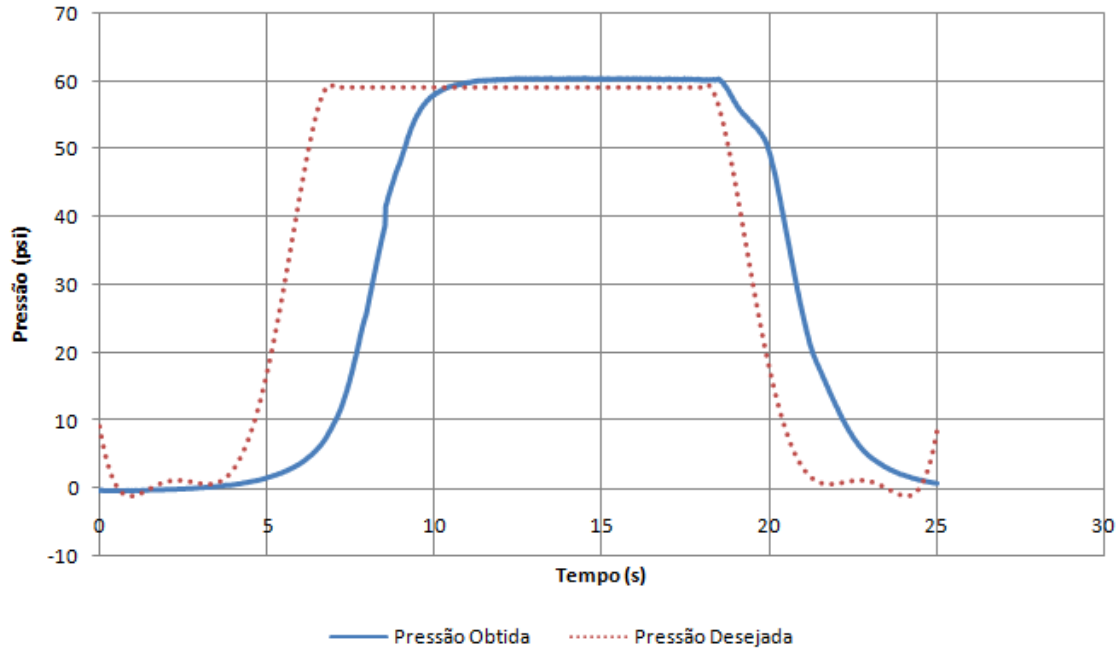


Figura 56 Pressão desejada x pressão obtida, simulando um controlador em malha aberta.

Conforme análise em 4.1.3.1, é recomendado que o controlador em malha fechada atue na válvula proporcional com sinais de atuação a partir da pressão mínima de trabalho das pontas VT que é de 15 psi, de forma a aumentar o ganho e melhorar o tempo de resposta do sistema. Nesse sentido, para a obtenção dos parâmetros (K, T e L) que representam a dinâmica do processo, procedeu-se com sinais de excitação do tipo degrau partindo 15, 30 e 45 psi (Figura 57, Tabela 24, Figura 58, Tabela 25, Figura 59, e Tabela 26) e retirando os valores médios desses parâmetros, conforme metodologia descrita por CAMPOS e TEIXEIRA (2006).

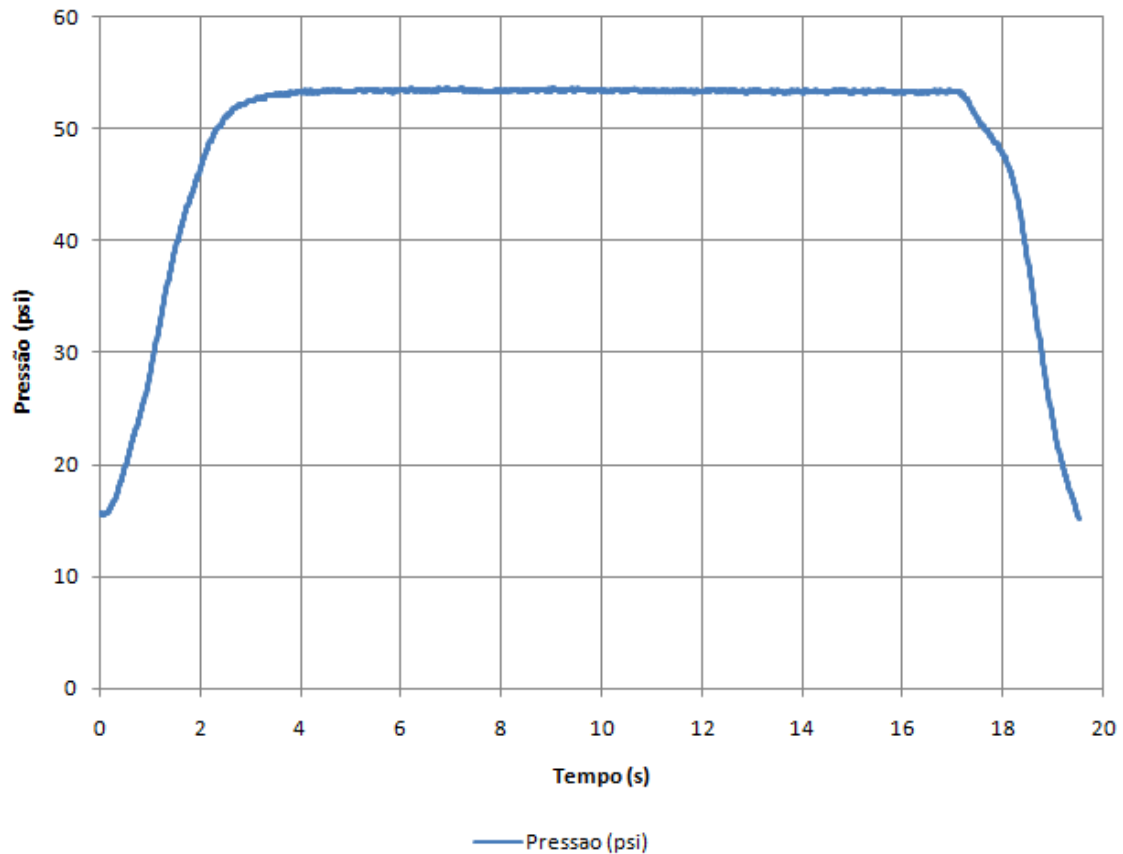


Figura 57 Sinal de excitação do tipo degrau em malha aberta partindo de 15 psi.

Tabela 24 Dados obtidos sobre a dinâmica do processo através da excitação em degrau em malha aberta partindo de 15 psi.

Regime	Tempo morto (s)	Tempo (s) de subida/descida ¹	Tempo (s) de subida/descida ²	Constante de tempo (s) ³	Ganho (psi/s)
Regime Crescente - RC	0,04	3,36	1,88	1,48	11,61
Regime Dscendente - RD	0,08	2,40	1,84	1,66	16,25
RC - RD	-0,04	0,96	0,04	-0,18	-4,64

1 critério de 0 a 100% do valor final [15 a 54 psi subindo ou 54 a 15psi descendo]

2 critério de 10 a 90% do valor final [18,9 a 50,1 psi subindo e 50,1 a 18,9 descendo]

3 tempo para alcançar 63% do valor final [39,57 psi subindo e 29,43 descendo]

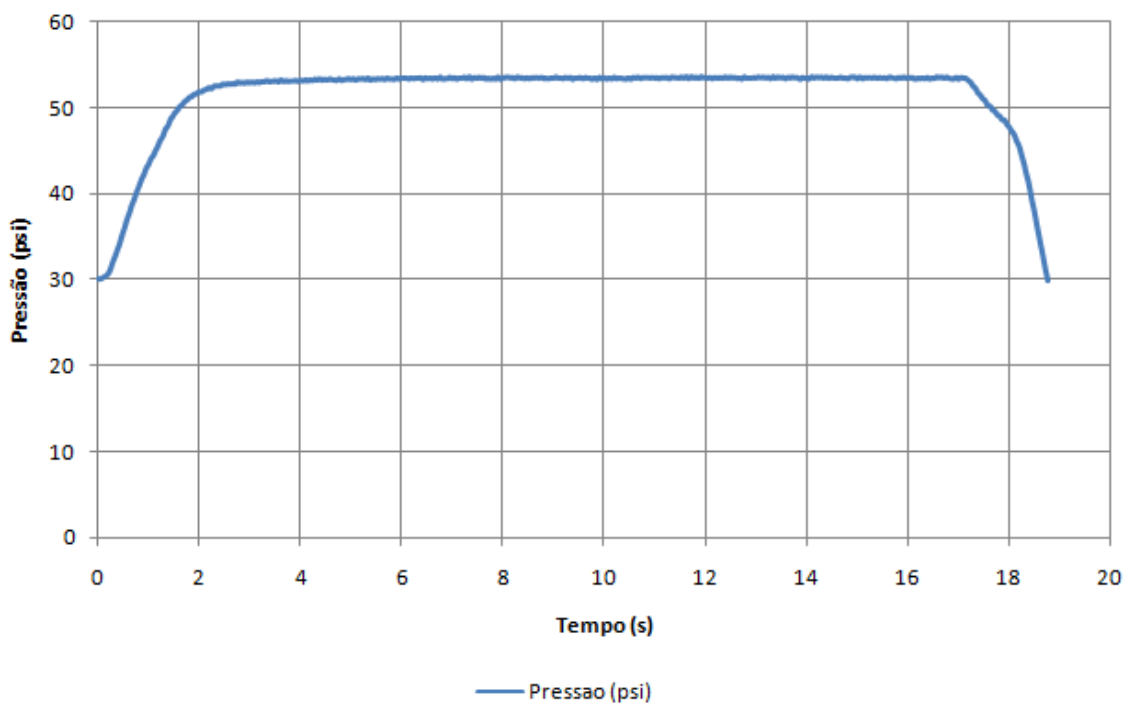


Figura 58 Sinal de excitação do tipo degrau em malha aberta partindo de 30 psi.

Tabela 25 Dados obtidos sobre a dinâmica do processo através da excitação em degrau em malha aberta partindo de 30 psi.

Regime	Tempo morto (s)	Tempo (s) de subida/descida ¹	Tempo (s) de subida/descida ²	Constante de tempo (s) ³	Ganho (psi/s)
Regime Crescente - RC	0,04	2,98	1,12	0,64	8,05
Regime Dresente - RD	0,10	1,60	0,76	1,08	15,00
RC - RD	-0,06	1,38	0,36	-0,44	-6,95

1 critério de 0 a 100% do valor final [30 a 54 psi subindo ou 54 a 30 psi descendo]

2 critério de 10 a 90% do valor final [31,4 a 48,6 psi subindo e 48,6 a 31,4 psi descendo]

3 tempo para alcançar 63% do valor final [38,82 psi subindo e 45,18 descendo]

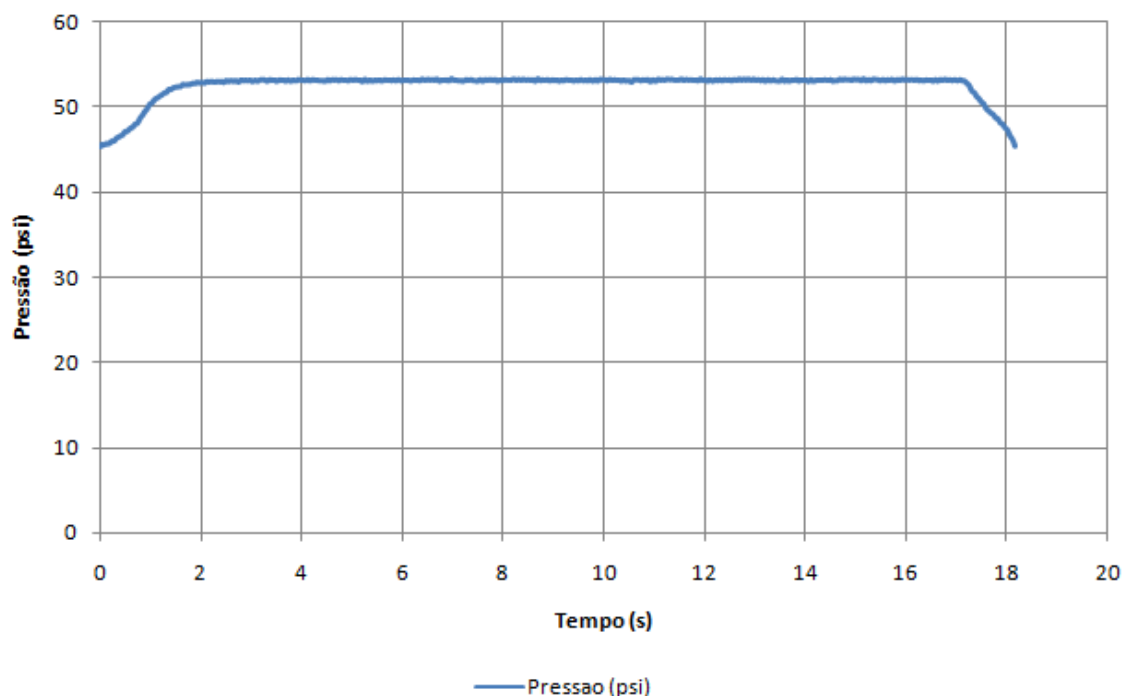


Figura 59 Sinal de excitação do tipo degrau em malha aberta partindo de 45 psi.

Tabela 26 Dados obtidos sobre a dinâmica do processo através da excitação em degrau em malha aberta partindo de 45 psi.

Regime	Tempo morto (s)	Tempo (s) de subida/descida ¹	Tempo (s) de subida/descida ²	Constante de tempo (s) ³	Ganho (psi/s)
Regime Crescente - RC	0,04	2,08	1,12	1,00	4,33
Regime Decrescente - RD	0,14	1,00	0,70	0,68	9,00
RC - RD	-0,10	1,08	0,42	0,32	-4,67

¹ critério de 0 a 100% do valor final [45 a 54 psi subindo ou 54 a 45 psi descendo]

² critério de 10 a 90% do valor final [45,9 a 52,1 psi subindo e 52,1 a 45,9 psi descendo]

³ tempo para alcançar 63% do valor final [50,67 psi subindo e 48,33 descendo]

Pelos dados obtidos, para os sinais de degrau, partindo de 15, 30 e 45 psi, conclui-se que: em todos os sinais o tempo morto foi maior para o regime decrescente; no tempo de subida e descida, usando o critério de 0 a 100% ou o critério de 10 a 90%, o regime

decrecente foi mais rápido; a constante de tempo do regime crescente foi superior quando o sinal de degrau partiu de 15 e 30 psi, sendo inferior ao regime decrescente somente em 45 psi, e isto ocorreu possivelmente por causa histerese acentuada nessa região.

A Tabela 27 contém informações dos valores médios, desvio padrão, mínimo e máximo, retirado dos resultados obtidos dos degraus partindo de 15, 30 e 45 psi analisados anteriormente. Pode-se concluir que na média, a dinâmica do processo é conhecida pelo tempo morto L igual a 0,07 s, pela constante de tempo de 1,09 s ganho de 10,71 psi/s. Esses valores foram usados para a modelagem dos parâmetros do controlador PID do dispositivo desenvolvido nesse trabalho.

Tabela 27 Valores médios dos parâmetros da dinâmica do processo K, L e T.

Dinâmica	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Tempo morto L (s)	0,07	0,04	0,04	0,14
Constante de tempo T (s)	1,09	0,41	0,64	1,66
Ganho K (psi/s)	10,71	4,49	4,33	16,25

4.3.2.2 *Excitação do tipo degraus múltiplos*

A Figura 60 apresenta o sinal de excitação do tipo degraus múltiplos. Através desse tipo de sinal fica mais clara a observação do fenômeno de histerese, sendo a ocorrência desse fenômeno prejudicial ao controlador de pressão em função do sinal de atuação, pois não se pode garantir um valor preciso da pressão mediante a aplicação de um sinal de controle.

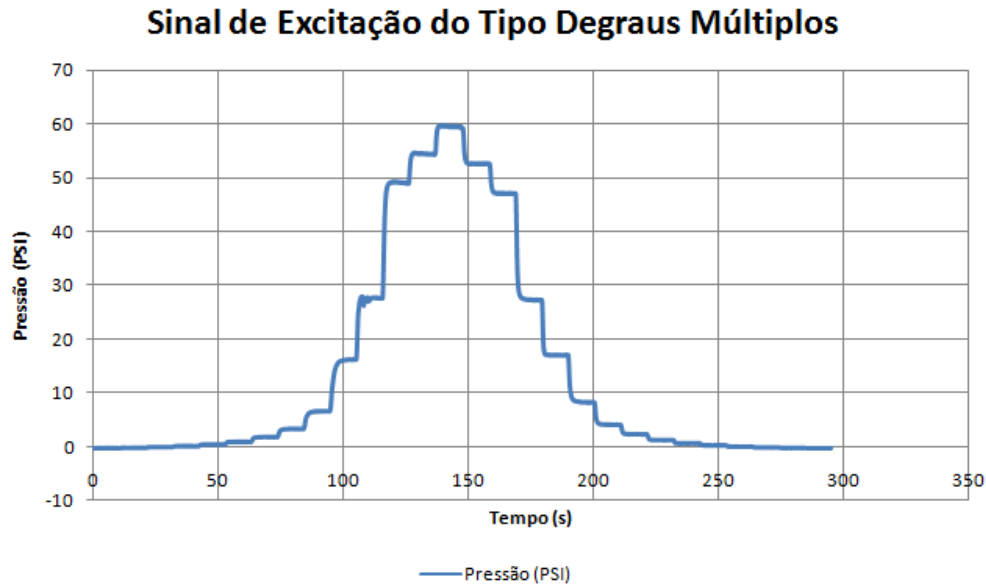


Figura 60 Comportamento da pressão obtida resultante de excitação do tipo degraus múltiplos em malha aberta.

4.3.2.3 Parâmetros do controlador PID

Uma vez obtidos os valores médios encontrados para (K , T e L), usou-se o 1º método empírico de Ziegler e Nichols e as equações de aproximação do cálculo do ganho e período crítico proposto por CAMPOS e TEIXEIRA (2006) para encontrar os parâmetros iniciais do controlador PID. Conforme esse método, o ganho proporcional K_p , o tempo integral T_I e o tempo derivativo T_D seriam respectivamente 1,74, 0,14 e 0,04.

Como no controlador PID implementado, deve-se informar os parâmetros em função dos ganhos proporcional K_p , ganho integral K_i e ganho derivativo K_d , pode-se usar as seguintes equações para a obtenção de K_i e K_d :

$$K_I = K_p / T_I$$

$$K_D = K_p * T_D$$

Dessa forma, a suposição inicial para os ganhos do controlador seriam aproximadamente: $K_p = 1,7$; $K_i = 12$; e $K_d = 0,06$. Para testar esses ganhos no controlador PID, realizou-se um teste que consiste em excitar a planta com um sinal de degraus múltiplos,

a partir de 15 psi, com variação de 5 psi a cada 10 s, tanto no regime crescente como no decrescente. Aguardava-se 10 s antes de inverter o sinal para o regime decrescente.

Ao iniciar o teste, o sistema oscilou continuamente com elevadas amplitudes Figura 61, de forma que inviabilizou sua execução até o final. Esse tipo de oscilação é indesejável nos sistemas de controle, nos quais um dos principais critérios a ser considerado é a sua estabilidade. Essas oscilações ocorreram devido à alta correção do termo integral sobre o erro.

A aplicação do 2º método de Ziegler e Nichols deixaria o sistema ainda mais agressivo e instável, pois o ganho proporcional, integral e derivativo seriam aproximadamente 19, 134 e 0,6, respectivamente.

Com o objetivo de reduzir a agressividade, de eliminar a instabilidade e de melhorar a antecipação na correção do erro, reduziu-se empiricamente o ganho integral de 12 para 0,1 e o ganho proporcional de 1,7 para 1,5 e aumentou-se a ação derivativa para 10 (aproximadamente 7 s de antecipação do erro no futuro). O comportamento do controlador PID com esses novos ganhos pode ser observado na Figura 62 onde nota-se a presença das oscilações inerentes de um sistema em malha fechada, porém com estabilidade. Esses ganhos foram usados no ensaio de aplicação da área de 7,2ha e demais avaliações de desempenho do controlador PID nas próximas seções.

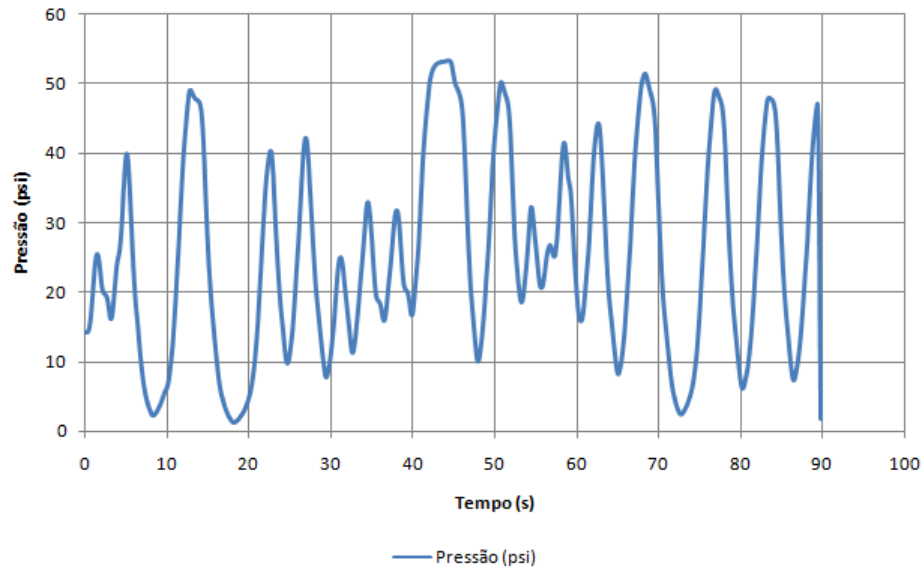


Figura 61 Excitação do tipo degraus múltiplos de 5 em 5 psi com os parâmetros de PID iniciais segundo Ziegler e Nichols.

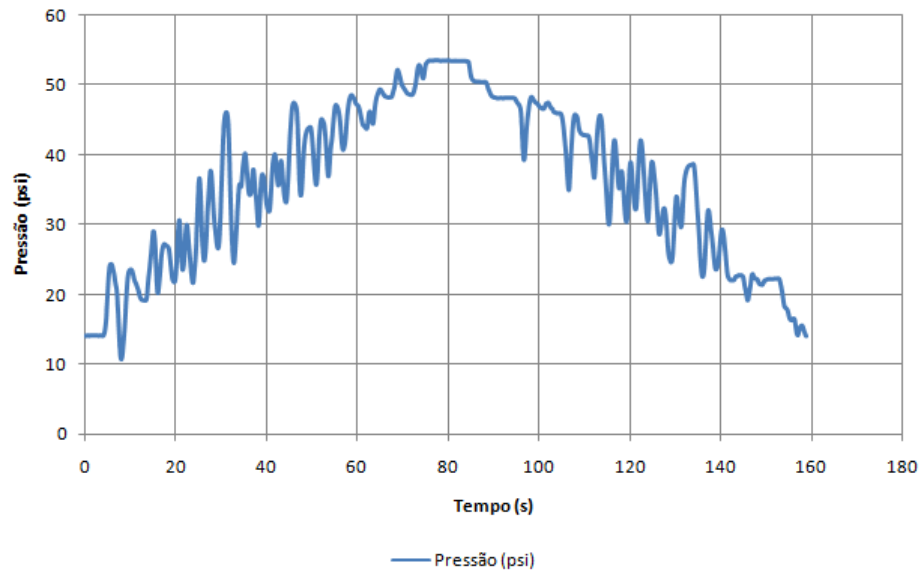


Figura 62 Excitação do tipo degraus múltiplos de 5 em 5 psi com os parâmetros de PID iniciais segundo ajuste empírico.

4.4 Dispositivo VRT

4.4.1 Aplicação VRT na área de 7,3 ha a $2,5 \text{ m.s}^{-1}$

Com a velocidade do autopropelido em $2,5 \text{ m/s}$ (9 km/h), uma alteração no valor de dose era feita a cada 3 s e a Figura 63 mostra como foi o comportamento do controle PID. Observa-se que, a aplicação durou 23,15 minutos e a média dos valores de pressão registrados nas células de aplicação acompanharam o valor de pressão desejado com erro médio de 2,15 psi e desvio padrão de 4,47. Nota-se também que aconteceu economia de aplicação de regulador de crescimento em 4 regiões do gráfico onde a pressão foi zerada. Conforme regra de aplicação “se ($A < 20$) então dose=0P” definida previamente o Sistema de Controle, deixa-se de aplicar se a altura de planta de algodão for menor que 20 cm, nesse caso o fluxo é cortado pelo desligamento da Válvula On/Off. Ao todo, uma área equivalente a 43 células não foi feita aplicação. Nota-se também que nessa aplicação não houve falha de comunicação entre o Sistema de Controle com as placas do Comando e de Ultrassom.

A Figura 64 apresenta o comportamento do fluxo durante a aplicação. Ao todo foram aplicados 99,49 litros, uma vez que eram 2 bicos, isso significa aproximadamente 49,74 litros por bico. Considerando o fluxo médio (0,21 litros) e o desvio padrão (0,06) total aplicado nas células como valores para estimar a economia de insumo que deixou de ser aplicado nas 43 células, teríamos uma economia de 9,03 litros que representa 9,08% do volume total aplicado. Vale ressaltar que as quatro regiões onde a Válvula On/Off foi desligada o gráfico apresenta maiores valores para o fluxo, isso aconteceu pois todo o fluxo era retornado para o reservatório e como o sensor de fluxo estava antes da Válvula On/Off ele media a vazão máxima.

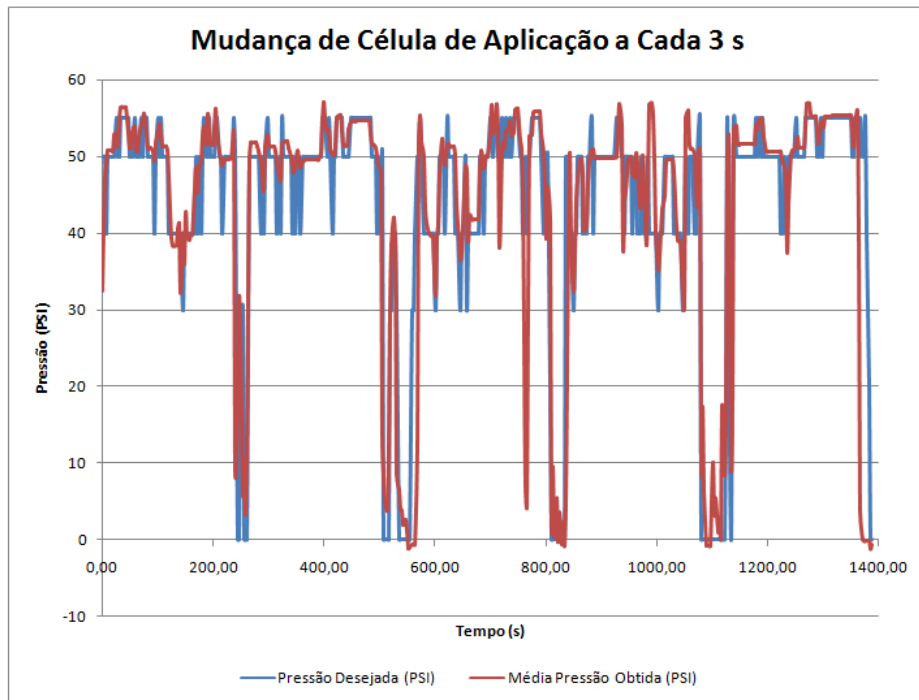


Figura 63 Dispositivo VRT: Pressão Desejada x Média Pressão Obtida na velocidade de aplicação a 2,5 m/s

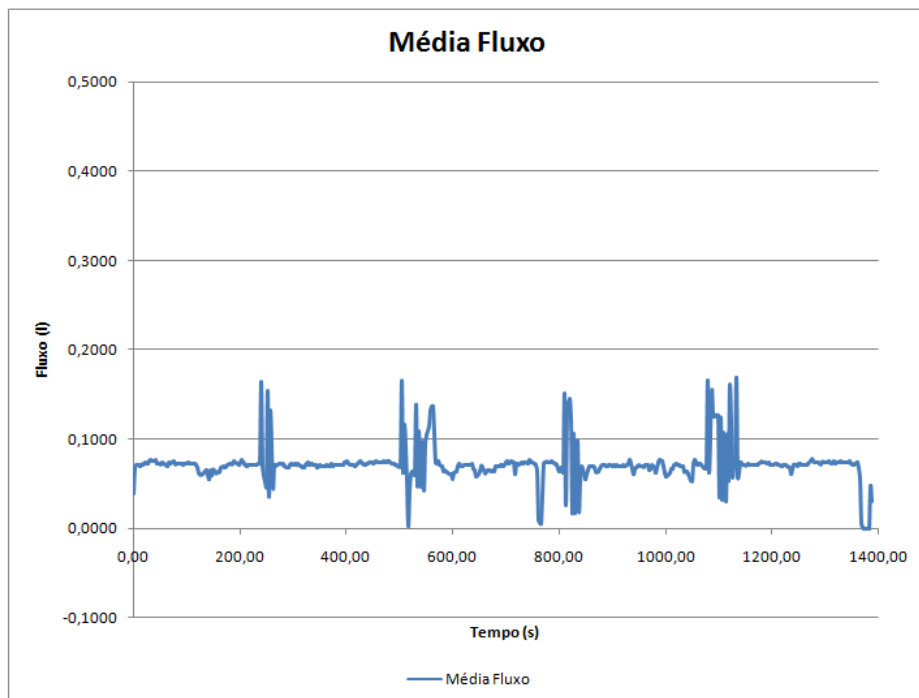


Figura 64 Dispositivo VRT: Fluxo médio nas Células de Aplicação.

4.4.2 Aplicação VRT na área 7,3 ha a 5 m.s^{-1}

Com a velocidade do autopropelido em 5 m/s (18 km/h), uma alteração no valor de dose era feita a cada $1,5 \text{ s}$ e a Figura 65 mostra como foi o comportamento do controle PID. Observa-se que, a aplicação durou $11,6$ minutos e a média dos valores de pressão registrados nas células de aplicação acompanharam o valor de pressão desejado com erro médio de $2,75 \text{ psi}$ e desvio padrão de $5,75$. Nota-se também que aconteceu economia de aplicação de regulador de crescimento em 4 regiões do gráfico onde a pressão foi zerada. Conforme regra de aplicação “*se ($A < 20$) então dose=0P*” definida previamente o Sistema de Controle deixa de aplicar se a altura de planta de algodão for menor que 20 cm , nesse caso o fluxo é cortado pelo desligamento da Válvula On/Off. Ao todo, uma área equivalente a 43 células não foi feita aplicação. Nota-se também que na quarta região onde o insumo não era aplicado, houve uma falha de comunicação do módulo de rádio frequência do Sistema de Controle com a “Placa de Comando” e na ocasião da falha o controle deixou de atuar mas logo em seguida recuperou a comunicação e voltou a atuar normalmente.

A Figura 66 apresenta o comportamento do fluxo durante a aplicação. Ao todo foram aplicados $49,65$ litros, uma vez que eram 2 bicos, isso significa aproximadamente $24,82$ litros por bico. Considerando o fluxo médio ($0,11$ litros) e o desvio padrão ($0,04$) total aplicado nas células como valores para estimar a economia de insumo que deixou de ser aplicado nas 43 células, teríamos uma economia de $4,73$ litros que representa $9,53\%$ do volume total aplicado. Vale ressaltar que as quatro regiões onde a Válvula On/Off foi desligada o gráfico apresenta maiores valores para o fluxo, isso aconteceu pois todo o fluxo era retornado para o reservatório e como o sensor de fluxo estava antes da Válvula On/Off ele media a vazão máxima.

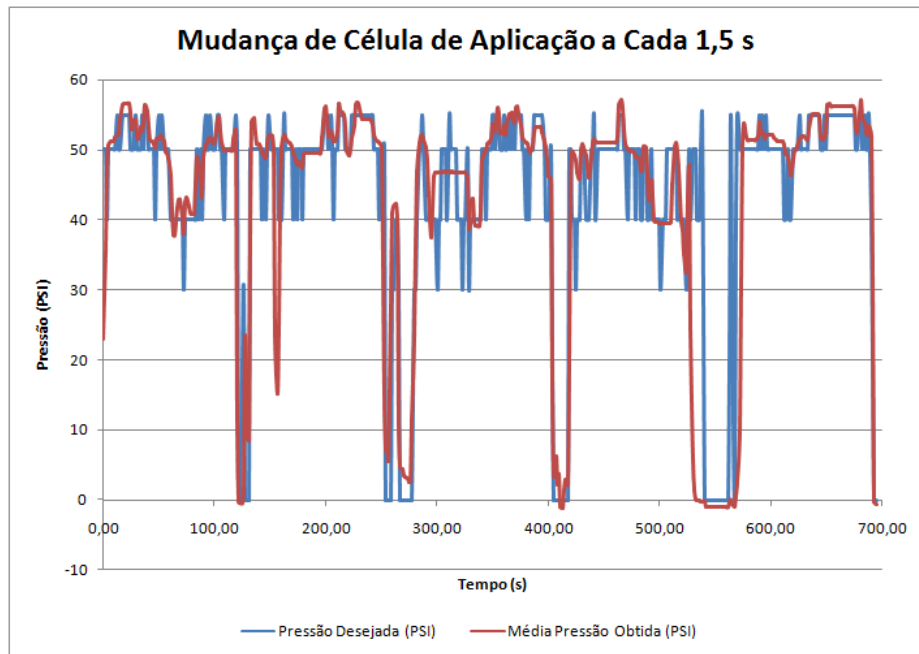


Figura 65 Dispositivo VRT: Pressão Desejada x Média Pressão Obtida na velocidade de aplicação a 5 m/s

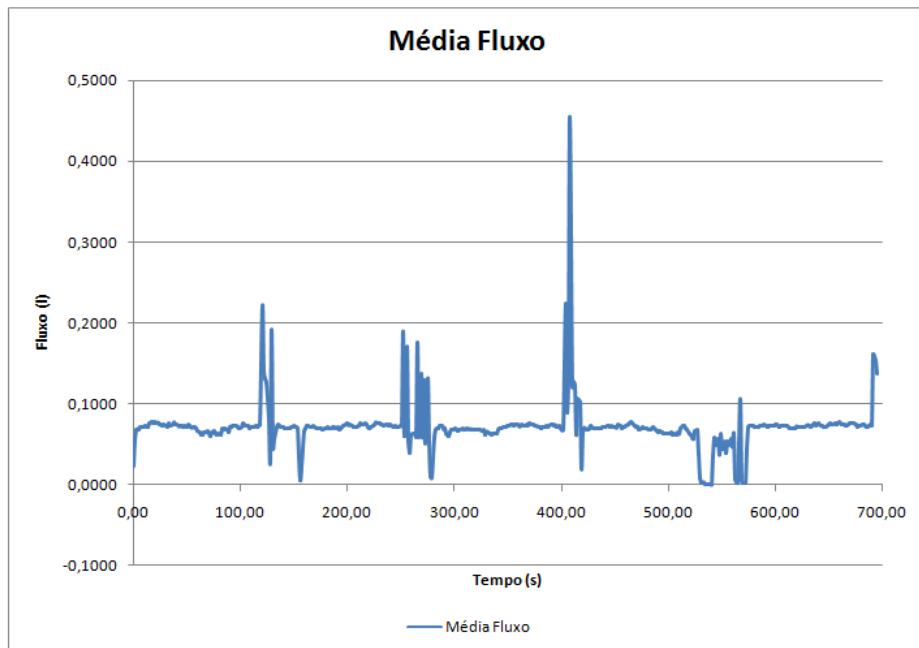


Figura 66 Dispositivo VRT: Fluxo médio nas Células de Aplicação.

4.4.3 Simulação de entupimento de bico.

É possível observar nas Figura 67 e Figura 68 o comportamento da pressão e do fluxo com a simulação de entupimento de bico de forma lenta e rápida respectivamente. Em ambas as formas de entupimento o sistema de controle conseguiu manter a pressão desejada na linha, ressaltando que para a forma lenta ocorreu menor número de oscilações do que para a forma rápida.

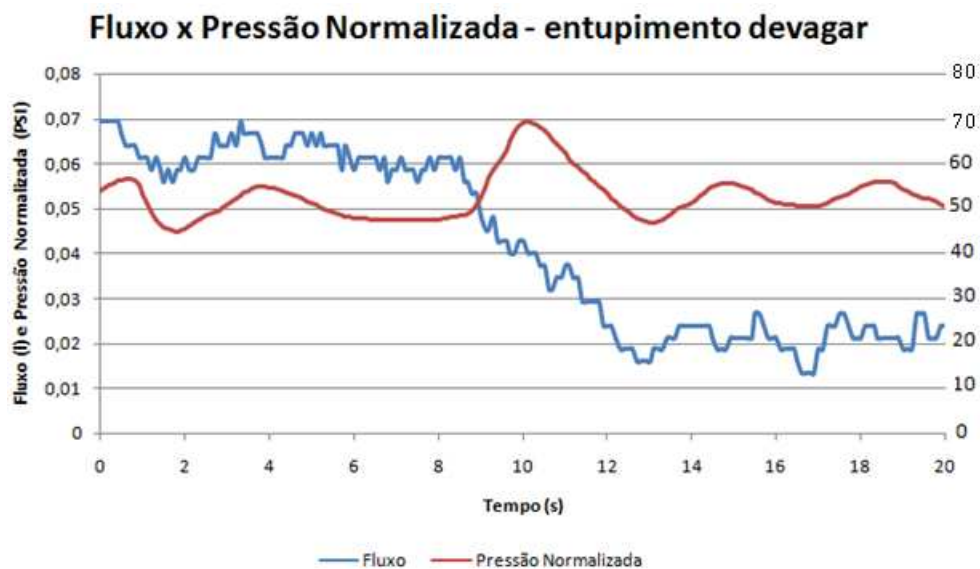


Figura 67 Simulação de entupimento de bico de forma devagar.

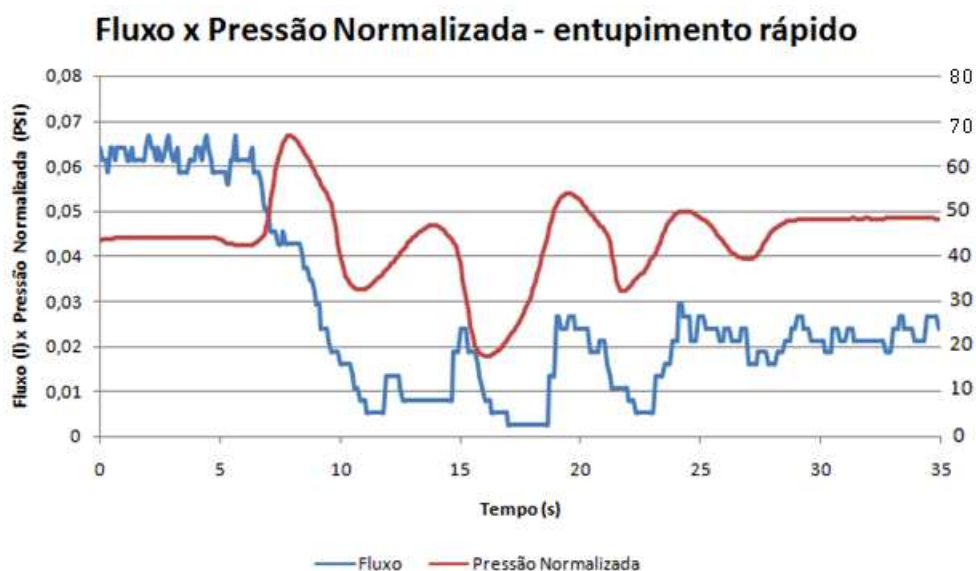


Figura 68 Simulação de entupimento de bico de forma rápida.

É importante ressaltar que se o alcance da geoestatística fosse considerado para a definição do tamanho da célula de aplicação então para o mínimo valor de alcance encontrado por QUEIROS (2005) seria necessário uma dose a cada 17,8 segundos ($53\text{m}/3\text{m.s}^{-1}$) ou a cada 10.6 segundos ($53\text{m}/5\text{m.s}^{-1}$), tempo esses que implicariam em menor número de oscilações para o sistema de controle desenvolvido diminuindo o percentual erro entre o valor desejado e o valor aplicado pelo sistema de controle por célula de aplicação.

5 CONCLUSÃO

O objetivo desse capítulo é enumerar os principais resultados e contribuições obtidos com a execução desse trabalho.

Dentre os resultados destacam-se:

- Pelos resultados obtidos dos ensaios, observa-se que em todas as pontas de pulverização utilizadas houve variações de vazão em relação ao fornecido pelo fabricante, entretanto, a média entre as repetições e os desvios para os dados coletados somente entre as pontas apresentaram pouca diferença. Desta forma, conclui-se que estes bicos podem ser utilizados no Dispositivo VRT, desde que os mesmos sejam calibrados individualmente antes disso;
- O ambiente de software livre configurado para o desenvolvimento das interfaces de validação dos três sistemas (linguagem de programação Java, ambiente de desenvolvimento Netbeans e sistema operacional Linux) atendeu as necessidades de programação, produtividade na criação das interfaces gráficas, e robustez na verificação de inconsistências nas fases de codificação e no controle dos processos executados no sistema operacional.
- A definição de um modelo de interface via padronização de atributos dos botões relacionados à visualização de dados e informações, e a inclusão de visualização gráfica por meio do pacote JChart2D na tela do Sistema de Controle, resultou em maior facilidade para a observação dos dados dos componentes do comando de pulverização e dos valores calculados das ações de PID;
- O Dispositivo VRT proposto para aplicação a taxa variável de fitorregulador trabalha adequadamente e atenderá as necessidades dos cotonicultores que adotarem essa tecnologia de agricultura de precisão. A resposta do sistema foi eficiente para diferentes ciclos de taxa de fitorregulador a 0,6 Hz com erro médio e desvio padrão com valores satisfatórios. Dessa forma, foi comprovada a viabilidade de execução da hipótese desse trabalho que é “utilizando um dispositivo de controle com sistema hidráulico e controle eletrônico, é possível, em tempo real, variar a aplicação de fitorreguladores no algodão, baseado nas informações obtidas nos sensores de

ultrassom, que detectam a altura das plantas também em tempo real; no algoritmo de crescimento da planta e na dosagem do fitorregulador estabelecido pelo usuário do sistema”.

Entre as contribuições destacam-se:

- Devido à carência de pesquisas em AP para a cultura do algodoeiro no Brasil, esse trabalho contribui para o amadurecimento e avanço das pesquisas em AP no cenário brasileiro ao desenvolver um sistema de controle para aplicação a taxa variada e em tempo real de fitorreguladores para essa cultura, e por trazer uma revisão bibliográfica abrangente sobre a AP, destacando desafios e barreiras para o desenvolvimento de um SAP e sua adoção.
- Na área de desenvolvimento de sistemas, outra contribuição a ser destacada, foi o uso de tecnologias de software livre para o desenvolvimento de um sistema de controle aplicado à agricultura. Além da eliminação do custo de compra de licenças para a execução desse sistema de controle e obtenção de maior autonomia na fase de desenvolvimento, há a possibilidade de disponibilizá-lo como uma tecnologia de software livre;
- Com o objetivo de eliminar a redução de cabos para instalação do sistema de controle, uma importante contribuição foi verificar que a adoção de comunicação sem fio para sua comunicação com o sistema hidráulico e de ultrassom, foi satisfatória para as aplicações realizadas em laboratório.

Durante a execução desse trabalho, foram identificados possíveis trabalhos futuros, com o objetivo de aperfeiçoar o sistema de controle desenvolvido, identificados no próximo capítulo.

6 TRABALHOS FUTUROS

As aplicações realizadas em laboratório pelo sistema de controle mostraram que é possível variar a dose de fitorregulador em tempo real. Entretanto, é necessário que mais pesquisas sejam realizadas, com a finalidade de buscar seu aperfeiçoamento contínuo. Os trabalhos futuros identificados durante a execução desse trabalho foram:

- Instrumentar um pulverizador terrestre com o Dispositivo VRT e quantificar os resultados de economia e produtividade da aplicação de fitorreguladores à taxa variável em diferentes lavouras agrícolas;
- Estudar e desenvolver filtros para os ruídos do sensor de vazão e usá-lo como sinal de retroalimentação para o controlador PID.
- Testar outras técnicas de controle;
- Utilizar outros modelos de pontas de pulverização;
- Reavaliar continuamente as dimensões reais necessárias das células de aplicação;
- Avaliar o uso de “*Threads*” da linguagem de programação Java para a aquisição de dados, de maneira concorrente, dos sensores do Sistema Hidráulico e de Ultrassom;
- Usar os recursos de “*Log*” da linguagem de programação Java para registrar os dados e estado das variáveis em execução no Sistema de Controle;
- Realizar ajustes de forma automatizada dos parâmetros do controlador PID através da adoção de técnicas no âmbito do paradigma de sistemas inteligentes;
- Considerar o uso de um sistema gerenciador de banco de dados para armazenar os dados de aplicação do Sistema de Controle.

7 BIBLIOGRAFIA

ALGODÃO Brasileiro. Disponível em: <http://www.algodao.agr.br/cms/index.php?option=com_content&task=view&id=72&Itemid=85>. Acesso em: 05 junho 2010.

ASABE - Nozzle improves chemical savings, boasts spray productivity and environmental protection. AE50 Innovations, 2005. Disponível em: <<http://www.asabe.org>>. Acesso em: 02 abril 2008.

ASHEY, D.A.; DOSS, B.D.; BENNETT, O.L. Relation of cotton leaf área index to plant growth and fruiting. **Agronomy Journal**, v.57, p.61-64, 1965.

ASTROM, K.J; HAGGLUND, T. **PID Controllers: Theory, Design and Tuning**. 2^a nd Edition, North Carolina: Instrument Society of America, Research Triangle Park, 1995.

AZZO, J. J.; HOUPIS, C. H.; SHELDON, S. N. **Linear control system analysis and design with Matlab**. Control Engineering Series. Fifth Edition, Revised and Expanded. New York: Marcel Dekker, 2003. 839 p.

BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. **O Agronegócio do Algodão no Brasil**. Volume 2 - 2^a Edição revisada e ampliada. Embrapa Informação Tecnológica: Brasília, 2008.

BETHEL, M.; YAMAZAKI, F.; PAGGI M. S. **The economics of image-based, variable rate plant growth regulator use in cotton**. California Agricultural Technology Institute: California, 2003.

BLACKMORE, S. **The role of yield maps in Precision Farming**. 2003, 162 p. Tese (Doutorado) - National Soil Resources Institute, Cranfield University, Silsoe.

BOARD ON AGRICULTURE NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Technology and agricultural policy. Proceedings of a Symposium. National Academy Press, Washington, D.C. 1990.

BUAINAIN, M.; BATALHA, O. M. (Coord.) Cadeia produtiva do algodão / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Política Agrícola, Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura. Brasília: IICA: MAPA/SPA, 2007. 108 p.

BUI, Q.D. VariTarget – A New Nozzle with Variable Flow Rate and Droplet Optimization. In: ASAE - Annual International Meeting, Tampa Convention Center, Tampa, Florida. July 2005. p. 1-6; 17 - 20.

CAMPOS, M. C. M. M; TEIXEIRA, H. C. G. **Controles Típicos de equipamentos e processos industriais**. Editora BLUCHER, 2006.

CARVALHO, LH.; et al. Fitorreguladores de crescimento e capação na cultura algodoeira. Bragantia: Campinas, v.53, n.2, 1994. p.247-254.

CERRI, D. G. P. **Agricultura de Precisão em Cana-de-Açúcar: Instrumentação de uma Colhedora, Mapeamento da Produtividade e de Atributo do Solo**. 2005, 156 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

CHARAIS, J.; LOURENS, R. **Software PID Control of an Inverted Pendulum Using the PIC16F684**. Microchip Technology Inc., 2004. Disponível em: <http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1824&appName=en021807>. Acesso em: 02 fevereiro 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2009/2010 – Décimo Segundo Levantamento – Setembro/2010**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Mapa. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/7e05515f8222082610088f5a2376c6af..pdf>>. Acesso em: 03 dezembro 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Planilha com série histórica de Área Plantada, Produção e Produtividade do Brasil**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Mapa. Disponível em:

< <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1277>>. Acesso em: 03 dezembro 2009.

COTTON World Markets and Trade. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/cotton/circular/Current.asp>>. Acesso em: 27 setembro 2010.

DAGGUPATI, N. P. **Assessment of the varitarget nozzle for variable rate application of liquid crop protection products**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Department of Biological and Agricultural Engineering College of Engineering, Kansas University; 2007. p. 1 – 81.

EMBRAPA aprova projeto orçado em R\$ 7 milhões para criação da Rede de Agricultura de Precisão II. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2009/setembro/3a-semana/embrapa-aprova-projeto-orcado-em-r-7-milhoes-para-criacao-da-rede-de-agricultura-de-precisao-ii/>>. Acesso em: 5 setembro 2010.

FACCIN, Flávio. **Abordagem inovadora no projeto de controladores PID**. 2004, 145 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

FREIRE, Eleusio Curvelo. Embrapa Algodão: Tecnologia de impacto e principais desafios - 2001 a 2003. Campina Grande: Embrapa - CNPA, 2000. 16 p. (Embrapa – CNPA. Documentos, 73).

GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V.I.. Precision Agriculture and Food Security. **Science** 12 fevereiro 2010. Vol. 327, n. 5967, p. 828-831.

LAMAS, F. M. Estudo comparativo entre cloreto de mepiquat e cloreto de chlormequat aplicados no algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 2, 2001. p. 265-272.

LAMAS, F.M.; et al. Cloreto de mepiquat, thidiazuron e ethephon aplicados em algodoeiro em Ponta Pora, MS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.10, 1999. p.1871-1880.

LAMAS, F. M.; FERREIRA, A. C. B. Uso de Reguladores de Crescimento, Desfolhantes, Dessecantes e Maturadores na Cultura do Algodoeiro. **Série Circular Técnica da Embrapa**, Campina Grande, 8p, Agosto 2006.

LAMBERT, D.; LOWENBERG-DEBOER, J. **Precision Agriculture Profitability Review**. Site-specific Management Center, School of Agriculture, Purdue University, 2000.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (AGE/MAPA) - Assessoria de Gestão Estratégica. **Projeções do Agronegócio, Brasil 2009/10 a 2019/20**. Brasília, 2010. 48 p.

MOLIN, J. P. Agricultura de Precisão: situação atual e perspectivas. In: DOURADO-NETO, D.; FANCELLI, A. L.(Org.). **Milho: Estratégias de Manejo para Alta Produtividade**. Piracicaba: Copiadora Luiz de Queiroz, 2003, p. 89-98.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Precision Agriculture in the 21st Century**. Committee on Assessing Crop Yield: Site-Specific Farming, Information Systems, and Research Opportunities. Board on Agriculture. NATIONAL ACADEMY PRESS, Washington, D.C. 1997.

OGATA, K. **Engenharia de controle moderno**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 4ª edição, 2003.

OOSTERHUIS, D. M.; KOSMIDOU, K.; COTHREN, J. T. Managing cotton growth and development with plant growth regulators. In: WORLD COTTON RESEARCH CONFERENCE – 2. ATHENS: 1998. p. 46-48.

PIERCE, F. J.; NOWAK, P. Aspects of Precision Agriculture. **Advances in Agronomy**, Volume 67, 1999. 85 p.

PIERRE, C. R. Precision Agriculture: An Information Revolution in Agriculture. In: AGRICULTURAL OUTLOOK FORUM, 1999. 6 p.

PÍPOLO, A. E. **Comparação entre diferentes doses de clorocolina, aplicadas em algodoeiro herbáceo.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 28, n. 8, p. 915-923, Agosto 1993.

QUEIROS, L. R.; SHIRATSUCHI, L. S.; VINHAL, C. D. N. Desenvolvimento de um sistema protótipo para o mapeamento da altura de plantas de algodão. In: 3º SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO. Sete Lagoas: EMBRAPA, 2005. p.1- 4.

QUEIROS, L. R.; MAGALHÃES, P. S. G. **Proposta de dispositivo para aplicação de reguladores de crescimento à taxa variada e em tempo real para a cultura do algodão.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 6., 2007, São Pedro, SP. Anais... Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2007. p. 306-310. SBIAgro 2007. Pôster. Parte do CD-ROM (2007.00010).

REDE de Agricultura de Precisão liderada pela Embrapa – REDE AP2. Disponível em: <<http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2>>. Acesso em: 07 junho 2010.

RHIND, D.; CONNOLLY, T. **Understanding GIS: The ARC INFO Method.** Environmental Systems Research Institute (ESRI). Redlands: California, 1997. 525p.

RIP, M. R.; HASIK, M. **The precision revolution: GPS and the future of aerial warfare.** Naval Institute Press, 2002.

ROBERTS, R. K. R.; et al. **Precision Farming by Cotton Producers in Six Southern States: Results from the 2001 Southern Precision Farming Survey.** Department of Agricultural Economics, The University of Tennessee Knoxville, Tennessee, 2002. p.81.

SEARCY, S. W.; BECK, A. D. Real time assessment of cotton plant height. In: PROCEEDINGS OF THE FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE. Minneapolis, 2000.

SHIRATSUCHI, L. S.; QUEIROS, L. R.; VINHAL, C. D. N. Mapeamento da altura de plantas de algodão utilizando sensor ultrassom. In: 3º SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO. Sete Lagoas: EMBRAPA, 2005, p.1- 4.

SISTEMA de Produção de Algodão Embrapa. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoCerrado/>> . Acesso em: 05 junho 2010.

SOIL TEQ INC.. (Waconia, Minnesota). Earl W. Ortilip. **Method and Apparatus for Spreading Fertilizer**. European Patent Application n. 0181308, 14 maio 1986.

STABILE, M.D. **Site – Specific Strategies for Cotton Management**. 2005. 113 p. Dissertação (Mestrado)- Texas A&M Universit, 2005.

STAFFORD, J. V. Implementing Precision Agriculture in the 21st Century. **Journal. Of Agricultural Engineering Research**. Silsoe, v. 76, n. 3, 2000, p.267- 275. Disponível em: <<http://www.idealibrary.com>>. Acesso em: 12 julho 2010.

STEWART, C., BOUDELL, B., MCBRATNEY, A. **Precision Decisions for Quality Cotton: A guide to site-specific cotton crop management**. The University of Sidney and Cotton Research and Development Corporation. 2005.115 p.

THURMAN, M. E.; HEINIGER R. W. Evaluation of variable rate Pix (mepiquat chloride) application by soil type. In: PROCEEDINGS OF THE BELTWIDE COTTON CONFERENCE. Memphis,TN: 1999. p. 524-526.

THURMAN, M. E.; HEINIGER, R. W. Using GPS to scout cotton for variable rate Pix (mepiquat chloride) application. In: PROCEEDINGS OF THE BELTWIDE COTTON CONFERENCE. Memphis,TN: 1998. p. 1499-1503.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; G.UEHARA. Application of geostatistics to spatial studies of soil proports. **Advances in Agronomy**, v. 38, 1985. p. 45-93.

UMEZU, C. K. **Sistema de controle de um equipamento de formulação, dosagem e aplicação de fertilizantes sólidos a taxas variáveis**. 2003, 186 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

VARI TARGET - The Nozzle with Variable Flow Rates and Droplet Optimization. Disponível em: <<http://www.spraytarget.com>>. Acesso em: 20 abril 2008.

YORK, A.C. Cotton cultivar response to mepiquat chloride. **Agronomy Journal**, v.75, n.4, p.663-667,1983.

Wolf, R. E.. The Affect of Application Volume and Deposition Aids on Droplet Spectrum and Deposition for Aerial Application. In: 38 ANNUAL NATIONAL AGRICULTURAL AVIATION ASSOCIATION CONVENTION. Reno, Nevada, USA: 2004, Paper n. AA04-006. 8 p. Disponível em: <<http://apmru.usda.gov/Aerial/2004ASAE/AA04-006paper.pdf>>. Acesso em: 4 fevereiro 2009.

ZIEGLER, J.B; NICHOLS, N.B. Optimum settings for automatic controllers. **ASME Transactions**, v64, 1942. p. 759-768.

8 ANEXOS

8.1 ANEXO – A – Tabelas de Vazões coletadas no LASAPF/ESALQ, para as pontas Laranja, Amarela, Azul e Verde.

Tabela 28 Dados de vazão das três repetições para a Ponta Laranja 1.

Ponta Laranja 1										
Pressão (PSI)	Repetição 1			Repetição 2			Repetição 3			Média (l/min)
	Tempo (min)	Volume (l)	Vazão (l/min)	Tempo (min)	Volume (l)	Vazão (l/min)	Tempo (min)	Volume (l)	Vazão (l/min)	
15	2,3707	1,060	0,44713	2,3577	1,075	0,45596	2,3360	1,040	0,44521	0,44943
20	2,0557	1,045	0,50835	2,0430	1,055	0,51640	2,0313	1,035	0,50952	0,51142
25	1,7623	1,040	0,59013	1,7295	1,025	0,59266	1,7098	0,995	0,58193	0,58824
30	1,2942	1,090	0,84224	1,2750	1,115	0,87451	1,2635	1,085	0,85873	0,85849
35	1,0177	1,205	1,18408	1,0212	1,210	1,18492	1,0093	1,205	1,19386	1,18762
40	1,0110	1,700	1,68150	1,0175	1,760	1,72973	1,0258	1,770	1,72543	1,71222
45	1,0105	1,870	1,85057	1,0283	1,905	1,85251	1,0338	1,920	1,85717	1,85342
50	1,0097	2,000	1,98085	1,0430	2,065	1,97987	1,0257	2,025	1,97433	1,97835
55	1,0235	2,165	2,11529	1,0047	2,135	2,12508	1,0267	2,150	2,09416	2,11151
60	1,0258	2,260	2,20309	1,0215	2,255	2,20754	1,0340	2,290	2,21470	2,20844
65	1,0172	2,345	2,30542	1,0270	2,365	2,30282	1,0172	2,335	2,29559	2,30128
70	1,0092	2,420	2,39802	1,0178	2,445	2,40216	1,0022	2,405	2,39980	2,39999
75	1,0045	2,500	2,48880	1,0190	2,505	2,45829	1,0125	2,515	2,48395	2,47701

Tabela 29 Dados de vazão das três repetições para a Ponta Laranja 2.

Ponta Laranja 2										
Pressão (PSI)	Repetição 1			Repetição 2			Repetição 3			Média (l/min)
	Tempo (min)	Volume (l)	Vazão (l/min)	Tempo (min)	Volume (l)	Vazão (l/min)	Tempo (min)	Volume (l)	Vazão (l/min)	
15	2,8272	1,125	0,39792	2,9868	1,180	0,39507	2,5053	1,005	0,40114	0,39805
20	2,2533	1,035	0,45932	2,3305	1,060	0,45484	1,3262	1,065	0,80307	0,57241
25	2,1003	1,135	0,54039	1,9218	1,030	0,53595	1,9280	1,035	0,53683	0,53772
30	1,3182	1,040	0,78897	1,2473	1,015	0,81374	1,3443	1,100	0,81825	0,80699
35	1,0248	1,195	1,16604	1,0135	1,205	1,18895	1,0082	1,200	1,19028	1,18176
40	1,0877	1,700	1,56298	1,0128	1,595	1,57479	1,0068	1,590	1,57921	1,57233
45	1,0010	1,750	1,74825	1,0285	1,800	1,75012	1,0093	1,785	1,76849	1,75562
50	1,0250	1,900	1,85366	1,0053	1,882	1,87202	1,0127	1,890	1,86636	1,86401
55	1,0205	2,005	1,96472	1,0353	2,045	1,97521	1,0318	2,050	1,98675	1,97556
60	1,0172	2,165	2,12846	1,0200	2,160	2,11765	1,0232	2,176	2,12673	2,12428
65	1,0188	2,276	2,23393	1,0130	2,260	2,23100	1,0228	2,285	2,23399	2,23297
70	1,0338	2,385	2,30695	1,0177	2,345	2,30429	1,0153	2,355	2,31944	2,31022
75	1,0125	2,465	2,43457	1,0220	2,475	2,42172	1,0438	2,530	2,42376	2,42668

Tabela 30 Dados de vazão das três repetições para a Ponta Amarela 1.

Ponta Amarela 1										
Pressão (PSI)	Repetição 1			Repetição 2			Repetição 3			Média (l/min)
	Tempo (min)	Volume (l)	Vazão (l/min)	Tempo (min)	Volume (l)	Vazão (l/min)	Tempo (min)	Volume (l)	Vazão (l/min)	
15	2,5318	1,180	0,46607	2,2823	1,035	0,45348	2,2390	1,010	0,45109	0,45688
20	1,9392	0,975	0,50279	1,9777	1,010	0,51070	1,8867	0,940	0,49823	0,50391
25	1,8010	1,065	0,59134	1,7033	0,995	0,58415	1,7277	1,010	0,58460	0,58670
30	1,2188	1,065	0,87379	1,1950	1,050	0,87866	1,1937	1,055	0,88383	0,87876
35	1,0293	1,455	1,41354	1,0318	1,510	1,46341	1,0412	1,555	1,49352	1,45682
40	1,0150	2,050	2,01970	1,0087	2,075	2,05717	1,0103	2,105	2,08347	2,05345
45	1,0807	2,590	2,39667	1,0517	2,550	2,42472	1,0113	2,450	2,42254	2,41465
50	1,0247	2,740	2,67404	1,0152	2,725	2,68429	1,0152	2,725	2,68429	2,68087
55	1,0063	2,885	2,86684	1,0052	2,880	2,86520	0,9992	2,900	2,90242	2,87815
60	1,0283	3,170	3,08266	1,0348	3,190	3,08262	1,0232	3,185	3,11288	3,09272
65	0,9942	3,235	3,25398	1,0188	3,320	3,25863	1,0160	3,345	3,29232	3,26831
70	1,0192	3,485	3,41946	1,0318	3,505	3,39687	1,0302	3,500	3,39751	3,40461
75	1,0162	3,600	3,54273	1,0137	3,615	3,56626	1,0048	3,595	3,57771	3,56223
80	1,0140	3,790	3,73767	1,0168	3,805	3,74201	1,0115	3,785	3,74197	3,74055
85	0,9915	3,930	3,96369	1,0443	4,110	3,93553	1,0212	4,015	3,93178	3,94366
90	1,0315	4,280	4,14930	1,0230	4,210	4,11535	1,0003	4,110	4,10863	4,12442
95	1,0305	4,460	4,32800	1,0252	4,400	4,29199	1,0135	4,345	4,28712	4,30237
100	0,9993	4,420	4,42295	1,0382	4,615	4,44534	1,0315	4,545	4,40620	4,42483

Tabela 31 Dados de vazão das três repetições para a Ponta Amarela 2.

Ponta Amarela 2										
Pressão (PSI)	Repetição 1			Repetição 2			Repetição 3			Média (l/min)
	Tempo (min)	Volume (l)	Vazão (l/min)	Tempo (min)	Volume (l)	Vazão (l/min)	Tempo (min)	Volume (l)	Vazão (l/min)	
15	2,2563	1,030	0,45649	2,3033	1,050	0,45586	2,2822	1,035	0,45352	0,45529
20	1,9742	1,065	0,53947	1,9742	1,055	0,53440	1,9715	1,060	0,53766	0,53718
25	1,8055	1,070	0,59263	1,8260	1,075	0,58872	1,7382	1,025	0,58970	0,59035
30	1,2027	1,060	0,88137	1,1902	1,050	0,88223	1,1852	1,045	0,88173	0,88178
35	0,9592	1,435	1,49609	1,0032	1,495	1,49028	0,9878	1,485	1,50329	1,49655
40	1,0050	2,130	2,11940	1,0237	2,225	2,17356	1,0330	1,226	1,18683	1,82660
45	1,0163	2,685	2,64185	1,0167	2,705	2,66066	1,0278	2,750	2,67553	2,65935
50	1,0318	2,940	2,84930	1,0340	2,980	2,88201	1,0362	2,970	2,86633	2,86588
55	1,0327	3,105	3,00678	1,0480	3,165	3,02004	1,0180	3,085	3,03045	3,01909
60	1,0092	3,220	3,19075	1,0105	3,240	3,20633	1,0287	3,290	3,19831	3,19847
65	1,0295	3,475	3,37542	1,0260	3,460	3,37232	1,0243	3,470	3,38757	3,37844
70	1,0293	3,600	3,49741	1,0147	3,560	3,50854	1,0212	3,590	3,51559	3,50718
75	1,0163	3,740	3,67990	1,0057	3,700	3,67915	1,0323	3,795	3,67614	3,67839
80	1,0188	3,875	3,80337	1,0177	3,880	3,81264	1,0122	3,860	3,81360	3,80987
85	1,0373	4,085	3,93798	1,0133	4,005	3,95230	1,0348	4,095	3,95716	3,94915
90	1,0135	4,135	4,07992	1,0148	4,130	4,06963	1,0443	4,270	4,08873	4,07943
95	1,0190	4,455	4,37193	1,0497	4,550	4,33471	1,0260	4,420	4,30799	4,33821
100	1,0110	4,560	4,51039	1,0587	4,775	4,51039	1,0393	4,600	4,42591	4,48223

Tabela 32 Dados de vazão das três repetições para a Ponta Azul 1.

Ponta Azul 1										
Pressão (PSI)	Repetição 1			Repetição 2			Repetição 3			Média (l/min)
	Tempo (min)	Volume (l)	Vazão (l/min)	Tempo (min)	Volume (l)	Vazão (l/min)	Tempo (min)	Volume (l)	Vazão (l/min)	
15	1,8802	1,0500	0,5585	1,8730	1,0350	0,5526	1,8685	1,0350	0,5539	0,5550
20	1,7200	1,0850	0,6308	1,7208	1,0800	0,6276	1,8813	1,1800	0,6272	0,6285
25	1,4058	0,9950	0,7078	1,4908	1,0450	0,7010	1,4825	1,0400	0,7015	0,7034
30	1,0973	1,0900	0,9933	1,0780	1,1850	1,0993	1,0898	1,2000	1,1011	1,0646
35	1,0058	1,7550	1,7448	1,0213	1,7850	1,7477	1,0115	1,7800	1,7598	1,7508
40	1,0070	2,5250	2,5074	1,0030	2,6150	2,6072	1,0913	2,8150	2,5794	2,5647
45	1,0145	3,1250	3,0803	1,0192	3,1650	3,1055	1,0033	3,1250	3,1146	3,1001
50	1,0080	3,7000	3,6706	1,0152	3,7400	3,6841	1,0108	3,7400	3,6999	3,6849
55	1,0163	4,0700	4,0046	1,0253	4,1050	4,0036	1,0138	4,0650	4,0095	4,0059
60	1,0070	4,3700	4,3396	1,0077	4,3850	4,3516	1,0235	4,4690	4,3664	4,3525
65	1,0285	4,6350	4,5066	1,0162	4,5950	4,5219	1,0267	4,6750	4,5536	4,5273
70	1,0083	4,7850	4,7455	1,0093	4,8100	4,7655	1,0485	4,9850	4,7544	4,7551
75	1,0073	5,2000	5,1621	1,0020	5,1800	5,1697	1,0040	5,1800	5,1594	5,1637
80	1,0080	5,4050	5,3621	1,0098	5,3950	5,3425	1,0135	5,4400	5,3675	5,3574
85	1,0080	5,5600	5,5159	1,0182	5,6050	5,5050	0,9968	5,5000	5,5175	5,5128

Tabela 33 Dados de vazão das três repetições para a Ponta Azul 2.

Ponta Azul 2										
Pressão (PSI)	Repetição 1			Repetição 2			Repetição 3			Média (l/min)
	Tempo (min)	Volume (l)	Vazão (l/min)	Tempo (min)	Volume (l)	Vazão (l/min)	Tempo (min)	Volume (l)	Vazão (l/min)	
15	1,9085	1,1200	0,5868	1,8288	1,0650	0,5823	1,9470	1,1350	0,5829	0,5840
20	1,7722	1,1800	0,6659	1,5345	1,0350	0,6745	1,5332	1,0200	0,6653	0,6685
25	1,3722	1,0250	0,7470	1,4633	1,0800	0,7380	1,3692	1,0300	0,7523	0,7458
30	1,2027	1,1400	0,9479	1,2102	1,1300	0,9338	1,1853	1,1100	0,9364	0,9394
35	1,0213	2,0600	2,0170	1,1903	2,4800	2,0835	1,0507	2,2100	2,1034	2,0679
40	1,0385	2,6650	2,5662	1,0070	2,3650	2,3486	1,0152	2,6750	2,6350	2,5166
45	1,0027	3,2400	3,2314	0,9942	3,1900	3,2087	1,0188	3,2900	3,2292	3,2231
50	0,9982	3,7200	3,7268	1,0127	3,7600	3,7130	1,0170	3,8050	3,7414	3,7271
55	1,0678	4,2400	3,9707	1,0117	3,9950	3,9489	1,0140	4,0250	3,9694	3,9630
60	0,9935	4,2300	4,2577	1,0348	4,4150	4,2664	1,0433	4,4600	4,2748	4,2663
65	1,0183	4,6300	4,5466	1,0257	4,6900	4,5726	1,0297	4,6250	4,4917	4,5370
70	1,0370	4,9100	4,7348	1,0230	4,8600	4,7507	0,9998	4,7700	4,7708	4,7521
75	1,0457	5,1800	4,9538	0,9957	4,9000	4,9213	1,0170	5,0300	4,9459	4,9403
80	1,2610	6,4500	5,1150	1,0330	5,2900	5,1210	0,9993	5,1100	5,1134	5,1165
85	1,0167	5,4100	5,3213	1,0003	5,3400	5,3382	1,0172	5,4100	5,3187	5,3261

Tabela 34 Dados de vazão das três repetições para a Ponta Verde 1.

Ponta Verde 1										
Pressão (PSI)	Repetição 1			Repetição 2			Repetição 3			Média (l/min)
	Tempo (min)	Volume (l)	Vazão (l/min)	Tempo (min)	Volume (l)	Vazão (l/min)	Tempo (min)	Volume (l)	Vazão (l/min)	
15	2,0022	1,2400	0,6193	1,6237	1,0000	0,6159	1,6838	1,0350	0,6147	0,6166
20	1,5628	1,0800	0,6911	1,5372	1,0700	0,6961	1,5515	1,0750	0,6929	0,6933
25	1,2920	1,0200	0,7895	1,2992	1,0300	0,7928	1,2908	1,0200	0,7902	0,7908
30	1,1558	1,0700	0,9257	1,1430	1,0650	0,9318	1,1242	4,0450	3,5982	1,8186
35	1,0093	1,8700	1,8527	1,0215	1,9800	1,9383	1,0348	2,0050	1,9375	1,9095
40	1,0173	2,8350	2,7867	1,0060	2,8500	2,8330	1,0268	2,9550	2,8778	2,8325
45	1,0123	3,7350	3,6895	1,0273	3,7900	3,6892	1,0130	3,7300	3,6821	3,6869
50	1,0087	4,1600	4,1243	1,0113	4,1550	4,1084	1,1275	4,6550	4,1286	4,1204
55	1,0432	7,9250	7,5971	1,0242	4,8450	4,7307	1,0267	4,8350	4,7094	5,6791
60	1,0158	5,2050	5,1239	1,0105	5,2350	5,1806	1,0148	5,2050	5,1289	5,1445
65	1,0162	5,5700	5,4814	1,0308	5,6500	5,4810	1,0682	5,5900	5,2333	5,3986
70	1,0213	5,9050	5,7817	1,0113	5,8700	5,8042	1,0182	5,8900	5,7849	5,7903
75	1,0230	6,2350	6,0948	1,0230	6,2400	6,0997	1,0247	6,2450	6,0947	6,0964
80	1,0232	6,4300	6,2844	1,0492	6,6400	6,3288	1,0230	6,4500	6,3050	6,3061
85	1,0213	6,6800	6,5405	1,0163	6,6550	6,5480	1,0255	6,6880	6,5217	6,5367

Tabela 35 Dados de vazão das três repetições para a Ponta Verde 2.

Ponta Verde 2										
Pressão (PSI)	Repetição 1			Repetição 2			Repetição 3			Média (l/min)
	Tempo (min)	Volume (l)	Vazão (l/min)	Tempo (min)	Volume (l)	Vazão (l/min)	Tempo (min)	Volume (l)	Vazão (l/min)	
15	1,7372	1,0750	0,6188	1,7905	1,1300	0,6311	1,7692	1,1100	0,6274	0,6258
20	1,6253	1,0550	0,6491	1,4040	1,0050	0,7158	1,4277	1,0350	0,7250	0,6966
25	1,3030	1,0450	0,8020	1,2693	1,0150	0,7996	1,2700	1,0250	0,8071	0,8029
30	1,1653	1,1350	0,9740	1,1347	1,1100	0,9783	1,1178	1,1100	0,9930	0,9817
35	1,0162	1,8400	1,8107	1,0337	1,9150	1,8526	1,0223	1,8850	1,8438	1,8357
40	1,0098	2,7500	2,7232	1,0168	2,7950	2,7487	1,0452	2,9200	2,7938	2,7553
45	1,0125	3,5650	3,5210	1,1347	4,0900	3,6046	1,0452	3,7000	3,5401	3,5552
50	1,0222	4,2800	4,1872	1,0337	4,3750	4,2325	1,0058	4,2500	4,2254	4,2150
55	1,0057	4,6700	4,6437	1,0000	4,7150	4,7150	1,0247	4,7900	4,6747	4,6778
60	1,0147	5,0300	4,9573	1,0000	4,9800	4,9800	1,0125	5,0350	4,9728	4,9700
65	1,0052	5,4100	5,3822	1,0000	5,4700	5,4700	1,0150	5,4600	5,3793	5,4105
70	1,0227	5,8100	5,6812	1,0168	5,8500	5,7532	1,0087	5,8150	5,7650	5,7331
75	1,0118	5,9850	5,9150	1,0000	6,0400	6,0400	1,0133	6,0750	5,9951	5,9834
80	1,0203	6,2950	6,1696	1,0168	6,3450	6,2400	1,0170	6,3000	6,1947	6,2014
85	1,0087	6,4950	6,4392	1,0337	6,6500	6,4334	1,0290	6,5800	6,3946	6,4224

8.2 ANEXO – B – Código Fonte da Principal Classe Java do Sistema de Controle.

Logo a seguir o código fonte da classe Java relativa a uma das principais classes do Sistema de Controle:

```
1  /*
2   * To change this template, choose Tools | Templates
3   * and open the template in the editor.
4   */
5
6  /*
7   * TelaViewSensores.java
8   *
9   * Created on 16/06/2009, 10:46:32
10  */
11
12  package projetodoutorado;
13
14  import protocoloscomunicacao.comunicacaoserial.zigbee.Checksum;
15  //import info.monitorenter.gui.chart.axis.AAxis;
16  import info.monitorenter.gui.chart.Chart2D;
17  import info.monitorenter.gui.chart.ITrace2D;
18  import info.monitorenter.gui.chart.traces.Trace2DLtd;
19  //import info.monitorenter.util.Range;
20  import java.awt.Color;
21  //import java.awt.Composite;
22  //import java.awt.Graphics;
23  //import java.awt.Graphics2D;
24  import java.util.Date;
25  import javax.swing.SpinnerModel;
26  import javax.swing.SpinnerNumberModel;
27  //import java.io.BufferedWriter;
28  import java.io.IOException;
29  import java.io.InputStream;
30  import java.io.OutputStream;
31  //import java.util.Enumuration;
32  import java.util TooManyListenersException;
33  import javax.comm.CommPortIdentifier;
34  import javax.comm.NoSuchPortException;
35  import javax.comm.PortInUseException;
36  import javax.comm.SerialPort;
37  import javax.comm.SerialPortEvent;
38  import javax.comm.SerialPortEventListener;
39  import javax.comm.UnsupportedCommOperationException;
40  import javax.swing.ButtonGroup;
41  import javax.swing.Timer;
42  import persistencia.LogSistemaDeControle;
43  import protocoloscomunicacao.comunicacaoserial.zigbee.Comandos;
44  import info.monitorenter.gui.chart.IAxis.AxisTitle;
45  import
info.monitorenter.gui.chart.rangepolicies.RangePolicyMinimumViewport;
```

```

46 import info.monitorenter.util.Range;
47 import java.io.BufferedReader;
48 import java.io.FileReader;
49 import java.text.SimpleDateFormat;
50 import java.util.Vector;
51 import javax.swing.ImageIcon;
52 import mapas.Ponto;
53
54 /**
55  *
56  * @author leonardo
57  */
58 public class TelaViewSensores extends javax.swing.JFrame implements
SerialPortEventListener {
59
60     boolean auxLogico;
61     static CommPortIdentifier idPorta;
62     InputStream streamEntrada;
63     OutputStream streamSaida;
64     SerialPort portaSerial;
65     char tipoSensor;
66     /**Na proposta de leitura sequencial dos sensores,
67     tipoSensor indica o tipo de sensor a ser tratado (LEITURA E
ESCRITA) */
68     StringBuffer bufferEntrada = new StringBuffer();
69     int auxContBytes = 0;
70     /**
71     *1) se tamanho igual a 7 -> statusTransmissao. Se o sexto byte for
0 a
72     comunicação foi bem sucedida, senão se for 1 a comunicação foi mal
73     sucedida nesse caso o receptor pode estar desligado por exemplo.
74     *
75     2) se tamanho igual a 11 -> leituraPressao. O dado é representado a
partir
76     do terceiro byte até o penúltimo. Sendo do quarto byte até o
penúltimo byte
77     a parte do quadro da estrutura API que representa os dados
78     (4->n) para representar o dado segundo a especificação zigbee.
79
80     3) se tamanho igual a 12 -> leituraFluxo. O dado é representado a
partir
81     do terceiro byte até o penúltimo. Sendo do quarto byte até o
penúltimo byte
82     a parte do quadro da estrutura API que representa os dados
83     (4->n) para representar o dado segundo a especificação zigbee.
84     */
85     boolean isStatusComunicacao;
86     boolean isFalhaRecepcaoQuadros = false;
87     boolean isQtdeBytesDesejadoP = false; //11 para P
88     boolean isQtdeBytesDesejadoF = false; //12 para F;
89     double A, B, C; //usado na conversão dos frames data para a grandeza
desejada (psi ou l/min)
90     double periodo, frequencia;
91     double tensao, valorPressao=0, valorPressaoBAR=0;
92     double valorFluxo=0;

```

```

93     double valorPressaoAnterior=0, valorFluxoAnterior=0;
94     double erroAtualP=0, erroAnteriorP=0, somatorioErroP=0;
95     double sinalAtuacaoPID=0, KP=0, KI=0, KD=0, setPointP=20,
setPointF=100;
96     double percentualErroP=0;
97     double bandaPIDPressao, bandaPIDFluxo;
98     ButtonGroup grupoControleManual, grupoControlePID;
99     Timer timerTXAquisicaoAtuacao;
100    boolean isConseguiuLerP=false, isConseguiuLerF=false;
101    Chart2D graficoP, graficoF;
102    ITrace2D traceP, traceSetPointP, traceF, traceSetPointF;
103    double somaTempoAquisicao = 0.0;
104    //int bandaAtuacao;
105    double taxaAquisicaoAtuacao=0.1;
106    public LogSistemaDeControle log;
107    public Checksum checksumZigbee;
108    public Comandos comandos;
109    SimpleDateFormat formatadorDataEHora = new
SimpleDateFormat("dd_MM_yyyy_hh:mm:ss:SSS");
110
111    public boolean isACKRecebido=false;
112
113    public boolean isprimeiroDegrau = true;
114    public boolean regimeCrescenteDegrau = true;
115    public int tempoTimerMudarDegrau = 0;
116
117    Vector vectorPtos;
118    int posicPtoMapaAltura=0;//índice do ponto no vectorPtos durante a
aplicação
119    Ponto ptoDeAplicacao = new Ponto();
120    private int tempoMudancaSPMapa;
121    private boolean isPrimeiroPtoMapa = true;
122    private double alturaMedia, dose=-1; //se dose==0 nao atua
123
124    public boolean isVONOFFFechada = false; //Durante a aplicação
preciso fechá-la caso a dose seja 0
125
126    /** Creates new form TelaViewSensores */
127    public TelaViewSensores() {
128        initComponents();
129        configuraComponentes();
130    }
131
132    /** This method is called from within the constructor to
133     * initialize the form.
134     * WARNING: Do NOT modify this code. The content of this method is
135     * always regenerated by the Form Editor.
136     */
137    @SuppressWarnings("unchecked")
138    // <editor-fold defaultstate="collapsed" desc="Generated Code">
139    private void initComponents() {
140
141        buttonGroup1 = new javax.swing.ButtonGroup();
142        buttonGroup2 = new javax.swing.ButtonGroup();
143        jLabel1 = new javax.swing.JLabel();

```

```

144     jLabel2 = new javax.swing.JLabel();
145     jLabel3 = new javax.swing.JLabel();
146     jLabel4 = new javax.swing.JLabel();
147     jLabel5 = new javax.swing.JLabel();
148     jLabel6 = new javax.swing.JLabel();
149     jLabel7 = new javax.swing.JLabel();
150     jPanelGraficoFluxo = new javax.swing.JPanel();
151     jPanelGraficoPressao = new javax.swing.JPanel();
152     jPanelControleManual = new javax.swing.JPanel();
153     jrbtnAbrirManual = new javax.swing.JRadioButton();
154     jrbtnFecharManual = new javax.swing.JRadioButton();
155     jLabel26 = new javax.swing.JLabel();
156     jLabel24 = new javax.swing.JLabel();
157     jtnEnviarComandoManual = new javax.swing.JToggleButton();
158     jtfDuracaoSinalManual = new javax.swing.JTextField();
159     jPanelControlePID = new javax.swing.JPanel();
160     jLabel18 = new javax.swing.JLabel();
161     jLabel21 = new javax.swing.JLabel();
162     jLabel20 = new javax.swing.JLabel();
163     jLabel22 = new javax.swing.JLabel();
164     jLabel23 = new javax.swing.JLabel();
165     jbtnIniciarAtuacao = new javax.swing.JToggleButton();
166     jLabel29 = new javax.swing.JLabel();
167     jrbtnMalhaFechadaP = new javax.swing.JRadioButton();
168     jrbtnMalhaFechadaF = new javax.swing.JRadioButton();
169     jspinnerKP = new javax.swing.JSpinner();
170     jspinnerKI = new javax.swing.JSpinner();
171     jspinnerKD = new javax.swing.JSpinner();
172     jspinnerSPPressao = new javax.swing.JSpinner();
173     jLabel25 = new javax.swing.JLabel();
174     jspinnerSPFluxo = new javax.swing.JSpinner();
175     jLabel9 = new javax.swing.JLabel();
176     jbtnUt = new javax.swing.JButton();
177     jLabel11 = new javax.swing.JLabel();
178     jbtnEt = new javax.swing.JButton();
179     jLabel12 = new javax.swing.JLabel();
180     jLabel13 = new javax.swing.JLabel();
181     jbtnSomatorioErro = new javax.swing.JButton();
182     jbtnEANTERIORt = new javax.swing.JButton();
183     jspinnerTXSample = new javax.swing.JSpinner();
184     jLabel36 = new javax.swing.JLabel();
185     jbtnDiferencaErro = new javax.swing.JButton();
186     jLabel37 = new javax.swing.JLabel();
187     jLabel38 = new javax.swing.JLabel();
188     jbtnPercentualP_atual_SP = new javax.swing.JButton();
189     jLabel10 = new javax.swing.JLabel();
190     jSpinnerBandaDeAtuacaoPIDPressao = new javax.swing.JSpinner();
191     jLabel39 = new javax.swing.JLabel();
192     jLabel40 = new javax.swing.JLabel();
193     jSpinnerBandaDeAtuacaoPIDFluxo = new javax.swing.JSpinner();
194     jbtnF_L_HA = new javax.swing.JButton();
195     jbtnP_psi = new javax.swing.JButton();
196     jbtnP_BAR = new javax.swing.JButton();
197     jbtnF_HZ = new javax.swing.JButton();
198     jbtnF_L_MIN = new javax.swing.JButton();

```

```

199     jLabel27 = new javax.swing.JLabel();
200     jLabel15 = new javax.swing.JLabel();
201     jLabel16 = new javax.swing.JLabel();
202     jLabel17 = new javax.swing.JLabel();
203     jLabel19 = new javax.swing.JLabel();
204     jLabel28 = new javax.swing.JLabel();
205     jLabel30 = new javax.swing.JLabel();
206     jLabel31 = new javax.swing.JLabel();
207     jLabel14 = new javax.swing.JLabel();
208     jLabel32 = new javax.swing.JLabel();
209     jLabel33 = new javax.swing.JLabel();
210     jLabel34 = new javax.swing.JLabel();
211     jLabel35 = new javax.swing.JLabel();
212     jButtonP_VOLTS = new javax.swing.JButton();
213     jButtonAbrirPortaSerial = new javax.swing.JButton();
214     jScrollPane1 = new javax.swing.JScrollPane();
215     jTextArea1 = new javax.swing.JTextArea();
216     jPanel7 = new javax.swing.JPanel();
217     jLabel41 = new javax.swing.JLabel();
218     jButtonIMGPlacaComando = new javax.swing.JButton();
219     jButtonIMGPlacaUltrassom = new javax.swing.JButton();
220     jPanel8 = new javax.swing.JPanel();
221     jLabel42 = new javax.swing.JLabel();
222     jLabel8 = new javax.swing.JLabel();
223     jButtonLigaVonoff = new javax.swing.JButton();
224     jButtonDesligaVonoff = new javax.swing.JButton();
225     jButtonAuxParaVP = new javax.swing.JButton();
226     jButtonIMGSensorEAlgodao = new javax.swing.JButton();
227     jButtonU_Altura_2 = new javax.swing.JButton();
228     jLabel43 = new javax.swing.JLabel();
229     jLabel44 = new javax.swing.JLabel();
230     jLabel45 = new javax.swing.JLabel();
231     jLabel46 = new javax.swing.JLabel();
232     jLabel47 = new javax.swing.JLabel();
233     jLabel48 = new javax.swing.JLabel();
234     jLabel49 = new javax.swing.JLabel();
235     jLabel50 = new javax.swing.JLabel();
236     jLabel51 = new javax.swing.JLabel();
237     jLabel52 = new javax.swing.JLabel();
238     jLabel53 = new javax.swing.JLabel();
239     jLabel54 = new javax.swing.JLabel();
240     jLabel55 = new javax.swing.JLabel();
241     jLabel56 = new javax.swing.JLabel();
242     jButtonInfoRegrasAplicacao = new javax.swing.JButton();
243
244     setDefaultCloseOperation(javax.swing.WindowConstants.EXIT_ON_CLOSE);
245     getContentPane().setLayout(null);
246
247     jLabel1.setText("Volts");
248     getContentPane().add(jLabel1);
249     jLabel1.setBounds(30, 330, 32, 10);
250
251     jLabel2.setText("psi");
252     getContentPane().add(jLabel2);

```

```

253     jLabel2.setBounds(160, 330, 50, 10);
254
255     jLabel3.setText("BAR");
256     getContentPane().add(jLabel3);
257     jLabel3.setBounds(290, 330, 25, 10);
258
259     jLabel4.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
260     jLabel4.setText("O");
261     getContentPane().add(jLabel4);
262     jLabel4.setBounds(10, 460, 20, 20);
263
264     jLabel5.setText("Hz");
265     getContentPane().add(jLabel5);
266     jLabel5.setBounds(570, 330, 16, 10);
267
268     jLabel6.setText("l/min");
269     getContentPane().add(jLabel6);
270     jLabel6.setBounds(700, 330, 35, 10);
271
272     jLabel7.setText("l/ha");
273     getContentPane().add(jLabel7);
274     jLabel7.setBounds(840, 330, 26, 10);
275
276     jpanelGraficoFluxo.setBackground(new java.awt.Color(255, 255,
255));
277     jpanelGraficoFluxo.setBorder(new
javax.swing.border.MatteBorder(null));
278
279     org.jdesktop.layout.GroupLayout jpanelGraficoFluxoLayout = new
org.jdesktop.layout.GroupLayout(jpanelGraficoFluxo);
280     jpanelGraficoFluxo.setLayout(jpanelGraficoFluxoLayout);
281     jpanelGraficoFluxoLayout.setHorizontalGroup(
282
jpanelGraficoFluxoLayout.createParallelGroup(org.jdesktop.layout.GroupLayout
.LEADING)
283         .add(0, 488, Short.MAX_VALUE)
284     );
285     jpanelGraficoFluxoLayout.setVerticalGroup(
286
jpanelGraficoFluxoLayout.createParallelGroup(org.jdesktop.layout.GroupLayout
.LEADING)
287         .add(0, 278, Short.MAX_VALUE)
288     );
289
290     getContentPane().add(jpanelGraficoFluxo);
291     jpanelGraficoFluxo.setBounds(570, 430, 490, 280);
292
293     jpanelGraficoPressao.setBackground(new java.awt.Color(255, 255,
255));
294     jpanelGraficoPressao.setBorder(new
javax.swing.border.MatteBorder(null));
295
296     org.jdesktop.layout.GroupLayout jpanelGraficoPressaoLayout =
new org.jdesktop.layout.GroupLayout(jpanelGraficoPressao);
297     jpanelGraficoPressao.setLayout(jpanelGraficoPressaoLayout);

```

```

298         jpanelGraficoPressaoLayout.setHorizontalGroup(
299
jpanelGraficoPressaoLayout.createParallelGroup(org.jdesktop.layout.GroupLayo
ut.LEADING)
300             .add(0, 498, Short.MAX_VALUE)
301         );
302         jpanelGraficoPressaoLayout.setVerticalGroup(
303
jpanelGraficoPressaoLayout.createParallelGroup(org.jdesktop.layout.GroupLayo
ut.LEADING)
304             .add(0, 278, Short.MAX_VALUE)
305         );
306
307         getContentPane().add(jpanelGraficoPressao);
308         jpanelGraficoPressao.setBounds(30, 430, 500, 280);
309
310
jpanelControleManual.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createLineBorder(ne
w java.awt.Color(0, 0, 0)));
311         jpanelControleManual.setLayout(null);
312
313         jrbtnAbrirManual.setText("Abrir");
314         jpanelControleManual.add(jrbtnAbrirManual);
315         jrbtnAbrirManual.setBounds(30, 90, 56, 23);
316
317         jrbtnFecharManual.setText("Fechar");
318         jpanelControleManual.add(jrbtnFecharManual);
319         jrbtnFecharManual.setBounds(90, 90, 65, 23);
320
321         jLabel26.setText("Duração (ms) Pulso 12V");
322         jpanelControleManual.add(jLabel26);
323         jLabel26.setBounds(20, 30, 148, 20);
324
325         jLabel24.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 16));
326         jLabel24.setText("Controle Manual");
327         jpanelControleManual.add(jLabel24);
328         jLabel24.setBounds(10, 0, 140, 20);
329
330         jtnEnviarComandoManual.setText("Enviar Comando");
331         jtnEnviarComandoManual.addActionListener(new
java.awt.event.ActionListener() {
332             public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt)
{
333                 jtnEnviarComandoManualActionPerformed(evt);
334             }
335         });
336         jpanelControleManual.add(jtnEnviarComandoManual);
337         jtnEnviarComandoManual.setBounds(30, 120, 136, 25);
338
339         jtfDuracaoSinalManual.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 0,
18));
340         jpanelControleManual.add(jtfDuracaoSinalManual);
341         jtfDuracaoSinalManual.setBounds(20, 50, 150, 40);
342
343         getContentPane().add(jpanelControleManual);

```

```

344         jpanelControleManual.setBounds(770, 100, 190, 160);
345
346
jpanelControlePID.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createLineBorder(new
java.awt.Color(0, 0, 0)));
347         jpanelControlePID.setLayout(null);
348
349         jLabel18.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 16));
350         jLabel18.setText("Controle PID");
351         jpanelControlePID.add(jLabel18);
352         jLabel18.setBounds(10, 0, 110, 20);
353
354         jLabel21.setText("Ki");
355         jpanelControlePID.add(jLabel21);
356         jLabel21.setBounds(110, 30, 13, 15);
357
358         jLabel20.setText("Kp");
359         jpanelControlePID.add(jLabel20);
360         jLabel20.setBounds(10, 30, 17, 15);
361
362         jLabel22.setText("Kd");
363         jpanelControlePID.add(jLabel22);
364         jLabel22.setBounds(210, 30, 20, 20);
365
366         jLabel23.setText("Set Point (psi)");
367         jpanelControlePID.add(jLabel23);
368         jLabel23.setBounds(110, 90, 85, 15);
369
370         jButtonIniciarAtuacao.setText("Iniciar Atuação");
371         jButtonIniciarAtuacao.addActionListener(new
java.awt.event.ActionListener() {
372             public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt)
{
373                 jButtonIniciarAtuacaoActionPerformed(evt);
374             }
375         });
376         jpanelControlePID.add(jButtonIniciarAtuacao);
377         jButtonIniciarAtuacao.setBounds(310, 170, 126, 25);
378
379         jLabel29.setText("A malha será fechada por:");
380         jpanelControlePID.add(jLabel29);
381         jLabel29.setBounds(310, 30, 161, 15);
382
383         jrbtnMalhaFechadaP.setSelected(true);
384         jrbtnMalhaFechadaP.setText("Pressão");
385         jrbtnMalhaFechadaP.addActionListener(new
java.awt.event.ActionListener() {
386             public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt)
{
387                 jrbtnMalhaFechadaPActionPerformed(evt);
388             }
389         });
390         jpanelControlePID.add(jrbtnMalhaFechadaP);
391         jrbtnMalhaFechadaP.setBounds(310, 50, 73, 23);
392

```

```

393 jrbtnMalhaFechadaF.setText("Fluxo");
394 jpanelControlePID.add(jrbtnMalhaFechadaF);
395 jrbtnMalhaFechadaF.setBounds(310, 70, 59, 23);
396
397 jspinnerKP.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
398 jpanelControlePID.add(jspinnerKP);
399 jspinnerKP.setBounds(10, 50, 80, 26);
400
401 jspinnerKI.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
402 jpanelControlePID.add(jspinnerKI);
403 jspinnerKI.setBounds(110, 50, 80, 26);
404
405 jspinnerKD.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
406 jpanelControlePID.add(jspinnerKD);
407 jspinnerKD.setBounds(210, 50, 80, 26);
408
409 jspinnerSPPressao.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
410 jpanelControlePID.add(jspinnerSPPressao);
411 jspinnerSPPressao.setBounds(110, 110, 80, 26);
412
413 jLabel25.setText("Set Point (mI)");
414 jpanelControlePID.add(jLabel25);
415 jLabel25.setBounds(210, 90, 85, 15);
416
417 jspinnerSPFluxo.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
418 jspinnerSPFluxo.setEnabled(false);
419 jpanelControlePID.add(jspinnerSPFluxo);
420 jspinnerSPFluxo.setBounds(210, 110, 80, 26);
421
422 jLabel9.setText("u(t) - ms");
423 jpanelControlePID.add(jLabel9);
424 jLabel9.setBounds(490, 140, 110, 10);
425
426 jbtnUt.setBackground(new java.awt.Color(255, 204, 255));
427 jbtnUt.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
428 jpanelControlePID.add(jbtnUt);
429 jbtnUt.setBounds(490, 150, 120, 40);
430
431 jLabel11.setText("e(t)");
432 jpanelControlePID.add(jLabel11);
433 jLabel11.setBounds(490, 20, 20, 10);
434
435 jbtnEt.setBackground(new java.awt.Color(255, 204, 255));
436 jbtnEt.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
437 jpanelControlePID.add(jbtnEt);
438 jbtnEt.setBounds(490, 30, 120, 40);
439
440 jLabel12.setText("somatorioErro");
441 jpanelControlePID.add(jLabel12);
442 jLabel12.setBounds(490, 80, 89, 10);
443
444 jLabel13.setText("eAnterior(t)");
445 jpanelControlePID.add(jLabel13);
446 jLabel13.setBounds(620, 20, 71, 10);
447

```

```

448         jbtnSomatorioErro.setBackground(new java.awt.Color(255, 204,
255));
449         jbtnSomatorioErro.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
450         jpanelControlePID.add(jbtnSomatorioErro);
451         jbtnSomatorioErro.setBounds(490, 90, 120, 40);
452
453         jbtnEANTERIORt.setBackground(new java.awt.Color(255, 204,
255));
454         jbtnEANTERIORt.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
455         jpanelControlePID.add(jbtnEANTERIORt);
456         jbtnEANTERIORt.setBounds(620, 30, 120, 40);
457
458         jspinnerTXSample.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
459         jspinnerTXSample.addChangeListener(new
javax.swing.event.ChangeListener() {
460             public void stateChanged(javax.swing.event.ChangeEvent evt)
{
461                 jspinnerTXSampleStateChanged(evt);
462             }
463         });
464         jpanelControlePID.add(jspinnerTXSample);
465         jspinnerTXSample.setBounds(10, 110, 80, 26);
466
467         jLabel36.setText("Tx (ms)");
468         jpanelControlePID.add(jLabel36);
469         jLabel36.setBounds(10, 90, 46, 15);
470
471         jbtnDiferencaErro.setBackground(new java.awt.Color(255, 204,
255));
472         jbtnDiferencaErro.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
473         jpanelControlePID.add(jbtnDiferencaErro);
474         jbtnDiferencaErro.setBounds(620, 90, 120, 40);
475
476         jLabel37.setText("e(t)-eAnterior(t)");
477         jpanelControlePID.add(jLabel37);
478         jLabel37.setBounds(620, 80, 120, 10);
479
480         jLabel38.setText("% P_atual/Set Point");
481         jpanelControlePID.add(jLabel38);
482         jLabel38.setBounds(620, 140, 120, 10);
483
484         jbtnPercentualP_atual_SP.setBackground(new java.awt.Color(255,
204, 255));
485         jbtnPercentualP_atual_SP.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1,
18));
486         jpanelControlePID.add(jbtnPercentualP_atual_SP);
487         jbtnPercentualP_atual_SP.setBounds(620, 150, 120, 40);
488
489         jLabel10.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 14));
490         jLabel10.setText("u(t) = kp*e(t) + ki*somatorioErro + kd*(e(t)-
eAnterior(t))/tx");
491         jpanelControlePID.add(jLabel10);
492         jLabel10.setBounds(120, 0, 450, 17);
493

```

```

494         jSpinnerBandaDeAtuacaoPIDPressao.setFont(new
java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
495         jpanelControlePID.add(jSpinnerBandaDeAtuacaoPIDPressao);
496         jSpinnerBandaDeAtuacaoPIDPressao.setBounds(10, 170, 80, 26);
497
498         jLabel39.setText("Banda F");
499         jpanelControlePID.add(jLabel39);
500         jLabel39.setBounds(110, 150, 80, 15);
501
502         jLabel40.setText("Banda P");
503         jpanelControlePID.add(jLabel40);
504         jLabel40.setBounds(10, 150, 80, 15);
505
506         jSpinnerBandaDeAtuacaoPIDFluxo.setFont(new
java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
507         jpanelControlePID.add(jSpinnerBandaDeAtuacaoPIDFluxo);
508         jSpinnerBandaDeAtuacaoPIDFluxo.setBounds(110, 170, 80, 26);
509
510         getContentPane().add(jpanelControlePID);
511         jpanelControlePID.setBounds(10, 100, 750, 200);
512
513         jbtnF_L_HA.setBackground(new java.awt.Color(255, 204, 255));
514         jbtnF_L_HA.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
515         getContentPane().add(jbtnF_L_HA);
516         jbtnF_L_HA.setBounds(830, 340, 120, 80);
517
518         jbtnP_psi.setBackground(new java.awt.Color(255, 204, 255));
519         jbtnP_psi.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
520         getContentPane().add(jbtnP_psi);
521         jbtnP_psi.setBounds(160, 340, 120, 80);
522
523         jbtnP_BAR.setBackground(new java.awt.Color(255, 204, 255));
524         jbtnP_BAR.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
525         getContentPane().add(jbtnP_BAR);
526         jbtnP_BAR.setBounds(290, 340, 120, 80);
527
528         jbtnF_HZ.setBackground(new java.awt.Color(255, 204, 255));
529         jbtnF_HZ.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
530         getContentPane().add(jbtnF_HZ);
531         jbtnF_HZ.setBounds(570, 340, 120, 80);
532
533         jbtnF_L_MIN.setBackground(new java.awt.Color(255, 204, 255));
534         jbtnF_L_MIN.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
535         getContentPane().add(jbtnF_L_MIN);
536         jbtnF_L_MIN.setBounds(700, 340, 120, 80);
537
538         jLabel27.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
539         jLabel27.setText("VÁLVULA REGULADORA PROPORCIONAL");
540         getContentPane().add(jLabel27);
541         jLabel27.setBounds(10, 80, 370, 22);
542
543         jLabel15.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
544         jLabel15.setText("P");
545         getContentPane().add(jLabel15);
546         jLabel15.setBounds(10, 340, 20, 20);

```

```

547
548    jLabel16.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
549    jLabel16.setText("R");
550    getContentPane().add(jLabel16);
551    jLabel16.setBounds(10, 360, 20, 20);
552
553    jLabel17.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
554    jLabel17.setText("E");
555    getContentPane().add(jLabel17);
556    jLabel17.setBounds(10, 380, 20, 20);
557
558    jLabel19.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
559    jLabel19.setText("S");
560    getContentPane().add(jLabel19);
561    jLabel19.setBounds(10, 400, 20, 20);
562
563    jLabel28.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
564    jLabel28.setText("S");
565    getContentPane().add(jLabel28);
566    jLabel28.setBounds(10, 420, 20, 20);
567
568    jLabel30.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
569    jLabel30.setText("S");
570    getContentPane().add(jLabel30);
571    jLabel30.setBounds(10, 420, 20, 20);
572
573    jLabel31.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
574    jLabel31.setText("Ä");
575    getContentPane().add(jLabel31);
576    jLabel31.setBounds(10, 440, 20, 20);
577
578    jLabel14.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
579    jLabel14.setText("F");
580    getContentPane().add(jLabel14);
581    jLabel14.setBounds(550, 340, 20, 30);
582
583    jLabel32.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
584    jLabel32.setText("T");
585    getContentPane().add(jLabel32);
586    jLabel32.setBounds(1080, 500, 20, 30);
587
588    jLabel33.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
589    jLabel33.setText("S");
590    getContentPane().add(jLabel33);
591    jLabel33.setBounds(1080, 580, 20, 30);
592
593    jLabel34.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
594    jLabel34.setText("X");
595    getContentPane().add(jLabel34);
596    jLabel34.setBounds(550, 400, 20, 30);
597
598    jLabel35.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
599    jLabel35.setText("O");
600    getContentPane().add(jLabel35);
601    jLabel35.setBounds(550, 420, 20, 30);

```

```

602
603     jbtnP_VOLTS.setBackground(new java.awt.Color(255, 204, 255));
604     jbtnP_VOLTS.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
605     getContentPane().add(jbtnP_VOLTS);
606     jbtnP_VOLTS.setBounds(30, 340, 120, 80);
607
608     jbtnAbrirPortaSerial.setText("Abrir Porta Serial");
609     jbtnAbrirPortaSerial.addActionListener(new
java.awt.event.ActionListener() {
610         public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt)
{
611             jbtnAbrirPortaSerialActionPerformed(evt);
612         }
613     });
614     getContentPane().add(jbtnAbrirPortaSerial);
615     jbtnAbrirPortaSerial.setBounds(770, 270, 190, 30);
616
617     jTextArea1.setColumns(20);
618     jTextArea1.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 3, 12));
619     jTextArea1.setRows(5);
620     jTextArea1.setText("A: ALTURA; P: PRESSAO; D:DOSE\n\nse (A<20)
entao d1 == 0P;\nse (20 < A < 30) entao d2==20P;\nse (30 < A < 40) entao
d3==30P;\nse (40 < A < 50) entao d4==40P;\nse (50 < A < 70) entao
d5==50P;\nse (A>=70) entao d6==55P;");
621
jTextArea1.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createLineBorder(new
java.awt.Color(0, 0, 0)));
622     jScrollPane1.setViewportView(jTextArea1);
623
624     getContentPane().add(jScrollPane1);
625     jScrollPane1.setBounds(970, 100, 270, 160);
626
627     jPanel7.setBackground(new java.awt.Color(102, 153, 255));
628     jPanel7.setLayout(null);
629
630     jLabel41.setBackground(new java.awt.Color(255, 255, 255));
631     jLabel41.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
632     jLabel41.setForeground(new java.awt.Color(255, 255, 255));
633     jLabel41.setText("Sistema de Controle para VRT de
Fitorregulador nas Plantas de Algodão");
634     jPanel7.add(jLabel41);
635     jLabel41.setBounds(380, 10, 720, 22);
636
637     jbtnIMGPlacaComando.setText("jButton1");
638     jPanel7.add(jbtnIMGPlacaComando);
639     jbtnIMGPlacaComando.setBounds(180, 0, 180, 60);
640
641     jbtnIMGPlacaUltrassom.setText("jButton1");
642     jPanel7.add(jbtnIMGPlacaUltrassom);
643     jbtnIMGPlacaUltrassom.setBounds(0, 0, 180, 60);
644
645     getContentPane().add(jPanel7);
646     jPanel7.setBounds(0, 0, 1290, 60);
647

```

```

648         jPanel8.setBackground(new java.awt.Color(102, 153, 255));
649         jPanel8.setLayout(null);
650
651         jLabel42.setBackground(new java.awt.Color(255, 255, 255));
652         jLabel42.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
653         jLabel42.setForeground(new java.awt.Color(255, 255, 255));
654         jLabel42.setText("Área de mensagens sobre a execução da
Aplicação: Status, Excessões e Operações correntes");
655         jPanel8.add(jLabel42);
656         jLabel42.setBounds(20, 10, 940, 22);
657
658         jLabel8.setText("VOn/Off");
659         jPanel8.add(jLabel8);
660         jLabel8.setBounds(930, 10, 70, 15);
661
662         jbtnLigaVonoff.setText("Liga");
663         jbtnLigaVonoff.addActionListener(new
java.awt.event.ActionListener() {
664             public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt)
{
665                 jbtnLigaVonoffActionPerformed(evt);
666             }
667         });
668         jPanel8.add(jbtnLigaVonoff);
669         jbtnLigaVonoff.setBounds(990, 0, 80, 25);
670
671         jbtnDesligaVonoff.setText("Desliga");
672         jbtnDesligaVonoff.addActionListener(new
java.awt.event.ActionListener() {
673             public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt)
{
674                 jbtnDesligaVonoffActionPerformed(evt);
675             }
676         });
677         jPanel8.add(jbtnDesligaVonoff);
678         jbtnDesligaVonoff.setBounds(1070, 0, 81, 25);
679
680         jbtnAuxParaVP.setText("Parar VP");
681         jbtnAuxParaVP.addActionListener(new
java.awt.event.ActionListener() {
682             public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt)
{
683                 jbtnAuxParaVPActionPerformed(evt);
684             }
685         });
686         jPanel8.add(jbtnAuxParaVP);
687         jbtnAuxParaVP.setBounds(1160, 0, 84, 25);
688
689         getContentPane().add(jPanel8);
690         jPanel8.setBounds(0, 720, 1290, 60);
691
692         jbtnIMGSensorEAlgodao.setText("jButton1");
693         getContentPane().add(jbtnIMGSensorEAlgodao);
694         jbtnIMGSensorEAlgodao.setBounds(1100, 430, 120, 290);
695

```

```

696         jbtnU_Altura_2.setBackground(new java.awt.Color(255, 204,
255));
697         jbtnU_Altura_2.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
698         getContentPane().add(jbtnU_Altura_2);
699         jbtnU_Altura_2.setBounds(1100, 340, 120, 80);
700
701         jLabel43.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
702         jLabel43.setText("R");
703         getContentPane().add(jLabel43);
704         jLabel43.setBounds(1080, 540, 20, 30);
705
706         jLabel44.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
707         jLabel44.setText("M");
708         getContentPane().add(jLabel44);
709         jLabel44.setBounds(1080, 340, 20, 30);
710
711         jLabel45.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
712         jLabel45.setText("É");
713         getContentPane().add(jLabel45);
714         jLabel45.setBounds(1080, 360, 20, 30);
715
716         jLabel46.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
717         jLabel46.setText("D");
718         getContentPane().add(jLabel46);
719         jLabel46.setBounds(1080, 380, 20, 30);
720
721         jLabel47.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
722         jLabel47.setText("I");
723         getContentPane().add(jLabel47);
724         jLabel47.setBounds(1080, 400, 10, 30);
725
726         jLabel48.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
727         jLabel48.setText("A");
728         getContentPane().add(jLabel48);
729         jLabel48.setBounds(1080, 420, 20, 30);
730
731         jLabel49.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
732         jLabel49.setText("L");
733         getContentPane().add(jLabel49);
734         jLabel49.setBounds(550, 360, 20, 30);
735
736         jLabel50.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
737         jLabel50.setText("L");
738         getContentPane().add(jLabel50);
739         jLabel50.setBounds(1080, 480, 20, 30);
740
741         jLabel51.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
742         jLabel51.setText("U");
743         getContentPane().add(jLabel51);
744         jLabel51.setBounds(550, 380, 20, 30);
745
746         jLabel52.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
747         jLabel52.setText("U");
748         getContentPane().add(jLabel52);
749         jLabel52.setBounds(1080, 520, 20, 30);

```

```

750
751     jLabel53.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
752     jLabel53.setText("A");
753     getContentPane().add(jLabel53);
754     jLabel53.setBounds(1080, 460, 20, 30);
755
756     jLabel54.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
757     jLabel54.setText("A");
758     getContentPane().add(jLabel54);
759     jLabel54.setBounds(1080, 560, 20, 30);
760
761     jLabel55.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 16));
762     jLabel55.setText("Controle Manual");
763     getContentPane().add(jLabel55);
764     jLabel55.setBounds(10, 0, 140, 20);
765
766     jLabel56.setFont(new java.awt.Font("Dialog", 1, 18));
767     jLabel56.setText("REGRAS DE APLICAÇÃO");
768     getContentPane().add(jLabel56);
769     jLabel56.setBounds(970, 80, 220, 22);
770
771     jbtnInfoRegrasAplicacao.addActionListener(new
java.awt.event.ActionListener() {
772         public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt)
{
773             jbtnInfoRegrasAplicacaoActionPerformed(evt);
774         }
775     });
776     getContentPane().add(jbtnInfoRegrasAplicacao);
777     jbtnInfoRegrasAplicacao.setBounds(1190, 80, 20, 20);
778
779     pack();
780 }// </editor-fold>
781
782 private void configuraComponentes(){
783
784     log = new LogSistemaDeControle();//cria arquivo e controle de
log
785     checksumZigbee = new Checksum();
786
787     this.setSize(1280, 780);
788     this.setTitle("Sistema Controle de Aplicação a Taxa Variada de
Fitorregulador para o Algodão - FEAGRI/FAPESP");
789     jbtnIMGPlacaComando.setIcon(new
ImageIcon("/home/leonardo/doutorado/ProjetoDoutorado/diretorioutil/comando.p
ng"));
790     jbtnIMGPlacaUltrassom.setIcon(new
ImageIcon("/home/leonardo/doutorado/ProjetoDoutorado/diretorioutil/arranjoul
trasom.png"));
791     jbtnIMGSensorEAlgodao.setIcon(new
ImageIcon("/home/leonardo/doutorado/ProjetoDoutorado/diretorioutil/algodao_s
ensor.png"));
792     jbtnInfoRegrasAplicacao.setIcon(new
ImageIcon("/home/leonardo/doutorado/ProjetoDoutorado/diretorioutil/info.jpg"
));

```

```

793
794
795     //configura valores min, max e step dos spinners
796     SpinnerModel modelJSpinnerKP = new SpinnerNumberModel(1.5, -
10.0, 50.0, 0.1); //initial value//min//max//step
797     SpinnerModel modelJSpinnerKI = new SpinnerNumberModel(0.1, -
10.0, 50.0, 0.1); //initial value//min//max//step
798     SpinnerModel modelJSpinnerKD = new SpinnerNumberModel(10, -
10.0, 50.0, 0.1); //initial value//min//max//step
799     SpinnerModel modelJSpinnerTXSample = new
SpinnerNumberModel(250, 50, 10000, 10); //initial value//min//max//step
800     SpinnerModel modelJSpinnerSPPressao = new SpinnerNumberModel(20,
15, 70, 5); //initial value//min//max//step
801     SpinnerModel modelJSpinnerSPFluxo = new SpinnerNumberModel(20,
20, 1000, 10); //initial value//min//max//step
802     SpinnerModel modelJSpinnerBandaAtuacaoPIDPressao = new
SpinnerNumberModel(1, 0, 10, 0.1); //initial value//min//max//step
803     SpinnerModel modelJSpinnerBandaAtuacaoPIDFluxo = new
SpinnerNumberModel(20, 1, 40, 0.5); //initial value//min//max//step
804     jspinnerKP.setModel(modelJSpinnerKP);
805     jspinnerKI.setModel(modelJSpinnerKI);
806     jspinnerKD.setModel(modelJSpinnerKD);
807     jspinnerTXSample.setModel(modelJSpinnerTXSample);
808     jspinnerSPPressao.setModel(modelJSpinnerSPPressao);
809     jspinnerSPFluxo.setModel(modelJSpinnerSPFluxo);
810     jspinnerTXSample.setModel(modelJSpinnerTXSample);
811
jSpinnerBandaDeAtuacaoPIDPressao.setModel(modelJSpinnerBandaAtuacaoPIDPressa
o);
812
jSpinnerBandaDeAtuacaoPIDFluxo.setModel(modelJSpinnerBandaAtuacaoPIDFluxo);
813
814     //configura os grupos de botoes
815     grupoControleManual = new ButtonGroup();
816     grupoControleManual.add(jrbtnAbrirManual);
817     grupoControleManual.add(jrbtnFecharManual);
818
819     grupoControlePID = new ButtonGroup();
820     grupoControlePID.add(jrbtnMalhaFechadaP);
821     grupoControlePID.add(jrbtnMalhaFechadaF);
822
823     //configura gráficos P e Q
824     graficoP = new Chart2D();
825     graficoP.setGridColor(Color.GRAY);
826
827     graficoP.getAxisY().setRangePolicy(new
RangePolicyMinimumViewport(new Range(0, 60)));
828     graficoP.getAxisY().setPaintGrid(true);
829     graficoP.getAxisY().setAxisTitle(new AxisTitle("Pressão
(Psi)"));
830
831     graficoP.getAxisX().setPaintGrid(true);
832     graficoP.getAxisX().setAxisTitle(new AxisTitle("Tempo (ms)"));
833
834

```

```

835         graficoF = new Chart2D();
836         graficoF.setGridColor(Color.GRAY);
837
838         graficoF.getAxisY().setRangePolicy(new
RangePolicyMinimumViewport(new Range(0, 5)));
839         graficoF.getAxisY().setPaintGrid(true);
840         graficoF.getAxisY().setAxisTitle(new AxisTitle("Fluxo
(1/min)"));
841
842         graficoF.getAxisX().setPaintGrid(true);
843         graficoF.getAxisX().setAxisTitle(new AxisTitle("Tempo (ms)"));
844
845         traceP = new Trace2DLtd(16000);
846         traceP.setName("Pressão");
847         traceP.setPhysicalUnits("ms", "Psi");
848         traceP.setColor(Color.BLUE);
849
850         traceF = new Trace2DLtd(16000);
851         traceF.setName("Fluxo");
852         traceF.setPhysicalUnits("ms", "ml");
853         traceF.setColor(Color.BLUE);
854
855         traceSetPointP = new Trace2DLtd(16000);
856         traceSetPointP.setPhysicalUnits("ms", "psi");
857         traceSetPointP.setName("Set Point");
858         traceSetPointP.setColor(Color.RED);
859
860         traceSetPointF = new Trace2DLtd(16000);
861         traceSetPointF.setPhysicalUnits("ms", "ml");
862         traceSetPointF.setName("Set Point");
863         traceSetPointF.setColor(Color.RED);
864
865         graficoP.addTrace(traceP);
866         graficoP.addTrace(traceSetPointP);
867         graficoF.addTrace(traceF);
868         graficoF.addTrace(traceSetPointF);
869
870         jpanelGraficoPressao.setLayout(null);
871         graficoP.setBounds(0, 0, 500, 280);
872         jpanelGraficoPressao.add(graficoP);
873
874         jpanelGraficoFluxo.setLayout(null);
875         graficoF.setBounds(0, 0, 500, 280);
876         jpanelGraficoFluxo.add(graficoF);
877
878     }
879     private void
jrbtnMalhaFechadaActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
880         // TODO add your handling code here:
881
882     }
883
884     private void
jbtnAbrirPortaSerialActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
885         // TODO add your handling code here:

```

```

886         if (jbtnAbrirPortaSerial.getText().equalsIgnoreCase("Abrir
Porta Serial")) {
887             auxLogico = abrirPortaSerial();
888             if (auxLogico) {
889                 jbtnAbrirPortaSerial.setText("Fechar Porta");
890             }
891         } else {
892             jbtnAbrirPortaSerial.setText("Abrir Porta");
893             log.comitaLogTudo();
894             fecharPortaSerial();
895             timerTXAquisicaoAtuacao.stop();
896         }
897
898
899
900
901         //Carrego o mapa de alturas em um vector, comentar esse trecho
para aplicar sem on-the-go
902         //1) Le arquivo csv e importa num arrayList
903         try {
904             BufferedReader in = new BufferedReader(new
FileReader("/home/leonardo/Desktop/media_altura_por_ponto_12ha.txt"));
905             String str;
906             String [] vetStr;
907             Ponto pto;
908             vectorPtos = new Vector();
909             in.readLine(); //le cabecalho
910             while ((str = in.readLine()) != null) {
911                 try{
912                     vetStr = str.split(";");
913                     pto = new Ponto();
914
915                     pto.setLatitude(Double.parseDouble(vetStr[0]));
916                     pto.setLongitude(Double.parseDouble(vetStr[1]));
917                     pto.setZ(Double.parseDouble(vetStr[2]));
918                     vectorPtos.add(pto);
919                     //          System.out.println(str+"          ok
"+pto.getLatitude()+" "+pto.getLongitude()+" "+pto.getZ());
920                 }catch (NumberFormatException nx) {
921                     System.out.println("causa do erro"+nx.getMessage()
);
922                 }
923             }
924             in.close();
925
926         } catch (IOException e) {
927             System.out.println("erro ao carregar mapa"+e.getMessage()
);
928         }
929         System.out.println("\nMAPA CARREGADO!!!!!!");
930         //FIM carregar mapa
931
932         //          Ponto ptok = new Ponto();
933         //          for (int k=0; k<vectorPtos.size();k++){
934         //              ptok= (Ponto) vectorPtos.elementAt(k);

```

```

935 //
System.out.println((ptok.getLatitude()+" "+ptok.getLongitude()+" "+ptok.getZ
()));
936 //      }
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948     }
949
950     private void
jtnEnviarComandoManualActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
951         // TODO add your handling code here:
952         if(jrbtnAbrirManual.isSelected()){
953
954             try {
955 //                 tipoSensor = 'Y';
956                 comandos.solicitaAberturaVP();
957
Thread.sleep(Integer.parseInt(jtfDuracaoSinalManual.getText()));
958 //                 tipoSensor = 'Z';
959                 comandos.solicitaParadaVP();
960             } catch (InterruptedException ex) {
961                 System.out.println("Excessão Thread.sleep(): " +
ex.getMessage());
962             }
963
964             }else if(jrbtnFecharManual.isSelected()){
965
966                 try {
967 //                     tipoSensor = 'X';
968                     comandos.solicitaFechamentoVP();
969
Thread.sleep(Integer.parseInt(jtfDuracaoSinalManual.getText()));
970 //                     tipoSensor = 'Z';
971                     comandos.solicitaFechamentoVP();
972                 } catch (InterruptedException ex) {
973                     System.out.println("Excessão Thread.sleep(): " +
ex.getMessage());
974                 }
975                 System.out.println( "\n" + "[ENVIU COMANDO X] ");
976
977             }
978
979         }
980
981     private void
jbbtnIniciarAtuacaoActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {

```

```

982 // TODO add your handling code here:
983 /**Algoritmo
984 * A cada execução do timer, deverá ser feito:
985 * 1) leitura das Médias de Altura;
986 * 1.1) Assegurar que passou 100ms antes de uma nova
leitura;
987 * 2) leitura de Pressão;
988 * 3) leitura de Fluxo;
989 * 4) efetuar cálculo de Sinal de Atuação u(t);
990 * 4.1) logar todas variáveis antes de Thread.sleep(u(t));
991 * 5) atuar u(t);
992 * 5.1) Como o sinal de u(t) é dado por
Thread.sleep(u(t)), isso implica que
993 * no tempo u(t) TODA a execução da aplicação será parada,
e com isso não haverá
994 * log, leitura de Sensor ou qualquer outra operação.
995 * SOLUÇÃO 1: a leitura dos sensores é executada por uma
Thread sincronizada
996 * e o sinal de atuação fica na aplicação
principal;
997 * SOLUÇÃO 2: deixar como está, pois funciona. Entretanto
não será lido,
998 * e nem logado as informações dos sensores
enquanto o sinal de atuação
999 * Thread.sleep(u(t)) não for executado por
completo. Outra desvantagem
1000 * dessa alternativa, é por exemplo, que se na
metade do Thread.sleep(u(t))
1001 * alcançou-se o setPoint (por alguma
perturbação), o PID vai ter que esperar o sinal acabar e levar
1002 * o sistema a um sobresinal para depois
corrigir.
1003 * SOLUÇÃO 3: inverso da SOLUÇÃO 1.
1004 * SOLUÇÃO IDEAL: É que o tempo de amostragem seja
suficiente para ler os sensores e calcular/atualizar
1005 * o sinal de U(t), aplicar esse sinal e
mecanicamente a válvula responder, pois há um tempo
1006 * morto antes de que a válvula comece a
responder.
1007 * DÚVIDA: O que acontece em termos das ações
P, I, D e consequentemente no comportamento
1008 * do sistema, quando o sinal vai sendo
atualizado várias vezes antes da válvula responder?
1009 * Cenário 1: Como a válvula ainda não começou
a efetivamente atuar o erro e(t) é cte. Logo
1010 * ação P:  $K_p \cdot e(t)$  não muda;
1011 * ação I:  $K_i \cdot \text{SOMATORIO}(e(t))$ 
aumenta a cada iteração antes da resposta da válvula;
1012 * ação D:  $K_d (e(t) -$ 
e_anterior(t)) não muda.
1013 *
1014 * Portanto o sinal de atuação u(t)
= "P + I + D" aumenta proporcionalmente
1015 * a atualização da ação de I,
antes mesmo da válvula começar a responder.

```

```

1016      *                               Vejo que uma boa prática seria
comparar a diferença [e(t) - e_anterior(t)] antes e depois
1017      *                               do sinal de u(t), pois se a
diferença for igual, não envio u(t) nem atualizo-o, eliminando
1018      *                               assim, o aumento indevido da
ação de I. Um cuidado deve ser tomado, pois caso o PIC
1019      *                               não receba o sinal u(t) o
sistema seria paralizado!!!!, nesse caso, uma solução seria,
1020      *                               se depois de um tempo grande por
exemplo 3s, a diferença não alterou deve-se enviar o
1021      *                               sinal u(t) novamente. Entretanto
deve-se ainda levar em conta os casos de saturação onde a
1022      *                               Válvula proporcional mesmo que
totalmente aberta nunca chegue na Pressão ou Vazão esperada
1023      *                               por limitações do sistema, nesse
caso não adianta comparar a diferença antes e depois de
1024      *                               u(t) pois ela será sempre igual
mesmo que a válvula esteja atuando.
1025      *
1026      *                               DUVIDA: Como detectar que a válvula está
saturada? Conhecendo a pressão máxima do sistema, é possível
1027      *                               identificar essa situação. Na bancada a
pressão máxima é 60psi, então se esse valor ou superior for lido no sensor
de pressão
1028      *                               significa que não pode ser enviado sinal de
u(t) no sentido de abertura.
1029      *
1030      *                               Um caminho simples seria ao enviar um sinal
u(t) adicionado do tempo morto e antes do novo envio de u(t)
1031      *                               esperar pelo menos o tempo morto máximo (entretanto pode
haver caso que tempo morto máximo é maior que u(t)!!?? ).
1032      *
1033      *                               DUVIDA: O tempo morto varia conforme a
posição de abertura que a válvula está?
1034      *
1035      *
1036      *
1037
1038
1039      */
1040      System.out.println("AAA");
1041      log.setFlagTudo();
1042
1043      int
tx=Integer.parseInt(String.valueOf(jspinnerTXSample.getValue()));
1044      if(timerTXAquisicaoAtuacao==null){
1045          timerTXAquisicaoAtuacao = new Timer(tx,
jbtnIniciarAtuacao.getActionListeners()[0]);
1046          timerTXAquisicaoAtuacao.start();
1047          System.out.println("BBB");
1048      }
1049
1050
1051      //VARIAS FORMAS DE SETAR O SETPOINT: AUTOMÁTICO, DEGRAU E VIA
MEDIA DOS MAPA DE ALTURA

```

```

1052
1053
1054
1055 // lê P, lê F, lê U e atua; isso a cada intervalo de tempo
especificado na taxa de aquisição
1056
1057 /**
1058 *
1059 *
1060 *
1061 * CUIDADO: DEIXAR APENAS UMA FORMA DE SETPOINT ATIVA. NO CASO
DE SET POINT VIA MAPA, ATENTAR
1062 * AO TEMPO DE MUDANÇA DE DOSE (tempoMudancaDose)
1063 *
1064 *
1065 *
1066 *
1067 */
1068 //AUTOMÁTICO
1069 setPointP =
Double.parseDouble(String.valueOf(jspinnerSPPressao.getValue()));
1070
1071
1072
1073
1074 //SÒ PARA DEGRAU COMENTAR DEPOIS
1075 // tempoTimerMudarDegrau = tempoTimerMudarDegrau+500;
1076 //
1077 // if(isprimeiroDegrau){
1078 //     setPointP=20;
1079 //     isprimeiroDegrau = false;
1080 // }
1081 //
1082 // if (tempoTimerMudarDegrau == 10000) { //20segundos
1083 //     tempoTimerMudarDegrau=0; //zero para o prox. degrau
1084 //
1085 //     //Observar PID em Degraus Multiplo de 5psi
1086 //     if (setPointP==60) regimeCrescenteDegrau=false;
1087 //     if (!isprimeiroDegrau){
1088 //         if(setPointP<60 && regimeCrescenteDegrau){
1089 //             setPointP = setPointP+5;
1090 //         }else{
1091 //             if (setPointP >=20){
1092 //                 setPointP = setPointP-5;
1093 //             }
1094 //         }
1095 //     }
1096 // }
1097 // }
1098
1099
1100 //// //SETPOINT VIA MAPA
1101 // if(isPrimeiroPtoMapa){
1102 //     tempoMudancaSPMapa=0;

```

```

1103 //          ptoDeAplicacao = (Ponto)
vectorPtos.elementAt(posicPtoMapaAltura);
1104 //          setPointP = calculaSetpoint(ptoDeAplicacao.getZ());
1105 //
1106 //          if (setPointP==0){//Não atualizo setpoint e mando fechar
Von/off
1107 //
1108 //          //Fechar Von/off
1109 //          comandos.solicitaFechamentoVONOFF();
1110 //          comandos.solicitaFechamentoVONOFF();
1111 //          comandos.solicitaFechamentoVONOFF();
1112 //          comandos.solicitaFechamentoVONOFF();
1113 //          comandos.solicitaFechamentoVONOFF();
1114 //          isVONOFFFechada=true;
1115 //      }
1116 //
1117 //
1118 //          posicPtoMapaAltura++;
1119 //          isPrimeiroPtoMapa=false;
1120 //          jbtnU_Altura_2.setText(""+ptoDeAplicacao.getZ());
1121 //
1122 //      }else{
1123 //
tempoMudancaSPMapa=tempoMudancaSPMapa+Integer.parseInt(String.valueOf(jspinn
erTXSample.getValue()));
1124 //          //alterar SetPoint a cada tempo T para percorrer uma
célula de aplicação: Ex 1.5
1125 //          int tempoMudancaDose = 1500; //(1,5s) Recomenda-se tx
multipla desse valor. Ex. 100,250,300,500
1126 //          int tempoMudancaDose = 3000; //(3,0 s) Recomenda-se tx
multipla desse valor. Ex. 100,250,300,500
1127 //          if(tempoMudancaSPMapa>=tempoMudancaDose){
1128 //              if(posicPtoMapaAltura<vectorPtos.size()){
1129 //                  ptoDeAplicacao = (Ponto)
vectorPtos.elementAt(posicPtoMapaAltura);
1130 //                  setPointP =
calculaSetpoint(ptoDeAplicacao.getZ());
1131 //                  posicPtoMapaAltura++;
1132 //                  tempoMudancaSPMapa =0;//comeca a contar novamente
até chegar em tempoMudancaDose
1133 //                  jbtnU_Altura_2.setText(""+ptoDeAplicacao.getZ());
1134 //
1135 //                  if (setPointP==0&&!isVONOFFFechada){//Não
atualizo setpoint e mando fechar Von/off
1136 //                      //Fechar Von/off
1137 //                      comandos.solicitaFechamentoVONOFF();
1138 //                      comandos.solicitaFechamentoVONOFF();
1139 //                      comandos.solicitaFechamentoVONOFF();
1140 //                      comandos.solicitaFechamentoVONOFF();
1141 //                      comandos.solicitaFechamentoVONOFF();
1142 //                      isVONOFFFechada=true;
1143 //                  }else if(isVONOFFFechada){
1144 //
1145 //                      comandos.solicitaAberturaVONOFF();
1146 //                      comandos.solicitaAberturaVONOFF();

```

```

1147 //                                comandos.solicitaAberturaVONOFF();
1148 //                                comandos.solicitaAberturaVONOFF();
1149 //                                comandos.solicitaAberturaVONOFF();
1150 //                                isVONOFFFechada =false;
1151 //                                }
1152 //
1153 //
1154 //                                }else{
1155 //                                System.out.println("APLICAÇÃO FINALIZADA: TODAS
CÉLULAS DO MAPA TIVERAM DOSES ATRIBUÍDAS CONFORM REGRAS DE APLIAÇÃO
PREVIAMENTE DEFINIDAS");
1156 //                                }
1157 //                                }
1158 //                                }
1159 //
1160 //                                System.out.println("Ponto (lat; long; média):
"+ptoDeAplicacao.getLatitude() +" ; "+ ptoDeAplicacao.getLongitude()+
1161 //                                " ; "+ptoDeAplicacao.getZ()+" Dose a ser aplicada:
");
1162 //
1163 //                                //FIM MODO CONFIGURAÇÃO SETPOINT
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177                                log.setSetPointP(String.valueOf(jspinnerSPPressao.getValue()));
1178 //                                setPointF =
Double.parseDouble(String.valueOf(jspinnerSPFluxo.getValue()));
1179 //                                log.setSetPointF(String.valueOf(jspinnerSPFluxo.getValue()));
1180                                //somaTempoAquisicao = somaTempoAquisicao + (tx/1000);
//tranformo para segundos
1181
1182 //                                valorPressaoAnterior = valorPressao;
1183 //                                erroAnteriorP=erroAtualP;
1184
1185                                //                                lê P
1186                                if(somaTempoAquisicao>0){
1187                                    traceP.addPoint(somaTempoAquisicao, valorPressao); //fazer
o mesmo depois para fluxo
1188                                    traceSetPointP.addPoint(somaTempoAquisicao, setPointP);
1189                                }
1190
1191                                tipoSensor = 'P';
1192                                //isConseguiuLerP=false;
1193                                bandaPIDPressao = Double.parseDouble(String.valueOf(
jSpinnerBandaDeAtuacaoPIDPressao.getValue())
1194

```

```

1195         );
1196         log.setBandaPIDPressao(String.valueOf(bandaPIDPressao));
1197
1198
1199         //         for (int i=0; i<10;i++){//A cada execução do timer faço
até 10 tentativas de leitura
1200             for (int i=0; i<1;i++){//TESTE
1201
1202
1203                 valorPressaoAnterior = valorPressao;
1204                 erroAnteriorP=erroAtualP;
1205
1206
1207                 comandos.solicitaPressao();
1208
1209
1210
1211                 //pode ser que isConseguiuLerP nao seja setada a
tempo no evento da serial
1212                 //PROBLEMAO!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
1213                 if(!isConseguiuLerP) System.out.println("Não consegui
ler P ou atualizar em tempo isConseguiuLerP");
1214
1215                 if (valorPressao <70){
1216                     if(isConseguiuLerP &&
1217                         (Math.abs(setPointP-valorPressao) >
1218                             bandaPIDPressao) && dose!=0) { //PERMITIR
ATUAR SOMENTE QUANDO UMA NOVA LEITURA DE P FOR LIDA
1219
1220                         System.out.println("!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!Setou
isConseguiuLerP=true!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!");
1221
jbtnEANTERIORt.setText(String.valueOf(erroAnteriorP));
1222                     log.setEtAnterior(String.valueOf(erroAnteriorP));
1223                     erroAtualP = setPointP-valorPressao;
1224                     log.setEt(String.valueOf(erroAtualP));
1225                     jbtnEt.setText(String.valueOf(erroAtualP));
1226                     somatorioErroP+=erroAtualP;
1227                     log.setEtSomatorio(String.valueOf(somatorioErroP));
1228
jbtnSomatorioErro.setText(String.valueOf(somatorioErroP));
1229
1230                     traceP.addPoint(somaTempoAquisicao, valorPressao);
//fazer o mesmo depois para fluxo
1231                     traceSetPointP.addPoint(somaTempoAquisicao,
setPointP);
1232
1233                     KP
=Double.parseDouble(String.valueOf(jspinnerKP.getValue()));
1234                     log.setKp(String.valueOf(jspinnerKP.getValue()));
1235                     KI
=Double.parseDouble(String.valueOf(jspinnerKI.getValue()));
1236                     log.setKi(String.valueOf(jspinnerKI.getValue()));
1237                     KD
=Double.parseDouble(String.valueOf(jspinnerKD.getValue()));

```

```

1238         log.setKd(String.valueOf(jspinnerKD.getValue()));
1239
1240         taxaAquisicaoAtuacao =
Double.parseDouble(String.valueOf(jspinnerTXSample.getValue())); //ms
1241
1242 //         taxaAquisicaoAtuacao =
Double.parseDouble(String.valueOf(jspinnerTXSample.getValue()))/1000;
//segundo
1243
1244 /**
1245  Pseudocode
1246  Here is a simple software loop that implements
the PID algorithm:
1247      previous_error = 0
1248      integral = 0
1249      start:
1250      error = setpoint - actual_position
1251      integral = integral + (error*dt)
1252      derivative = (error - previous_error)/dt
1253      output = (Kp*error) + (Ki*integral) +
(Kd*derivative)
1254      previous_error = error
1255      wait(dt)
1256      goto start
1257  */
1258 //u_t = kp*e_t + ki*t_s*somatorioErro + kd*((e_t-
e_anterior)/t_s);
1259
1260         sinalAtuacaoPID= KP*erroAtualP + KI*somatorioErroP
+ KD*((erroAtualP - erroAnteriorP)/taxaAquisicaoAtuacao);
1261
1262 //FILTRO
1263 if(Math.abs(sinalAtuacaoPID)> 1000){
1264     System.out.println("SINAL U(T) zerado! pois
sinalAtuacaoPID>1000");
1265     erroAtualP =0;
1266     erroAnteriorP=0;
1267     sinalAtuacaoPID=0;//Rever isso!!
1268     somatorioErroP=0;
1269 //         comandos.solicitaParadaVP();//isso porque às
vezes travava abrindo tudo ou fechando tudo
1270 //         comandos.solicitaParadaVP();
1271 //         comandos.solicitaParadaVP();
1272 //         comandos.solicitaParadaVP();
1273 //         comandos.solicitaParadaVP();
1274 //         comandos.solicitaParadaVP();
1275 //         comandos.solicitaParadaVP();
1276 //         comandos.solicitaParadaVP();
1277 //         comandos.solicitaParadaVP();
1278 //         comandos.solicitaParadaVP();
1279     }
1280 //
1281
1282 //FIM FILTROS
1283

```

```

1284         log.setUtVp(String.valueOf(sinalAtuacaoPID));
1285
1286         jbtnUt.setText(String.valueOf(sinalAtuacaoPID));
1287         jbtnDiferencaErro.setText(String.valueOf(erroAtualP
- erroAnteriorP));
1288         log.setEtMenosEtAnterior(String.valueOf(erroAtualP
- erroAnteriorP));
1289
1290         //colocar uma largura de banda senão vai atuar pra
sempre pois o erro não chega a zero
1291         percentualErroP = Math.abs(1-
valorPressao/setPointP)*100;//%erroP
1292
1293         jbtnPercentualP_atual_SP.setText(String.valueOf(percentualErroP));
1294
1295         log.setPercentualSetPointP(String.valueOf(percentualErroP));
1296
1297         if((setPointP-valorPressao) > 0 &&
(Math.abs(setPointP-valorPressao) >
bandaPIDPressao) && dose!=0){//limitar a
banda
1299
1300         log.setSentidoUt("ABERTURA");
1301         System.out.println("ABERTURA");
1302
1303         try {
1304             //         tipoSensor = 'Y';
1305             comandos.solicitaAberturaVP();
1306             comandos.solicitaAberturaVP();
1307             comandos.solicitaAberturaVP();
1308             comandos.solicitaAberturaVP();
1309             comandos.solicitaAberturaVP();
1310             //         comandos.solicitaAberturaVP();
1311             //         comandos.solicitaAberturaVP();
1312             //         comandos.solicitaAberturaVP();
1313             //         comandos.solicitaAberturaVP();
1314             //         comandos.solicitaAberturaVP();
1315
1316             System.out.println("SENTIDO: ABRIR VÁLVULA
com U(t) = "+sinalAtuacaoPID);
1317
1318         log.novoRegistroLog(log.getConcatenaTudo());
1319
1320         Thread.sleep(Math.abs((int)sinalAtuacaoPID));
1321
1322         //         tipoSensor = 'Z';
1323         comandos.solicitaParadaVP();
1324         comandos.solicitaParadaVP();
1325         comandos.solicitaParadaVP();
1326         comandos.solicitaParadaVP();
1327         comandos.solicitaParadaVP();
1328         comandos.solicitaParadaVP();

```

```

1329 //                comandos.solicitaParadaVP();
1330 //                comandos.solicitaParadaVP();
1331                } catch (InterruptedException ex) {
1332                    System.out.println("Excessão
Thread.sleep(): " + ex.getMessage());
1333                }
1334            }else
1335                if((setPointP-valorPressao) < 0 &&
1336                    (Math.abs(setPointP-valorPressao) >
1337                     bandaPIDPressao)){//limitar a banda
1338
1339                    log.setSentidoUt("FECHAMENTO");
1340                    System.out.println("FECHAMENTO");
1341                    try {
1342
1343                        //                tipoSensor = 'X';
1344                        comandos.solicitaFechamentoVP();
1345                        comandos.solicitaFechamentoVP();
1346                        comandos.solicitaFechamentoVP();
1347                        comandos.solicitaFechamentoVP();
1348                        comandos.solicitaFechamentoVP();
1349                        //                comandos.solicitaFechamentoVP();
1350                        //                comandos.solicitaFechamentoVP();
1351                        //                comandos.solicitaFechamentoVP();
1352                        //                comandos.solicitaFechamentoVP();
1353                        //                comandos.solicitaFechamentoVP();
1354
1355                        System.out.println("SENTIDO: FECHAR VÁLVULA
com U(t) = "+sinalAtuacaoPID);
1356
log.novoRegistroLog(log.getConcatenaTudo());
1357
Thread.sleep(Math.abs((long) sinalAtuacaoPID));
1358
1359                //                tipoSensor = 'Z';
1360                comandos.solicitaParadaVP();
1361                comandos.solicitaParadaVP();
1362                comandos.solicitaParadaVP();
1363                comandos.solicitaParadaVP();
1364                comandos.solicitaParadaVP();
1365                //                comandos.solicitaParadaVP();
1366                //                comandos.solicitaParadaVP();
1367                //                comandos.solicitaParadaVP();
1368                //                comandos.solicitaParadaVP();
1369                //                comandos.solicitaParadaVP();
1370                } catch (InterruptedException ex) {
1371                    System.out.println("Excessão
Thread.sleep(): " + ex.getMessage());
1372                }
1373                System.out.println( "\n" + "[ENVIOU COMANDO
X] ");
1374            }else{
1375                //não atua pois o não há erro
1376            }
1377

```

```

1378             System.out.println("Conseguiu ler Pressão em "+i+ "
interações");
1379             break;//sair do for por já ter lido P
1380
1381         }else {///fim isConseguiuLerP
1382
1383             /**
1384             * Está dentro da Banda de Atuação ou dose==0 ou
não conseguiu ler Pressão.
1385             * Evitar zerar as ações de PID, caso não haja
leitura de Pressão
1386             */
1387             if(isConseguiuLerP) {///só posso zerar se está
dentro da banda de atuação ou dose==0
1388                 somatorioErroP=0;//senao Vp para de atuar e não
consegue zerar.
1389                 //erroAtualP=erroAnteriorP=0; //Talvez fique
mais suave manter erroAtualP=erroAnteriorP???
1390                 sinalAtuacaoPID=0;
1391                 System.out.println("AÇÕES PID ZERADAS POR
PRESSÃO ESTAR DENTRO DA !!BANDA DE PRESSÃO!! OU DOSE ==0");
1392             }
1393         }
1394
1395     }///fim if com filtro
1396     //         System.out.println("Não conseguiu ler PRESSÃO em
"+i+" interações");
1397     }///fim for: loop de tentativas para ler sensor
1398
1399
1400
1401
1402 //         //     lê F
1403 //         valorFluxoAnterior=valorFluxo;
1404 //         tipoSensor = 'F';
1405 //         isConseguiuLerF=false;
1406 //         for (int i=0; i<10;i++){
1407 //             comandos.solicitaFluxo();
1408 //
1409 //             //idem isConseguiuLerP. Pode ser que isConseguiuLerF não
seja atualizado a tempo evento da Serial!!!
1410 //             //PROBLEMAO - DEBUGARRRR
1411 //             if(isConseguiuLerF){
1412 //                 //SE A LEITURA DE F NÃO FOR FEITA O GRAFICO VAI FICAR
INCONSISTENTE
1413 //                 traceF.addPoint(somaTempoAquisicao, valorFluxo);
//fazer o mesmo depois para fluxo
1414 //                 log.setSf(String.valueOf(valorFluxo));
1415 //                 traceSetPointF.addPoint(somaTempoAquisicao,
setPointF);
1416 //
1417 //                 System.out.println("Conseguiu ler Fluxo em "+i+ "
interações");
1418 //                 break;
1419 //             }

```

```

1420 ////////////////////////////////////////////////// System.out.println("Não conseguiu ler FLUXO em "+i+"
interações");
1421 //
1422 //          }///fim for: loop de tentativas para ler sensor
1423 //
1424 //          //Lê Sensores de Ultrasom
1425
1426          somaTempoAquisicao++;//valor atribuído ao eixo x (tempo) dos
gráficos
1427
1428      }
1429 //testes com doses hipotéticas
1430 //dose=interpretadorregrasaplicacao.getDose(double _alturaMedia);
1431 private double calculaSetpoint (double _alturaMedia){
1432
1433     if (_alturaMedia <= 20){
1434         dose=0;//Nesse caso mantem o setPoint anterior e fecha
Valvula On/off
1435     }else if (_alturaMedia > 20 && _alturaMedia<=30){
1436         dose=20;
1437     }else if (_alturaMedia > 30 && _alturaMedia<=40){
1438         dose=30;
1439     }else if (_alturaMedia > 40 && _alturaMedia<=50){
1440         dose=40;
1441     }
1442     else if (_alturaMedia > 50 && _alturaMedia<=60){
1443         dose=50;
1444     }else if (_alturaMedia >60){
1445         dose=55;
1446     }
1447
1448     return dose;
1449
1450 }
1451
1452
1453 private void
jspinnerTXSampleStateChanged(javax.swing.event.ChangeEvent evt) {
1454     // TODO add your handling code here:
1455     int
tx=Integer.parseInt(String.valueOf(jspinnerTXSample.getValue()));
1456     log.setTx(String.valueOf(jspinnerTXSample.getValue()));
1457 //         if(timerTXAquisicaoAtuacao==null){
1458 //             timerTXAquisicaoAtuacao = new Timer(tx,
jbtnTesteTimer.getActionListeners()[0]);
1459 //         }else{
1460             timerTXAquisicaoAtuacao.setDelay(tx);
1461 //         }
1462     }
1463
1464 private void
jbtnLigaVonoffActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
1465     // TODO add your handling code here:
1466     comandos.solicitaAberturaVONOFF();
1467 }

```

```

1468
1469     private void
jbtnDesligaVonoffActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
1470         // TODO add your handling code here:
1471         comandos.solicitaFechamentoVONOFF();
1472     }
1473 }
1474
1475     private void
jbtnAuxParaVPActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
1476         // TODO add your handling code here:
1477         comandos.solicitaParadaVP();
1478     }
1479
1480     private void
jbtnInfoRegrasAplicacaoActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
1481         // TODO add your handling code here:
1482     }
1483
1484     private boolean abrirPortaSerial() {
1485
1486         try {
1487             // recuperar um obj CommomPortIndentifier pelo nome da
1488             //idPorta = CommPortIdentifier.getPortIdentifier((String)
1489             jComboBoxPortasIdentificadas.getSelectedItem());
1490             idPorta =
1491             CommPortIdentifier.getPortIdentifier("/dev/ttyUSB0"); //ver
1492             /var/log/messages
1493             portaSerial = (SerialPort)
1494             idPorta.open("TelaPortaSerialApp", 3000);
1495             /**
1496             * em
1497             http://en.wikibooks.org/wiki/Serial_Programming/Serial_Java
1498             * é sugerido criar uma thread para a escrita pois pode
1499             ocorrer bloqueio:
1500             * 'Using a separate thread for writing has one purpose:
1501             *   Avoiding that the whole application blocks in case the
1502             serial port is not ready for writing.'
1503             */
1504             streamEntrada = portaSerial.getInputStream();
1505             streamSaida = portaSerial.getOutputStream();
1506             comandos = new Comandos(streamEntrada, streamSaida);
1507         } catch (NoSuchPortException ex) { //idPorta
1508             System.out.println("NoSuchPortException \n" +
1509             ex.getMessage());
1510             return false;
1511         } catch (PortInUseException e) { //portaSerial
1512             System.out.println("PortInUseException \n" +
1513             e.getMessage());
1514             return false;
1515         } catch (IOException e) { //streamEntrada e streamSaida
1516             System.out.println(e.getMessage());
1517         }
1518     }
1519

```

```

1510         try {
1511             portaSerial.addEventListener(this); //é permitido apenas um
listening por porta serial
1512         } catch (TooManyListenersException e) {
1513         }
1514
1515         portaSerial.notifyOnDataAvailable(true);
1516         portaSerial.notifyOnOutputEmpty(true);
1517
1518         try {
1519             portaSerial.setSerialPortParams(
1520                 115200,
1521                 SerialPort.DATABITS_8,
1522                 SerialPort.STOPBITS_1,
1523                 SerialPort.PARITY_NONE);
1524             //jTextAreaRX.setText("Valor de
Integer.parseInt((String)jComboBoxTaxaComunicacao.getSelectedItem()
"+Integer.parseInt((String)jComboBoxTaxaComunicacao.getSelectedItem()));
1525             System.out.println("ok");
1526         } catch (UnsupportedCommOperationException e) {
1527             System.out.println(e.getMessage());
1528         }
1529
1530         return true;
1531     }
1532
1533
1534     private void fecharPortaSerial() {
1535
1536         //         streamEntrada.close();
1537         //         streamSaida.close();
1538         comandos.closeStreams();
1539         portaSerial.close();
1540     }
1541
1542     /**
1543     * Handles SerialPortEvents. The two types of SerialPortEvents that
this
1544     * program is registered to listen for are DATA_AVAILABLE and BI.
During
1545     * DATA_AVAILABLE the port buffer is read until it is drained, when
no more
1546     * data is availble and 30ms (ESSE TEMPO É CONFIGURÁVEL!! SETEI EM
0ms) has
1547     * passed the method returns. When a BI event occurs the words
1548     * BREAK RECEIVED are written to the messageAreaIn.
1549     */
1550
1551     public synchronized void serialEvent(SerialPortEvent evento) {
1552
1553         int novoDado = 0;
1554
1555         switch (evento.getEventType()) {
1556

```

```

1557 //Ver http://en.wikibooks.org/wiki/Serial_Programming:RS-
232_Connections
1558 case SerialPortEvent.BI:
1559     break;//Break interrupt.
1560 case SerialPortEvent.OE:
1561     break;//Overrun error.
1562 case SerialPortEvent.FE:
1563     break;//Framing error.
1564 case SerialPortEvent.PE:
1565     break;//Parity error.
1566 case SerialPortEvent.CD:
1567     break;//Carrier detect.
1568 case SerialPortEvent.CTS:
1569     break;//Clear to send.
1570 case SerialPortEvent.DSR:
1571     break;//Data set ready
1572 case SerialPortEvent.RI:
1573     break;//Ring indicator.
1574 case SerialPortEvent.OUTPUT_BUFFER_EMPTY://Output buffer is
empty.
1575     break;
1576 case SerialPortEvent.DATA_AVAILABLE:
1577
1578
1579     switch (tipoSensor) { //identificar e recuperar quadro
de dados para cada sensor
1580
1581         /**
1582         * Se SP aguardo 18 bytes (7 de comunicação e 11 de
dados)
1583         * ou se SF aguardo 19bytes (7 de comunicação e 12
de dados)
1584         * ou se SU aguardo de 31 a 35 bytes (7 de
comunicação e 24 até 28 bytes)
1585         * Dessa forma se alternar a leitura sem que o dado
seja recebido pode gerar
1586         * mistura de bytes e inconsistência nos
dados.Nesse sentido também,
1587         * a variável tipoSensor não pode alterar o seu
valor enquanto
1588         * os dado do sensor não for completamente lido.
Levar em consideração que há
1589         * comandos como os de controle das válvulas, que
só retornam ack. Há
1590         * a possibilidade também de um comando ser enviado
e o ack se perder.
1591         */
1592         case 'P':
1593             //126 0 3 137 1 0 117           126 0 7 129 0 1 41
0 0 0 84
1594             try {
1595
1596                 while (streamEntrada.available() > 0 &&
!isQtdeBytesDesejadoP) {

```

```

1597         novoDado = streamEntrada.read(); //lê o
próximo byte, retorna -1 se nada for lido ou final de stream
1598         System.out.print(" " + novoDado+" ");
1599
1600
1601
1602
1603         auxContBytes++;
1604 //         System.out.println(" auxContBytes ==
"+auxContBytes);
1605
1606         //Adicionar apenas os bytes
relacionados ao pacote com dados
1607         if (auxContBytes <= 11) {
1608
1609             bufferEntrada.append(novoDado +
";");
1610
1611         System.out.println("bufferEntrada.append(novoDado + )
"+bufferEntrada.toString());
1612
1613         /*Verificar bytes de Status de
Comunicação e Descartar
1614             126 0 3 137 1 0 117 (OK) 126 0 3
137 1 1 116 (FALHA, possivelmente desligado)*/
1615             if (auxContBytes==7){
1616 //                 System.out.println("\nbuffer
com auxContBytes==7 "+bufferEntrada.toString());
1617
1618             if(bufferEntrada.length()>=20){//Mesmo com auxContBytes==7 às vezes dava
NulPointerException!!!
1619             //Parece que está havendo concorrência no acesso ao buffer!VERIFICAR
1620             if(bufferEntrada.substring(0, 20).equalsIgnoreCase("126;0;3;137;1;0;117;")){
1621                 bufferEntrada.delete(0,
20);
1622 //
System.out.println("\nbufferEntrada.delete(0, 20); \n"+
bufferEntrada.toString());
1623 //
System.out.println("REMOVEU ACK");
1624                 auxContBytes=0;
1625                 isACKRecebido=true;
1626             }else
if(bufferEntrada.substring(0, 20).equalsIgnoreCase("126;0;3;137;1;1;116;")){
1627                 bufferEntrada.delete(0,
20);
1628 //
System.out.println("\nbufferEntrada.delete(0, 20); \n"+
bufferEntrada.toString());
1629 //
System.out.println("REMOVEU ACK");

```

```

1630                                     auxContBytes=0;
1631                                     isACKRecebido=true;
1632
System.out.println("\nPLACA PRESSAO SEM COMUNICACAO");
1633
1634                                     }else { //Os 7 primeiros
bytes devem ser ACK e se isso não acontecer é preciso limpar todos dados
1635                                     //que a porta serial
vai receber
1636
1637                                     System.out.println("OS
PRIMEIROS 7 BYTES NAO SAO ACK");
1638 //
System.out.println("VOU ESVAZIAR BUFFER PORQUE OS PRIMEIROS 7 BYTES NAO SAO
ACK");
1639 //                                     while
(streamEntrada.available())>0){//Esvaziar buffer. Algum problema aconteceu
1640 //
streamEntrada.read();
1641 //                                     }
1642 //
resetVariaveisSerialEvent();
1643                                     }
1644                                     }
1645                                     }
1646
1647                                     //if ((streamEntrada.available() >
0||novoDado== -1) && auxContBytes == 11) {
1648                                     if (auxContBytes == 11) {//É
possível ter 11 bytes e ainda ter dados na Porta Serial
1649                                     isQtdeBytesDesejadoP =
true;
1650                                     auxContBytes=0;
1651
1652
System.out.println("\n_____ALCANCOU 11 BYTES_____");
1653
System.out.println(bufferEntrada.toString());
1654
System.out.println("\n_____");
1655                                     break;
1656                                     }
1657
1658
1659                                     }else{//isso tem acontecido qdo bytes
do Status de Comunicação entram no buffer de dados
1660
1661                                     System.out.println("\nBUFFER
ESTOURADO (" +auxContBytes+"): " +bufferEntrada.toString());
1662                                     System.out.println("VOU
ESVAZIAR BUFFER PORQUE PASSOU DE 11 BYTES");
1663                                     while
(streamEntrada.available())>0){//Esvaziar buffer. Algum problema aconteceu
1664                                     streamEntrada.read();

```

```

1665                                     }
1666                                     isQtdeBytesDesejadoP =false;
1667                                     auxContBytes=0;
1668                                     bufferEntrada.delete(0,
bufferEntrada.length()); //limpa buffer
1669                                     isACKRecebido=false;
1670                                     }
1671                                     }
1672                                     } //fim while
1673
1674
1675 //                                     System.out.println(" (VALOR DE
isQtdeBytesDesejadoP="+isQtdeBytesDesejadoP+ " BUFFER
"+bufferEntrada.toString());
1676 //                                     if (novoDado == -1 ||
streamEntrada.available() == 0) {
1677
1678                                     if
(isQtdeBytesDesejadoP&&bufferEntrada.length()>=20){ //Acesso concorrente de
Threads estava dando arrayindexboundeception
1679                                     //isQtdeBytesDesejadoP=false;
1680                                     /*
1681                                     0) Verifica se o pacote é da
Placa 1: [...0 1...] se pacote placa 1;
1682                                     1) calcula ckecksum;
1683                                     2) tranformar bytes de pressão
em psi
1684                                     3) mostra pressão transformada
na Interface
1685                                     */
1686
1687                                     String[] vetStrStatusEData =
bufferEntrada.toString().split(";");
1688                                     System.out.println("tamanho de
vetStrStatusEData - deve ser 11 "+vetStrStatusEData.length);
1689
1690                                     // 0) Verifica se o pacote é da
Placa 1: [...0 1...] se pacote placa 2;
1691                                     //Ex.: 126 0 7 129 0 1 41 0 0 0 84
1692
if(vetStrStatusEData[4].equalsIgnoreCase("0") &&
vetStrStatusEData[5].equalsIgnoreCase("1")){
1693                                     //1) calcula ckecksum;
1694                                     if
(checksumZigbee.isPacotesEDadosIntegros(vetStrStatusEData)) { //Verifica se
bytes OK
1695
1696 //
System.out.println("CHECKSUM PRESSAO OK!");
1697                                     valorPressao = -1;
1698
1699                                     // 2) tranformar bytes de
pressão em psi
1700                                     //converter valor para psi.
A << 8 = R1 ou (A*256); T=R1+B; Tensao=T*(5/1023)

```

```

1701                                     //mostrar valor na
aplicacao
1702                                     //126 0 7 129 0 1 41 0 0 0
84
1703                                     A =
Double.parseDouble(vetStrStatusEData[8]) * 256;
1704                                     B =
Double.parseDouble(vetStrStatusEData[9]);
1705
1706                                     tensao = (A + B) *
0.00488758553274682307;
1707                                     valorPressao = 20 *
tensao;//conversão de volt para psi
1708                                     isConseguiuLerP=true;
1709                                     System.out.println("Valor
de pressão em psi: "+valorPressao);
1710                                     valorPressaoBAR =
valorPressao/0.0689475729;//conversão de volt para BAR 1 pound per square
inch = bar
1711                                     jbtnP_VOLTS.setText("" +
String.valueOf(tensao));
1712                                     jbtnP_psi.setText("" +
String.valueOf(valorPressao));
1713                                     jbtnP_BAR.setText("" +
String.valueOf(valorPressaoBAR));
1714
1715                                     log.setSp(String.valueOf(valorPressao));
1716                                     log.setPkgSP(bufferEntrada.toString());
1717                                     Date dataHoraAtual= new
Date();
1718                                     log.setHoraColetaSP(formatadorDataEHora.format(dataHoraAtual).replaceFirst("
:", "h"));
1719                                     replaceFirst(":", "m").replaceFirst(":", "s").replaceFirst(":", "ms"));
1720                                     bufferEntrada.delete(0,
bufferEntrada.length());
1721
1722                                     } else { //se qtde bytes for 18
mas não for válido então devo esvaziar o buffer e enviar comando de leitura
novamente.
1723
1724                                     System.out.println("Falha
no checksum de P");
1725                                     isConseguiuLerP=false;
1726                                     }
1727                                     }
1728
1729                                     isQtdeBytesDesejadoP=false;
1730                                     auxContBytes = 0;
1731                                     isACKRecebido=false;
1732                                     bufferEntrada.delete(0,
bufferEntrada.length());

```

```

1733
1734                                     }
1735 //                                     }//se não tem mais bytes na porta serial
1736
1737                                     System.out.println("DEPOIS____VALOR LÒGICO
DE isQtdeBytesDesejadoP "+isQtdeBytesDesejadoP+ "DE isConseguiuLerP
"+isConseguiuLerP);
1738
1739                                     } catch (IOException ex) {
1740                                     System.out.println(" Problema de IO sensor
de Pressão " + ex.getMessage());
1741                                     }
1742
1743
1744                                     break;
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752                                     case 'F'://[bytes lidos] 126 0 3 137 1 0 117
[bytes lidos] 126 0 8 129 0 1 51 0 16 93 112 109
1753
1754                                     try {
1755
1756                                     while (streamEntrada.available() > 0 &&
!isQtdeBytesDesejadoF) {
1757                                     novoDado = streamEntrada.read(); //lê o
próximo byte, retorna -1 se nada for lido ou final de stream
1758                                     System.out.print(" " + novoDado+" ");
1759
1760
1761
1762
1763                                     auxContBytes++;
1764 //                                     System.out.println(" auxContBytes ==
"+auxContBytes);
1765
1766                                     //Adicionar apenas os bytes
relacionados ao pacote com dados
1767                                     if (auxContBytes <= 12) {
1768
1769                                     bufferEntrada.append(novoDado +
";");
1770
1771
System.out.println("bufferEntrada.append(novoDado + )
"+bufferEntrada.toString());
1772
1773                                     /*Verificar bytes de Status de
Comunicação e Descartar
1774                                     126 0 3 137 1 0 117 (OK) 126 0 3
137 1 1 116 (FALHA, possivelmente desligado)*/

```

```

1775             if (auxContBytes==7){
1776 //                 System.out.println("\nbuffer
com auxContBytes==7 "+bufferEntrada.toString());
1777
1778 if(bufferEntrada.length()>=20){//Mesmo com auxContBytes==7 às vezes dava
NulPointerException!!!
1779
//Parece que está havendo concorrência no acesso ao buffer!VERIFICAR
1780
if(bufferEntrada.substring(0, 20).equalsIgnoreCase("126;0;3;137;1;0;117;")){
1781             bufferEntrada.delete(0,
20);
1782 //
System.out.println("\nbufferEntrada.delete(0, 20); \n"+
bufferEntrada.toString());
1783 //
System.out.println("REMOVEU ACK");
1784             auxContBytes=0;
1785             isACKRecebido=true;
1786         }else
if(bufferEntrada.substring(0, 20).equalsIgnoreCase("126;0;3;137;1;1;116;")){
1787             bufferEntrada.delete(0,
20);
1788 //
System.out.println("\nbufferEntrada.delete(0, 20); \n"+
bufferEntrada.toString());
1789 //
System.out.println("REMOVEU ACK");
1790             auxContBytes=0;
1791             isACKRecebido=true;
1792
System.out.println("\nPLACA FLUXO SEM COMUNICACAO");
1793
1794             }else { //Os 7 primeiros
bytes devem ser ACK e se isso não acontecer é preciso limpar todos dados
1795             //que a porta serial
vai receber
1796
1797             System.out.println("OS
PRIMEIROS 7 BYTES NAO SAO ACK");
1798 //
System.out.println("VOU ESVAZIAR BUFFER PORQUE OS PRIMEIROS 7 BYTES NAO SAO
ACK");
1799 //
while
(streamEntrada.available()>0){//Esvaziar buffer. Algum problema aconteceu
1800 //
streamEntrada.read();
1801 //
}
1802 //
resetVariaveisSerialEvent();
1803
}
1804
}
1805
}
1806

```

```

1807                                     //if ((streamEntrada.available() >
0||novoDado== -1) && auxContBytes == 11) {
1808                                     if (auxContBytes == 12) {//É
possível ter 11 bytes e ainda ter dados na Porta Serial
1809                                     isQtdeBytesDesejadoF =
true;
1810                                     auxContBytes=0;
1811
1812
1813 System.out.println("\n_____ALCANCOU 11 BYTES_____");
1814 System.out.println(bufferEntrada.toString());
1815
1816                                     break;
1817                                     }
1818
1819                                     }else{//isso tem acontecido qdo bytes
do Status de Comunicação entram no buffer de dados
1820
1821                                     System.out.println("\nBUFFER
FLUXO ESTOURADO (" +auxContBytes+"): " +bufferEntrada.toString());
1822                                     System.out.println("VOU
ESVAZIAR BUFFER PORQUE PASSOU DE 12 BYTES");
1823                                     while
(streamEntrada.available()>0){//Esvaziar buffer. Algum problema aconteceu
1824                                     streamEntrada.read();
1825                                     }
1826                                     isQtdeBytesDesejadoF =false;
1827                                     auxContBytes=0;
1828                                     bufferEntrada.delete(0,
bufferEntrada.length());//limpa buffer
1829                                     isACKRecebido=false;
1830                                     }
1831
1832                                     }//fim while
1833
1834
1835 //                                     System.out.println("(VALOR DE
isQtdeBytesDesejadoF="+isQtdeBytesDesejadoF+ " BUFFER
"+bufferEntrada.toString());
1836 //                                     if (novoDado == -1 ||
streamEntrada.available() == 0) {
1837
1838                                     if
(isQtdeBytesDesejadoF&&bufferEntrada.length()>=20){//Acesso concorrente de
Threads estava dando arrayindexboundeception
1839                                     //isQtdeBytesDesejadoF=false;
1840                                     /*
1841                                     0) Verifica se o pacote é da
Placa 1: [...0 1...] se pacote placa 1;
1842                                     1) calcula ckecksum;
1843                                     2) tranformar bytes de pressão
em psi

```

```

1844                                     3) mostra pressão transformada
na Interface
1845                                     */
1846
1847                                     String[] vetStrStatusEData =
bufferEntrada.toString().split(";");
1848                                     System.out.println("tamanho de
vetStrStatusEData - deve ser 12 "+vetStrStatusEData.length);
1849
1850                                     // 0) Verifica se o pacote é da
Placa 1: [...0 1...] se pacote placa 2;
1851                                     //Ex.: 126 0 7 129 0 1 41 0 0 0 84
1852
if(vetStrStatusEData[4].equalsIgnoreCase("0") &&
vetStrStatusEData[5].equalsIgnoreCase("1")){
1853                                     //1) calcula checksum;
1854                                     if
(checksumZigbee.isPacotesEDadosIntegros(vetStrStatusEData)) { //Verifica se
bytes OK
1855
1856                                     System.out.println("CHECKSUM
FLUXO OK!!");
1857                                     //converter valor para psi.
A << 16=R1; B<<8=R2; T=R1+R2+C; Período= T/1000000; Frequência = 1/T;
1858                                     //mostrar valor na
aplicacao
1859                                     A =
Double.parseDouble(vetStrStatusEData[8]) * 65536;
1860                                     B =
Double.parseDouble(vetStrStatusEData[9]) * 256;
1861                                     C =
Double.parseDouble(vetStrStatusEData[10]);
1862                                     período = (A + B + C) /
1000000;
1863                                     frequência = 1 / período;
1864
1865                                     jbtnF_HZ.setText("" +
frequência);
1866                                     valorFluxo = frequência /
105; //converter para litros. O número de calibração do sensor é de 105
impulsos/litro
1867                                     jbtnF_L_MIN.setText("" +
valorFluxo);
1868
1869
log.setSf(String.valueOf(valorFluxo));
1870
log.setPkgSF(bufferEntrada.toString());
1871                                     Date dataHoraAtual= new
Date();
1872
log.setHoraColetaSF(formatadorDataEHora.format(dataHoraAtual).replaceFirst("
:", "h"));
1873
replaceFirst(":", "m").replaceFirst(":", "s").replaceFirst(":", "ms"));

```

```

1874                                     isConseguiuLerF=true;
1875
1876
1877                                     } else { //se qtde bytes for 18
mas não for válido então devo esvaziar o buffer e enviar comando de leitura
novamente.
1878
1879                                     System.out.println("Falha
no checksum de F");
1880                                     isConseguiuLerF=false;
1881                                     }
1882                                     }
1883
1884                                     isQtdeBytesDesejadoF=false;
1885                                     auxContBytes = 0;
1886                                     isACKRecebido=false;
1887                                     bufferEntrada.delete(0,
bufferEntrada.length());
1888
1889                                     }
1890 //                                     } //se não tem mais bytes na porta serial
1891
1892                                     System.out.println("DEPOIS ____ VALOR LÓGICO
DE isQtdeBytesDesejadoF "+isQtdeBytesDesejadoF+ "DE isConseguiuLerP
"+isConseguiuLerF);
1893
1894                                     } catch (IOException ex) {
1895                                     System.out.println(" Problema de IO sensor
de Fluxo " + ex.getMessage());
1896                                     }
1897
1898                                     break;
1899
1900
1901
1902                                     case 'U':
1903                                     //Importar TelaViewUltrassom pra cá!
1904                                     break;
1905
1906                                     default:
1907                                     try { //Ler apenas para limpar quadro de status
comunicação, senão interfere em P e F
1908                                     while (streamEntrada.available() > 0) {
1909                                     streamEntrada.read(); //lê o próximo
byte, retorna -1 se nada for lido ou final de stream
1910                                     }
1911                                     System.out.println(" LIMPANDO ACK DE X e
Z");
1912                                     } catch (IOException ex) {
1913                                     System.out.println(" Problema de IO sensor
de Fluxo default " + ex.getMessage());
1914                                     }
1915                                     }
1916                                     break;
1917                                     }

```

```

1918     }
1919
1920
1921     // Variables declaration - do not modify
1922     private javax.swing.ButtonGroup buttonGroup1;
1923     private javax.swing.ButtonGroup buttonGroup2;
1924     private javax.swing.JLabel jLabel1;
1925     private javax.swing.JLabel jLabel10;
1926     private javax.swing.JLabel jLabel11;
1927     private javax.swing.JLabel jLabel12;
1928     private javax.swing.JLabel jLabel13;
1929     private javax.swing.JLabel jLabel14;
1930     private javax.swing.JLabel jLabel15;
1931     private javax.swing.JLabel jLabel16;
1932     private javax.swing.JLabel jLabel17;
1933     private javax.swing.JLabel jLabel18;
1934     private javax.swing.JLabel jLabel19;
1935     private javax.swing.JLabel jLabel2;
1936     private javax.swing.JLabel jLabel20;
1937     private javax.swing.JLabel jLabel21;
1938     private javax.swing.JLabel jLabel22;
1939     private javax.swing.JLabel jLabel23;
1940     private javax.swing.JLabel jLabel24;
1941     private javax.swing.JLabel jLabel25;
1942     private javax.swing.JLabel jLabel26;
1943     private javax.swing.JLabel jLabel27;
1944     private javax.swing.JLabel jLabel28;
1945     private javax.swing.JLabel jLabel29;
1946     private javax.swing.JLabel jLabel3;
1947     private javax.swing.JLabel jLabel30;
1948     private javax.swing.JLabel jLabel31;
1949     private javax.swing.JLabel jLabel32;
1950     private javax.swing.JLabel jLabel33;
1951     private javax.swing.JLabel jLabel34;
1952     private javax.swing.JLabel jLabel35;
1953     private javax.swing.JLabel jLabel36;
1954     private javax.swing.JLabel jLabel37;
1955     private javax.swing.JLabel jLabel38;
1956     private javax.swing.JLabel jLabel39;
1957     private javax.swing.JLabel jLabel4;
1958     private javax.swing.JLabel jLabel40;
1959     private javax.swing.JLabel jLabel41;
1960     private javax.swing.JLabel jLabel42;
1961     private javax.swing.JLabel jLabel43;
1962     private javax.swing.JLabel jLabel44;
1963     private javax.swing.JLabel jLabel45;
1964     private javax.swing.JLabel jLabel46;
1965     private javax.swing.JLabel jLabel47;
1966     private javax.swing.JLabel jLabel48;
1967     private javax.swing.JLabel jLabel49;
1968     private javax.swing.JLabel jLabel5;
1969     private javax.swing.JLabel jLabel50;
1970     private javax.swing.JLabel jLabel51;
1971     private javax.swing.JLabel jLabel52;
1972     private javax.swing.JLabel jLabel53;

```

```

1973     private javax.swing.JLabel jLabel54;
1974     private javax.swing.JLabel jLabel55;
1975     private javax.swing.JLabel jLabel56;
1976     private javax.swing.JLabel jLabel6;
1977     private javax.swing.JLabel jLabel7;
1978     private javax.swing.JLabel jLabel8;
1979     private javax.swing.JLabel jLabel9;
1980     private javax.swing.JPanel jPanel7;
1981     private javax.swing.JPanel jPanel8;
1982     private javax.swing.JScrollPane jScrollPane1;
1983     private javax.swing.JSpinner jSpinnerBandaDeAtuacaoPIDFluxo;
1984     private javax.swing.JSpinner jSpinnerBandaDeAtuacaoPIDPressao;
1985     private javax.swing.JTextArea jTextAreal;
1986     private javax.swing.JButton jbtnAbrirPortaSerial;
1987     private javax.swing.JButton jbtnAuxParaVP;
1988     private javax.swing.JButton jbtnDesligaVonoff;
1989     private javax.swing.JButton jbtnDiferencaErro;
1990     private javax.swing.JButton jbtnEANTERIOR;
1991     private javax.swing.JButton jbtnEt;
1992     private javax.swing.JButton jbtnF_HZ;
1993     private javax.swing.JButton jbtnF_L_HA;
1994     private javax.swing.JButton jbtnF_L_MIN;
1995     private javax.swing.JButton jbtnIMGPlacaComando;
1996     private javax.swing.JButton jbtnIMGPlacaUltrassom;
1997     private javax.swing.JButton jbtnIMGSensorEAlgodao;
1998     private javax.swing.JButton jbtnInfoRegrasAplicacao;
1999     private javax.swing.JToggleButton jbtnIniciarAtuacao;
2000     private javax.swing.JButton jbtnLigaVonoff;
2001     private javax.swing.JButton jbtnP_BAR;
2002     private javax.swing.JButton jbtnP_psi;
2003     private javax.swing.JButton jbtnP_VOLTS;
2004     private javax.swing.JButton jbtnPercentualP_atual_SP;
2005     private javax.swing.JButton jbtnSomatorioErro;
2006     private javax.swing.JButton jbtnU_Altura_2;
2007     private javax.swing.JButton jbtnUt;
2008     private javax.swing.JPanel jPanelControleManual;
2009     private javax.swing.JPanel jPanelControlePID;
2010     private javax.swing.JPanel jPanelGraficoFluxo;
2011     private javax.swing.JPanel jPanelGraficoPressao;
2012     private javax.swing.JRadioButton jrbtnAbrirManual;
2013     private javax.swing.JRadioButton jrbtnFecharManual;
2014     private javax.swing.JRadioButton jrbtnMalhaFechadaF;
2015     private javax.swing.JRadioButton jrbtnMalhaFechadaP;
2016     private javax.swing.JSpinner jspinnerKD;
2017     private javax.swing.JSpinner jspinnerKI;
2018     private javax.swing.JSpinner jspinnerKP;
2019     private javax.swing.JSpinner jspinnerSPFluxo;
2020     private javax.swing.JSpinner jspinnerSPPressao;
2021     private javax.swing.JSpinner jspinnerTXSample;
2022     private javax.swing.JTextField jtfdDuracaoSinalManual;
2023     private javax.swing.JToggleButton jtnEnviarComandoManual;
2024     // End of variables declaration
2025
2026 }

```