

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**DESENVOLVIMENTO DE UM MÓDULO DE INTERFACE
PARA A APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES LÍQUIDOS A
TAXAS VARIÁVEIS**

EDISON RUSSO

CAMPINAS
NOVEMBRO DE 2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**DESENVOLVIMENTO DE UM MÓDULO DE INTERFACE
PARA A APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES LÍQUIDOS A
TAXAS VARIÁVEIS**

*Dissertação de mestrado submetida à
banca examinadora para obtenção do título
de mestre em Engenharia Agrícola na área
de concentração em Máquinas Agrícolas.*

EDISON RUSSO

Orientador: Prof. Dr. Nelson Luis Cappelli

CAMPINAS, NOVEMBRO DE 2005

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

R921d Russo, Edison
Desenvolvimento de um módulo de interface para a
aplicação de fertilizantes líquidos a taxas variáveis /
Edison Russo. --Campinas, SP: [s.n.], 2005.

Orientador: Nelson Luis Cappelli
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Adubos e fertilizantes líquidos. 2. Agricultura –
Transferência de tecnologia. 3. Inovações agrícolas. 4.
Satélites artificiais em agricultura. I. Cappelli, Nelson
Luis. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade
de Engenharia Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: Development of an interface module to liquid fertilizer application
with variable rates

Palavras-chave em Inglês: Liquid nutrients, precision agriculture, Site-specific

Área de concentração: Máquinas Agrícolas

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola.

Banca examinadora: Joaquim Miguel Maia e Antônio José da Silva Maciel

Data da defesa: 18/11/2005

“O que sabemos é uma gota, o que não sabemos é um oceano”
(Isaac Newton, 1642-1727)

*Aos meus amigos, Prof. Dr. Admilson Irio
Ribeiro e a sua esposa Dra. Regina Márcia Longo
pelo incentivo ao retorno à vida acadêmica.*

*Em especial à minha esposa Rita Ap. Longo
Russo e minhas filhas Ana Carolina e Juliana,
pelo apoio incondicional para a conquista desta
jornada.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, e em especial:

- *Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Nelson Luis Cappelli e sua esposa Dra. Ana Maria, pela oportunidade, confiança, incentivo, paciência e sobretudo pela forma afetuosa com que tratam os seus orientados;*
- *Ao Prof. Dr. Cláudio K. Umezu, mais do que um co-orientador, um grande amigo que, de forma incansável, colaborou para a execução deste trabalho;*
- *À Unicamp, pela oportunidade concedida;*
- *Aos professores da Feagri: Paulo S. G. Magalhães, Antonio J. S. Maciel, Mauro Terezo, pelos valiosos ensinamentos para a elaboração e avaliação deste trabalho;*
- *Aos amigos e colaboradores, membros da equipe de pesquisadores do Laboratório de Instrumentação e Controle: Thales Lima, Angel P. Garcia e André Johann, pela inestimável ajuda na realização deste trabalho;*
- *Ao Eng. Riolando Afonso G. Cozzo, responsável pela divisão de adubos líquidos da Bunge Fertilizantes S/A pela inestimável colaboração.*
- *A todos os funcionários da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp, sempre prontos para colaborar com todos os alunos desta instituição.*
- *Aos meus pais: Emílio e Hortência, pelo apoio, incentivo e por valorizarem a minha educação desde a minha infância;*
- *A Deus, acima de tudo.*

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	IV
LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABELAS.....	IX
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:.....	5
2.1. AGRICULTURA DE PRECISÃO	5
2.2. SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS).....	9
2.3. SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG).....	10
2.4. APLICAÇÃO A TAXAS VARIÁVEIS	13
2.5. FERTILIZANTES FLUÍDOS	15
2.5.1. <i>Histórico</i>	15
2.5.2. <i>Fabricação</i>	17
2.5.3. <i>Vantagens e Desvantagens</i>	18
2.5.4. <i>Aplicação</i>	19
2.6. COMPONENTES DOS SISTEMAS DE APLICAÇÃO	23
2.6.1. <i>Válvulas Proporcionais</i>	23
2.6.2 <i>Válvula Proporcional desenvolvida pelo LIC/UNICAMP.</i>	24
2.6.3. <i>Controladores de Aplicação.</i>	27
2.7. PORTA PARALELA	31
3. MATERIAL E METODOS:.....	34
3.1 METODOLOGIA DO PROJETO	35
3.1.2. <i>Mapa de aplicação</i>	37
3.1.3. <i>Módulo de processamento</i>	37
3.1.4. <i>Circuito hidráulico</i>	38
3.1.5. <i>Módulo de Interface</i>	40
3.1.6. <i>Hardware do Módulo de Interface</i>	42

3.1.7. <i>Modo de Operação</i>	44
3.1.7.1. Inicialização.....	45
3.1.7.2. Agito de nutrientes.....	46
3.1.7.3. Calibração.....	46
3.1.8. <i>Operação</i>	47
3.1.8.1. Máquina Parada.....	48
3.1.9. <i>Falhas durante a operação</i>	49
3.1.9.1. Perda de Comunicação.....	49
3.1.9.2. Falta do nutriente N, P ou K.....	49
3.1.9.3. Perda da pressão nominal de trabalho dos nutrientes.....	50
3.1.9.4. Emergência.....	51
3.1.9.5 Sistema pronto para operar.....	52
3.1.10. <i>Sinais de controle para as servo-válvulas</i>	52
3.2. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS.....	54
3.2.1. <i>Monitoramento do ângulo de giro do servo-motor</i>	55
3.2.2. <i>Equipamentos utilizados para a obtenção dos dados</i>	56
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1. PROJETO ELETRÔNICO DO MÓDULO DE INTERFACE	57
4.1.1. <i>Fonte de alimentação</i>	59
4.1.3 <i>Circuito amplificador de saída para comando das servo-válvulas</i>	60
4.1.4. <i>Circuito amplificador de saída para comando das eletro-válvulas e moto-bombas</i>	60
4.1.5. <i>Circuito multiplexador para leitura dos sinais de campo</i>	61
4.1.6. <i>Canal de comunicação com o módulo de controle via porta paralela</i>	63
4.1.6.1. Endereço 37Ah da Porta Paralela; seleção de funções.....	64
4.1.6.2. Endereço 379h da Porta Paralela; informação das falhas.....	65
4.1.7. <i>Comunicação Serial</i>	66
4.1.8 <i>Micro controlador 8951</i>	66
4.2. CONSTRUÇÃO DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO	69
4.3. PROGRAMA RESIDENTE NO MÓDULO DE INTERFACE	71
4.4. PROGRAMA AUXILIAR DE TESTES PARA A MDI	72
4.5. SINAIS PWM GERADOS PELO MDI.....	74
4.6. COMPORTAMENTO DO SERVO MOTOR DE COMANDO DA VÁLVULA PROPORCIONAL.....	76
4.6.1 <i>Sistema de aquisição dos dados</i>	77
4.6.2 <i>Calibração estática</i>	78
5. CONCLUSÕES	85
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Implementação básica da Agricultura de Precisão.	8
Figura 2 - Ilustração de uma grade de amostragem do solo e veículo para coleta automática.	13
Figura 3 - Produção de fertilizantes líquidos na unidade Jaú da Bunge Fertilizantes S.A.	18
Figura 4 - Exemplos do emprego de aplicadores de líquidos incorporados a uma máquina de plantio adaptada. (FIXEN, 1994).	21
Figura 5 - Dispositivo de aplicação de fertilizante fluído no solo utilizando haste flexível (BRAGACHINI et al., 2001).	21
Figura 6 - Dispositivo para aplicação de fertilizantes líquidos desenvolvido pela Bunge Fertilizantes S.A.	22
Figura 7 - Veículo para aplicação de nutrientes líquidos em larga escala.	23
Figura 8 - Vista em corte do protótipo da válvula dosadora desenvolvida por JOHANN et al. (2004).	25
Figura 9 - Servo-motor marca Futaba, modelo FP-5148, acionado por modulação por largura de pulso (PWM).	26
Figura 10 - Curva característica da válvula proporcional desenvolvida.	27
Figura 11 - Módulo de controle para a aplicação de fertilizantes líquidos a taxas variáveis. (MIDWEST TECHNOLOGY, 2003).	29
Figura 12 - Conjunto de periféricos para o módulo Legacy 6000 da MIDWEST TECHNOLOGY.	30
Figura 13 - Central de controle para aplicação de fertilizantes fluídos a taxas variáveis	31
Figura 14 - Central de controle SCS 760, para a aplicação de fertilizantes fluídos a taxas variáveis. (RAVEN INDUSTRIES, 2003)	31
Figura 15 - Diagrama de identificação dos terminais da porta-paralela de um PC.	33
Figura 16 - Exemplo de instalação do sistema para formulação, dosagem e aplicação localizada de fertilizantes líquidos a taxas variáveis.	34
Figura 17 - Diagrama em blocos do sistema de aplicação.	35

Figura 18 - Fluxograma da metodologia do projeto da MDI.	36
Figura 19 - Diagrama em blocos do módulo de processamento proposto em desenvolvimento pelo LIC.	38
Figura 20 - Diagrama unifilar do sistema em desenvolvimento.	39
Figura 21 - Diagrama de blocos do Módulo de Interface.	42
Figura 22 - Sinal de controle do servo-motor.	43
Figura 23 - Modelo do sistema de aplicação para um nutriente.	44
Figura 24 - Eletro-válvula utilizada para liberação de fluxo.	48
Figura 25 - Sensores de presença do tipo capacitivos fabricados pela Sense Sensores Industriais Ltda.	50
Figura 26 - Pressostato desenvolvido e comercializado pela ZÜRICH Indústria e Comércio Ltda.	51
Figura 27 - Sinais de atuação dos servo-motores com períodos sincronizados.	53
Figura 28 - Exemplo de variação do ciclo de trabalho do sinal PWM.	54
Figura 29 - Dispositivo utilizado para avaliação do ângulo de deslocamento do servo-motor.	55
Figura 30 - Diagrama de blocos representativo do Módulo de Interface.	57
Figura 31 - Esquema eletrônico do Módulo de Interface.	58
Figura 32 - Fonte de Alimentação.	59
Figura 33 - Circuito amplificador de saída para as servo válvulas.	60
Figura 34 - Circuito do <i>driver</i> de comando das eletro-válvulas e moto-bombas.	61
Figura 35 - Circuito multiplexador para leitura dos sinais de campo.	62
Figura 36 - Canal de comunicação com o módulo de controle através da porta paralela.	63
Figura 37 - Microcontrolador IC8951 fabricado pela empresa Atmel.	67
Figura 38 - <i>Layout</i> da placa de circuito impresso do Módulo de Interface.	70
Figura 39 - Aspecto final da placa principal do Módulo de Interface.	71
Figura 40 - Fluxograma do software residente no microcontrolador.	72
Figura 41 - Tela do software de simulação do Módulo de Controle.	73
Figura 42 - Sinais PWM de saída para sinais com 0% e 50% de abertura.	74
Figura 43 - Tempo ligado do sinal PWM em função do valor percentual de abertura de saída, gerado pelo MDI.	76

Figura 44 - Dispositivo de testes utilizado para aquisição de dados.	77
Figura 45 - Diagrama de blocos da ligação dos diversos componentes.	78
Figura 46 - Comportamento do ângulo do servo-motor em função do sinal de atuação.....	79
Figura 47 - Diagrama funcional do aplicativo para aquisição de dados.....	81
Figura 48 - Tela de interface com o usuário do aplicativo para aquisição de dados.....	82
Figura 49 - Comportamento dinâmico da posição angular do servo-motor em função de um degrau	83
Figura 50 - Posição angular do servo-motor para os sinais de atuação de 10 a 100%, com incrementos de 10%.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução do consumo de fertilizantes nos Estados Unidos da América, em milhares de toneladas. Fonte TVA Economics and Marketing Staff (08/2002).	16
Tabela 2 – Evolução do consumo estimado de fertilizantes líquidos no Brasil, em 1000m ³ ...17	17
Tabela 3 - Terminais da Porta Paralela de um micro-computador.	32
Tabela 4 - Código de seleção dos compostos45	45
Tabela 5 - Código das funções de operação via endereço 37Ah da porta paralela.	65
Tabela 6 - Código de falhas via endereço 379h da porta paralela.	66
Tabela 7 - Funções das portas do micro-controlador IC 89C51.....	68
Tabela 8 – Sinal gerado em função do valor percentual da abertura selecionado.....	75
Tabela 9 – Resultados dos testes para levantamento da calibração estática.....	79

RESUMO

A agricultura moderna busca novas tecnologias para a aplicação de insumos com maior precisão e com a finalidade de; aumentar a produtividade, minimizar os impactos ambientais, reduzir custos de produção, melhorar a qualidade dos produtos, etc. Neste sentido, tem sido necessário o desenvolvimento de máquinas mais adequadas, com capacidade de operação e precisão elevadas. A tendência atual no desenvolvimento de tais máquinas aponta no sentido da automação e na introdução de sistemas eletrônicos embarcados.

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um Módulo de Interface (MDI) para ser utilizado em um Sistema de Formulação e Aplicação Localizada de Nutrientes Líquidos a Taxas Variáveis, proposto pelo Laboratório de Instrumentação e Controle - LIC da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

A função do MDI é receber as informações provenientes do módulo de controle do sistema de aplicação, efetuar as leituras dos sensores de campo, processar os dados e comandar os periféricos envolvidos na aplicação, tais como; bombas, eletro-válvulas e válvulas proporcionais para controle de fluxo.

O MDI pode acionar até três grupos de válvulas, sendo que cada grupo pode operar com até quinze válvulas proporcionais para o controle de fluxo de nutrientes. Para garantir a precisão da aplicação foram utilizadas válvulas proporcionais, desenvolvidas pelo LIC, acionada por servo-motores comandados por sinais modulados por largura de pulso (*Pulse Width Modulation* -PWM) e com características de ciclo ativo inferiores a dez por cento do pulso, o que demanda alta velocidade de processamento.

Devido às limitações de velocidade de processamento dos micro-controladores e do custo do equipamento, desenvolveu-se hardware e software visando a otimização das funções executadas pelo MDI de modo a possibilitar a operação com apenas um micro-controlador.

Os resultados das avaliações realizadas demonstraram que o MDI apresentou desempenho até mesmo superior aos requeridos pelo sistema de aplicação localizada de insumos líquidos.

PALAVRAS-CHAVE: Adubos líquidos, agricultura de precisão, aplicação localizada.

ABSTRACT

Modern agriculture searches for new technologies for the application of nutrients with greater precision in order to increase productivity, minimize the impact in the environment, reduce production costs, improve the quality of the products etc. In order to achieve that, it has been necessary to develop more adequate machines, with higher operation capacity and precision. Nowadays, the development of such machines tends towards automation and the introduction of embed electronic systems.

The aim of this work was the development of an Interface Module (MDI) to be used in a system for application of liquid products, proposed by the Control and Instrumentation Laboratory (LIC) from the Faculty of Agricultural Engineering at Unicamp.

The function of the MDI is to receive the information proceeding from the Control Module, carry out the readings of the field sensors, process all this data and command the peripherals involved in the application, like: pumps, electro-valves for flux of nutrients control.

The MDI can operate up to three groups of valves, which means that each group can operate up to fifteen proportional valves, to control the flux of the nutrients. In order to assure the precision of the application, proportional valves, which have been developed by the LIC, activated by servo-motors and controlled by modulated signals through pulse width (PWM), have been used with characteristics of active cycles inferior to ten per cent of the pulse, what demands high speed of processing.

Due to the limitations of the speeding process of micro-controllers and the cost of equipment, hardware and software have been developed, aiming to optimize the functions performed by the MDI to enable the operation with only one micro-controller. The results of the valuation have shown that the MDI has surpassed the performance required by the application system of liquid nutrients.

KEYWORDS: liquid nutrients, precision agriculture, located application.

1. INTRODUÇÃO

Os conceitos de Agricultura de Precisão foram introduzidos no início do século passado com as primeiras iniciativas para o gerenciamento localizado de culturas. Nesta época, já se sabia que os requisitos para aplicação de calcário variavam bastante para um mesmo talhão e que seria importante a execução de testes sistemáticos e detalhados no campo, de forma que o calcário pudesse ser aplicado de acordo com a sua necessidade em cada ponto.

A chamada *agricultura de precisão* teve um avanço significativo a partir da disponibilização do Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* – GPS). Atualmente está munida de ferramentas de software e hardware que possibilitam a utilização de sistemas capazes de operar de forma diferenciada, em função da situação particular de cada fração da área cultivada.

O uso racional dessas tecnologias, utilizadas como ferramentas de acompanhamento, controle e análise, permitem determinar "qual, quando e onde" o insumo deve ser aplicado e "como" fazê-lo. Portanto, a quantificação da variabilidade espacial permitindo identificar sítios específicos com diferentes potenciais de produtividade, pode determinar ou não, desde que econômica e tecnicamente viáveis, investimentos em insumos ou na correção de fatores limitantes à produção, visando a maximização da produtividade e minimização dos impactos ambientais.

Com o principal objetivo de aperfeiçoar os sistemas e processos de produção agrícola, as pesquisas atuam no desenvolvimento de equipamentos e sistemas de gerenciamento capazes de operar de forma adequada, respeitando as particularidades localizadas e os fenômenos envolvidos dentro do processo que se deseja controlar.

Uma das principais causas da variabilidade espacial da produtividade em uma lavoura está diretamente relacionada com a disponibilidade localizada de fertilizantes no solo. Em função disto, a necessidade do desenvolvimento de máquinas para a aplicação de fertilizantes a taxas variáveis mais sofisticadas, está sempre presente.

Tradicionalmente emprega-se o adubo sólido como elemento nutriente das plantas, no entanto, (MALAVOLTA, 1994) demonstra que se podem obter produtividades mais elevadas

com a adoção da adubação fluída. O uso deste tipo de fertilizante possibilita um maior controle da sua localização no solo, bem como da quantidade aplicada. Outros aspectos, como a redução de problemas de segregação e a maior uniformidade das soluções líquidas, bem como a maior facilidade na implementação de sistemas mais precisos para a aplicação de fluídos, em relação aos sólidos, são um forte argumento para a adoção destes sistemas.

A produção comercial brasileira de fertilizantes fluídos iniciou-se na década de 1970, em função da necessidade do país possuir certa auto-suficiência com relação a determinados produtos, dentre os quais os insumos agrícolas. Essa necessidade ocorreu em função da crise do petróleo, o que acabou sendo responsável pelo impulso na utilização de fertilizantes no país (BICHARA et al., 1994).

Atualmente, o uso da adubação líquida no Brasil é pouco difundido, conseqüentemente existem poucos trabalhos desenvolvidos, tanto na área agrônômica quanto no setor de equipamentos de aplicação. O desenvolvimento de trabalhos bem sucedidos neste setor pode alavancar um novo crescimento para o emprego dos fertilizantes líquidos no país.

Os equipamentos de aplicação de insumos, controlados por dispositivos eletrônicos, existentes no mercado internacional podem operar a taxas de aplicação constante ou a taxas variáveis. Neste último caso, baseiam-se nos mesmos elementos dos sistemas a taxas constantes, acrescentando-se equipamentos externos (microcomputador portátil e GPS) para possibilitar a regulação da vazão de fertilizante em função de um sinal de posicionamento e de um mapa de aplicação previamente confeccionado.

No caso de um equipamento para aplicação localizada de fertilizantes líquidos a taxa variável, com capacidade para a formulação do insumo a ser aplicado, são necessários diversos mapas de aplicação. Considerando-se apenas os macro-nutrientes das plantas; nitrogênio, fósforo e potássio. Pode-se utilizar três concentrados, cada um correspondente a um dos elementos químicos. Isto se faz necessário devido ao fato de que são distintas as variabilidades espaciais de cada elemento no solo.

Assim sendo, o controlador deve trabalhar com a informação do posicionamento, proveniente do GPS, e com a informação, fornecida por cada um dos três mapas de aplicação, da quantidade a ser aplicada de cada concentrado. Deve, ainda, ter capacidade para controlar a vazão nas válvulas correspondentes a cada um dos concentrados, no caso presente, três válvulas por linha de aplicação do insumo.

Já existem no mercado equipamentos capazes de aplicar insumos líquidos a taxa e formulação variáveis, para tanto, devido a estrutura de projeto, são necessários diversos periféricos modulares e de uso genérico para a implementação do sistema. Isto torna o custo do sistema proibitivo para a maioria dos agricultores brasileiros. Ainda não estão disponíveis no mercado de equipamentos agrícolas controladores dedicados capazes de operar de forma autônoma, sem a necessidade de equipamentos auxiliares acoplados, para a aplicação localizada de insumos líquidos (defensivos ou fertilizantes) a taxas variáveis e com capacidade de variar a formulação em tempo real, fato que denota uma necessidade de desenvolvimento.

Para fazer frente a esta demanda, o grupo de pesquisa do LIC (Laboratório de Instrumentação e Controle da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas), tem atuado no desenvolvimento de um sistema para formulação, dosagem e aplicação localizada de fertilizantes líquidos a taxas variáveis.

O equipamento proposto pela equipe do LIC pode ser caracterizado por dois módulos funcionais: Módulo de Controle e Módulo de Interface. Inicialmente, pretende-se que o controlador de aplicação proposto seja adequado para utilização com insumos líquidos, com possibilidade de operar com até três concentrados diferentes, obedecendo às dosagens contidas nos mapas de aplicação. Nesta aplicação, os três concentrados deverão ser adequadamente selecionados, e serão combinados de modo a suprir as necessidades localizadas dos macro nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), possibilitando a alteração da formulação do fertilizante em tempo real, além da alteração da dosagem do composto resultante, em função da posição geo-referenciada do equipamento de aplicação.

Os mapas de aplicação deverão conter as recomendações de adubação para toda a área a ser coberta, disponibilizadas na forma de banco de dados. O banco de dados, por sua vez, irá relacionar as coordenadas geodésicas do terreno com as informações das quantidades necessárias de cada concentrado a ser aplicado. Essas informações deverão ser armazenadas na memória interna do módulo de controle.

O módulo de controle deverá incorporar uma interface para um aparelho receptor de GPS, com possibilidade de receber um sinal correção diferencial em tempo real, que fornecerá a informação das coordenadas geo-referenciadas de onde se encontra o equipamento de aplicação e sua velocidade de deslocamento. A partir destas informações, o equipamento

enviará os sinais de atuação para as válvulas que regulam a vazão de cada um dos concentrados.

O objetivo deste trabalho foi projetar, desenvolver, construir e avaliar um módulo de interface, no que tange ao software e ao hardware, para ser aplicado ao sistema de formulação e aplicação de nutrientes líquidos a taxas variáveis proposto pelo Laboratório de Instrumentação e Controle da Faculdade de Engenharia Agrícola.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:

2.1. Agricultura de Precisão

A introdução de novas tecnologias integradas com recursos computacionais visando produtividade e qualidade, tem sido considerada questão estratégica. Dada a forte vocação agrícola brasileira e a importância do agronegócio no panorama econômico nacional, a pesquisa visando o desenvolvimento da sociedade da informação neste setor é por si só um projeto relevante. Não obstante, a informação é a chave para o sucesso de qualquer atividade e uma atividade pode se aperfeiçoar cada vez mais se a informação sobre ela obedecer o ciclo: obtenção de novas informações seguida da interpretação e utilização dessas novas informações para melhorar a atividade. Dentro deste contexto a Agricultura de Precisão é chave para o sucesso na área agrícola.

Segundo TSCHIEDEL (2002), a adoção da agricultura de precisão, não somente como sistema eletrônico, mas como conceito, tem um grande potencial para a racionalização do sistema de produção agrícola moderno devido a: a) diminuição da quantidade de agroquímicos aplicados nos solos e culturas; b) conseqüente redução dos custos de produção e da contaminação ambiental e c) melhoria da qualidade das safras. Assim, a agricultura de precisão vem de encontro às exigências de um mercado globalizado, que requer maior volume de produção, exige menores preços e repudia técnicas e tecnologias que possam contaminar o ambiente.

A importância das novas tecnologias é inegável, na medida em que novas informações são obtidas, trazem maior segurança no manejo das lavouras de modo sustentável auxiliando também no direcionamento da pesquisa. Para tal, é premente o conhecimento dos agro-ambientes, de forma a propiciar os níveis essenciais de informação necessários à identificação e separação destes e a elaboração de técnicas e métodos visando a adoção dessas tecnologias.

Apesar do notável suporte tecnológico que alavanca a agricultura de precisão, há inúmeras oportunidades em instrumentação e automação nessa área, bem como em sistemas inteligentes para tomada de decisão, através da mineração de dados e fusão de sensores. Tais

oportunidades são ainda maiores se considerada a rastreabilidade da produção agrícola, que é uma necessidade e exigência relativamente recente do mercado pelo alimento seguro e ambientalmente correto e um desafio para o futuro próximo, mas, que tem em comum várias tecnologias com a agricultura de precisão.

O uso de tecnologias como, bancos de dados e sistemas de informação geográfica com informações relativas aos parâmetros associados à produção de cada ciclo de lavoura, dados meteorológicos, mapeamento de solos, dentre outros são imprescindíveis para o sucesso da agricultura de precisão. Investimentos em videografia aérea, instalação de estações meteorológicas bem como de bancos de dados confiáveis se fazem necessários.

Para NIELSEN et al. (1996), a crescente preocupação com fatores ambientais, como as aplicações de produtos químicos, o aparecimento de sistemas de informações geográficas e de rastreamento via satélite, o conceito de gerenciamento localizado de culturas, estendido para o monitoramento de outras operações que não são necessariamente aquelas de aplicações localizadas de insumos, como por exemplo, o levantamento de mapas de fertilidade de solos, o monitoramento de operações de colheita, ou de outras operações mecanizadas são demandas para a Agricultura de Precisão.

Os conceitos de Agricultura de Precisão têm despertado um interesse muito grande e são considerados por muitos como a terceira onda na agricultura, tendo sido a primeira, a mecanização com tração animal, e a segunda, com equipamentos motorizados.

Os principais benefícios econômicos que poderão advir da utilização da Agricultura de Precisão, serão decorrência da possibilidade de se fazer a Aplicação Localizada de Insumos cujo objetivo final é colocar sementes, fertilizantes, corretivos, defensivos agrícolas e outros insumos de forma variável em cada campo, nas razões mais adequadas para a produtividade do solo em cada ponto do mesmo e, portanto, reduzir os custos por unidade de produto produzida.

Para se utilizar dessa tecnologia há que se envidar esforços para o desenvolvimento desses equipamentos adaptados às nossas condições, quando então se poderá atingir todo o potencial vislumbrado para a Agricultura de Precisão no Brasil.

A variabilidade espacial do solo pode ser bastante grande, chegando a ocorrer diferentes tipos de solo, com diferentes propriedades físicas, químicas e microbiológicas dentro de uma área, mesmo sendo esta considerada pequena. Um exemplo da variabilidade

espacial, bem como da disponibilidade de nutrientes, do solo e o seu conseqüente reflexo na cultura foram observados por BALASTREIRE (1998) em um ensaio realizado em uma propriedade localizada no município de Espírito Santo do Pinhal, onde se observou a ocorrência de uma variação na produtividade de até 12,9 vezes entre um ponto e outro, dentro de um talhão de 1,2ha.

Segundo PAGNANO e MAGALHÃES (2000), OSEKI (1998), e JORGE e TORRE NETO (2002), o atual conceito predominante de manejo trata o solo de forma homogênea, através de valores médios, máximos e mínimos. Deste modo a aplicação de insumos e defensivos ocorre de maneira uniforme, não considerando as variações existentes. Tal atitude traz como conseqüência a aplicação excessiva de fertilizantes ou defensivos em regiões férteis ou com baixa incidência de pragas. Do mesmo modo, pode ocorrer a aplicação insuficiente destes elementos nas regiões onde eles seriam realmente necessários. Percebe-se com isso as sérias conseqüências envolvidas, tais como: o prejuízo advindo do gasto desnecessário com defensivos e insumos; a menor produtividade das áreas insuficientemente tratadas; os danos ambientais provenientes do escoamento superficial e da percolação para os lençóis de água do excedente destes produtos que não foram retidos pelo solo ou pela cultura.

A agricultura de precisão, como hoje a conhecemos, trabalha lançando mão de uma série de recursos e produtos tecnológicos modernos. Quando se houve falar neste tema imediatamente associam-se siglas como SIG (Sistema de Informações Geográficas), GPS (*Global Position System*), DGPS (*Differential Global Position System*). São recursos de *hardware* e *software* difundidos recentemente e que contribuem de forma inigualável nas atividades agrícolas, viabilizando o desenvolvimento de uma série de ferramentas que anteriormente não poderiam ser concebidas.

A Figura 1, Cedida pela Embrapa Instrumentação Agropecuária, ilustra um sistema completo para processar as informações obtidas sobre os diversos processos da produção agrícola. Estas consistem de dados manuais que envolvem análises laboratoriais, dados coletados automaticamente por sensores estáticos (instalados no campo) e sensores dinâmicos (instalados nos implementos) e também dados obtidos por sensoriamento remoto. Os dados de posicionamento são fornecidos por DGPS. A interpretação das informações é auxiliada por computador e integra sistemas GIS com técnicas de geoestatística, programas de

modelamento, entre outros para estabelecer e gerar mapas de controle das operações de campo, como a aplicação de fertilizantes, pesticidas, plantio, irrigação e outras.



Figura 1 - Implementação básica da Agricultura de Precisão.

Segundo DAVIS et al. (1998), a agricultura de precisão une as novas tecnologias, nascidas da era da informação, com uma indústria agrícola madura, integrando um sistema de cultivo que considera as atuais necessidades de cada uma das pequenas áreas dentro da cultura. Para eles, esse conceito não é algo novo, mas novas tecnologias têm propiciado um emprego prático deste conceito dentro da produção agrícola.

2.2. Sistema de Posicionamento Global (GPS)

A Agricultura de Precisão (Precision Farming, Precision Agriculture, Site Specific Management, etc) é uma nova tecnologia que vem para revolucionar a tradicional agricultura. Esta tecnologia está sendo desenvolvida a fim de permitir a aplicação de insumos agrícolas nos locais corretos e nas quantidades requeridas (BALASTREIRE, 1998). Para tanto, se faz necessária a utilização intensiva do Sistema de Posicionamento Global (GPS), permitindo a coleta automática de dados geo-referenciados e sendo posteriormente utilizado na aplicação localizada de insumos agrícolas. Colhedoras equipadas com GPS e sensores eletrônicos são utilizados para o mapeamento da colheita no campo, permitindo a identificação de vários parâmetros como áreas de maior ou menor produtividade. O geo-referenciamento dos pontos de coleta de amostras de solo, por exemplo, permite o mapeamento de variáveis importantes para o processo produtivo, como a disponibilidade de nutrientes, pH do solo, etc. O SIG, Sistema de Informações Geográficas, é utilizado para o armazenamento, tratamento, análise e visualização das informações espaciais coletadas no campo e permite a tomada de decisões com base na análise dos dados. A Agricultura de Precisão permite ainda construir bancos de dados espaciais e temporais visando a otimização na utilização dos insumos agrícolas e o uso racional da terra, com conseqüente redução de custos e impactos ambientais. Como foi visto, o GPS é uma ferramenta importante do sistema e o conhecimento de suas limitações, assim como suas potencialidades, é de extrema importância para uma melhor performance da Agricultura de Precisão.

O receptor GPS é um equipamento capaz de fornecer as coordenadas geográficas do local onde se encontra a sua antena receptora. Esse aparelho opera em conjunto com uma constelação de 24 satélites dispostos ao redor de todo o globo terrestre. Esse sistema, implantado pelo exército dos Estados Unidos da América, opera os satélites fazendo com que estes enviem informações de sua localização conjuntamente com uma informação precisa da hora em todos os satélites da constelação. O aparelho de GPS é capaz de receber essas informações de localização, e através de um relógio de precisão, medir o tempo de atraso entre o envio do sinal do satélite e a recepção deste pela sua antena, deste modo, calculando a sua distância em relação ao satélite. A obtenção das coordenadas de localização GPS é feita através de um cálculo de triangulação, para tanto é necessário que sejam recebidos os sinais de

três satélites. Dependendo da sensibilidade e do número de canais de seu receptor de rádio, um GPS pode ser capaz de rastrear mais de nove satélites, dependendo da sua localização. Quanto maior o número de satélites captados, maior será o número de triangulações possíveis de serem calculadas, resultando em uma maior precisão na determinação das coordenadas. A precisão das coordenadas afeta diretamente a precisão das operações envolvendo o uso do GPS, como por exemplo, a obtenção de um mapa de produtividade. Mesmo com a captação de muitos satélites, ainda existem muitas fontes de erro no cálculo das coordenadas, dentre elas, tem-se o efeito de refração da atmosfera, interferências eletromagnéticas, obstáculos naturais entre o GPS e o satélite, além da presença de um sinal de erro embutido pelo exército dos EUA no sinal de transmissão dos satélites. Em função disto, um GPS, antes do ano de 2001, apresentava erros de até 100 metros de raio na determinação de suas coordenadas (OSEKI, 1998). Tal erro inviabilizaria o seu emprego na agricultura de precisão. Após esta data, com a liberação, por parte do governo Norte Americano, do sinal de correção (S.A.), o erro caiu sensivelmente; contudo, ainda pode inviabilizar algumas aplicações mais exigentes em termos de erro de posicionamento.

Para resolver os problemas de precisão do GPS, desenvolveu-se um sistema conhecido como DGPS (Sistema de Posicionamento Global Diferencial), que consiste no uso de dois aparelhos receptores de GPS operando conjuntamente. Os aparelhos operam da seguinte forma: um aparelho fica estacionado em um local fixo, de coordenadas conhecidas; enquanto que o outro aparelho continua sendo de uso móvel, marcando as coordenadas de onde se encontra. O GPS fixo envia um sinal de rádio ao GPS móvel informando o erro nas informações passadas pelos satélites. Deste modo, o GPS móvel corrige o cálculo da sua localização utilizando um *link* de rádio que o comunica com o GPS fixo. Segundo OSEKI (1998), o DGPS pode reduzir o erro a níveis inferiores a 0,3 metro, sendo que para a coleta de dados para a agricultura de precisão, níveis entre 1 a 3 metros já são suficientes.

2.3. Sistema de Informações Geográficas (SIG)

O SIG (*Geographic Information System*), que consiste em um conjunto de *softwares*, operando em um *hardware* relativamente potente, capaz de processar inúmeras informações de forma rápida e facilitada. Esses sistemas permitem aos profissionais da área agrícola

processar todos esses dados, e com isso definir o próximo passo, que seria o de interferência sobre as características levantadas.

À localização, são agregados dados retirados de amostras do solo, de amostras de plantas daninhas e outros daquele local. Após as análises das amostras de solo, das plantas daninhas, etc., o agricultor pode obter um mapa que traduz a fertilidade da área, a ocupação das plantas daninhas e muitos outros mapas como, umidade, pH, estrutura e drenagem do solo, densidade de plantas e estágio de desenvolvimento e bordadura na escala de metros quadrados e não em hectares, como vem sendo feito até agora.

Com a posse desses mapas o produtor poderá usar a ferramenta SIG e sobrepor estes de maneira que possa ser criado um mapa de prescrição para área, e assim, a grande vantagem é que ao invés de calcular, por uma média, o quanto a área a ser cultivada necessita de sementes, calcário, adubo, herbicida e inseticida, o agricultor vai poder aplicar apenas a quantidade necessária para cada diferente zona do terreno. Isso porque o GPS também vai acoplado às máquinas agrícolas na hora de semear, ou aplicar os fertilizantes e informa à semeadora ou adubadora a quantidade e momento exato em que ela deve despejar os insumos no solo. Para a semeadura em razão diferenciada, ainda há diversos aspectos agrônômicos a serem discutidos antes da sua utilização.

MOLIN (1977), comentando a importância da localização precisa dos recursos naturais, mostra a conveniência da integração entre GPS, SIG e Sensoriamento Remoto. Descreve a importância do GPS no fornecimento ininterrupto de informações, a um custo menor do que com os levantamentos convencionais.

BALASTREIRE et al (1998) objetivando a elaboração de mapas de produtividade para uma cultura de milho, desenvolveram e construíram um sistema de instrumentação e de aquisição de dados para o mapeamento da produtividade da cultura. Para isto, foram utilizados uma colhedora conjugada, um sistema automático de medição de peso de grãos colhidos e um sistema GPS. Os receptores GPS utilizados foram um modelo Pathfinder Pro XL marca Trimble, que também arquivava os dados de medição de peso, além do posicionamento e um receptor base modelo Pathfinder Community Base Station também da Trimble. Foi utilizado a técnica do DGPS e os dados foram pós-processados. O mapa de produtividade, obtido para os talhões estudados, permitiu a detecção da variabilidade espacial da produtividade da cultura do milho.

AUERNHAMMER (1994) avaliou receptores GPS que captam as portadoras LI e L2 para os cálculos de posicionamento, no modo cinemático montado sobre um veículo e utilizando correção diferencial pós-processada e em tempo real. Obteve erros de elevação variando de 3 a 9 cm em ambos os tipos de correção diferencial para os receptores avaliados. E conclui que o erro encontrado na elevação não interfere na maioria das aplicações na agricultura.

SAUNDERS et al (1996) avaliaram a precisão de três receptores GPS operando nos modos estático e cinemático montados sobre um veículo. O primeiro sistema era composto de um receptor GPS de 8 canais, mais 2 multiplexados, recebendo correção diferencial via rádio de uma agência local. Um segundo sistema era composto por um receptor GPS de 10 canais, recebendo correção diferencial de uma estação base local. E um terceiro sistema composto de um receptor GPS de 4 canais, mais 2 multiplexados, recebendo correção diferencial de uma estação base local. Na avaliação no modo cinemático, foram provocadas as perdas de sinais, tanto dos satélites GPS, como da correção. Conclui que o primeiro sistema obteve os melhores resultados e melhor performance, podendo ser utilizado na Agricultura de Precisão.

De acordo com MCCAULY & ENGEL (1997), características do GPS como alcance global, acesso do sistema ao público, imunidade à saturação e insensibilidade ao tempo são elementos decisivos na contabilidade do sistema.

Segundo GUPTA et al (1997), é ideal que o mapa base do campo tenha a melhor precisão possível, uma vez que vai servir de base para todas as análises e operações de campo. Quanto a dados coletados como de solo e produtividade da cultura, aceita-se uma precisão na ordem de 1 a 3 metros. Já na aplicação de insumos localizados, há uma necessidade de maior precisão para não ocorrer sobre posicionamento ou aplicação em locais incorretos. Comenta também que o uso da correção diferencial em tempo real é requerido na maioria das operações de campo, embora em alguns casos, como na coleta de dados de produtividade com colhedoras, a correção poder ser pós-processada.

A Figura 2 ilustra um veículo equipado para coleta de amostras de solo e uma grade para amostragem



Figura 2 - Ilustração de uma grade de amostragem do solo e veículo para coleta automática.

2.4. Aplicação a Taxas Variáveis

Com o desenvolvimento da tecnologia eletrônica e das telecomunicações, o desenvolvimento de equipamentos capazes de trabalhar variando as suas regulagens em função das necessidades locais da cultura, teve um salto. Isso possibilitou a implantação de máquinas semeadoras, e aplicadores de insumos e defensivos, capazes de variar as taxas de aplicação destes produtos automaticamente, durante o seu trabalho.

Através dos sistemas de aplicação a taxas variáveis, torna-se possível tratar cada metro quadrado da cultura como sendo uma área diferente. Deste modo, consegue-se atingir os melhores resultados de manejo da cultura possíveis.

Existem duas formas destes aparelhos operarem, os modelos *on-line* e os modelos *off-line*.

Os modelos *on-line* consistem em sistemas dotados de sensores capazes de levantar as características do solo, e demais características que forem julgadas necessárias, durante o próprio processo de aplicação do insumo, fertilizante ou deposição da semente. A grande vantagem destes sistemas é a independência de uma amarração de coordenadas, além da posse de informações extremamente atualizadas, uma vez que a aquisição destas informações é feita segundos antes da própria operação de interferência, ou seja, da aplicação dos produtos. No entanto, a tecnologia de sensores capazes de levantar todas essas informações, e em tempo

real, ainda não está suficientemente desenvolvida. Não existem sensores para todos os tipos de análises necessárias. Além disso, um equipamento deste tipo requer um recurso computacional muito rápido e sofisticado, uma vez que o sistema terá apenas alguns segundos para efetuar a tomada de decisão em relação à regulação mais adequada a ser feita.

Os modelos *off-line* são os empregados atualmente. Nestes modelos, a aplicação dos produtos é feita seguindo-se um mapa pré-elaborado. Através do emprego de um aparelho GPS ou DGPS, é feita a amarração do mapa de aplicação com a posição onde se encontra a máquina. Este modelo traz como vantagem a existência de um intervalo de tempo entre o levantamento das informações e o processo de aplicação dos produtos, deste modo, é possível que sejam feitas as análises necessárias. Além disso, a tomada de decisão quanto à quantidade a ser aplicada pode ser feita por um profissional, uma pessoa qualificada, não ficando a cargo somente do sistema computacional embarcado na máquina. Isso possibilita uma análise mais aprimorada, bem como permite que seja levado em consideração o atraso na resposta do mecanismo de aplicação e de todo o restante de sistema, podendo este atraso ser compensado durante a elaboração do mapa de aplicação. Como desvantagens tem-se o erro proveniente das imprecisões do GPS, bem como a variação decorrente do intervalo temporal entre a coleta dos dados, a elaboração do mapa de aplicação e o seu uso pelo sistema de aplicação.

Uma evolução dos sistemas de aplicação a taxas variáveis, são os sistemas de aplicação a taxas e formulações variáveis. Esses sistemas nada mais são do que a associação de mais de um dispositivo de aplicação a taxas variáveis. Quando se pensa em produtos químicos, ou compostos orgânicos, tais como os diferentes tipos de defensivos que podem ser aplicados simultaneamente, ou as formulações dos fertilizantes definidas pelos diferentes nutrientes que as compõe, pode-se atuar alterando-se as concentrações de seus componentes.

Nos sistemas de formulações variáveis, cada aplicador regula a dosagem de seu componente, sendo que todos os aplicadores operam simultaneamente. Deste modo, a variação na proporção entre os diferentes componentes possibilita a variação na formulação do defensivo ou do fertilizante aplicado, bem como a somatória das vazões de todos os componentes resulta na taxa de aplicação total.

Um exemplo deste tipo de sistema de aplicação pode ser observado em (OLIVA et al., 2001). Estes autores iniciaram o desenvolvimento de um equipamento para a aplicação de fertilizantes sólidos a taxas e formulações variáveis, a partir da adaptação de uma máquina

semeadora e adubadora para plantio direto, já existente no mercado. Este trabalho obteve bons resultados na adaptação do sistema mecânico e hidráulico, mas verificaram diferenças estatísticas significativas nos sistemas dosadores helicoidais, que são os normalmente empregados para fertilizantes sólidos. UMEZU e CAPPELLI (2002) deram continuidade ao desenvolvimento deste equipamento, obtendo bons resultados no projeto e implantação do circuito de controle dos dispositivos dosadores helicoidais, bem como no desenvolvimento do *software* para a leitura do mapa de aplicação a taxas e formulações variáveis. Esse equipamento possibilita a aplicação de fertilizantes sólidos no sulco, em quatro linhas de cultivo, operando com até três tipos de fertilizantes distintos.

O uso de sistemas de aplicação a taxas variáveis, e a taxas e formulações variáveis, apresenta um grande potencial de aplicação em culturas de grande escala, onde o emprego de sistemas de manejo que subdividem a cultura em pequenas áreas é mais dificultado. Acrescenta-se a isso a maior diluição do custo inicial do sistema, que ainda é caro, possível de ser feita no orçamento das grandes culturas.

2.5. Fertilizantes Fluídos

2.5.1. Histórico

Por definição, fertilizantes líquidos são todos aqueles, que podem ser manipulados, transportados, armazenados e aplicados na forma líquida.

No início do século passado, a produção de fertilizantes em geral, e de fluidos em particular, foi estimulada pelo desenvolvimento da produção de amônia anidra, através de processos de síntese mais práticos e econômicos (BOARETO et al., 1991).

A produção comercial de fertilizantes líquidos teve início nos EUA, em 1923, através da dissolução de matérias primas sólidas. Comercialmente o incremento no uso dos fluidos no período 1943 a 1959 foi bastante lento, porém nos anos seguintes o crescimento foi espetacular, conforme pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Evolução do consumo de fertilizantes nos Estados Unidos da América, em milhares de toneladas. Fonte TVA Economics and Marketing Staff (08/2002).

	1960	%	1970	%	1980	%	1982	%	1984	%	1986	%
Total	23.499	100	37.946	100	35.529	100	42.600	100	38.100	100	38.400	100
Adubos sólidos	21.067	89	27.969	74	22.738	64	23.800	56	22.100	58	22.000	57
Adubos líquidos	2.432	11	9.977	26	12.790	36	18.800	44	16.000	42	16.400	43

No Brasil, não se considerando o chorume e a vinhaça, os adubos fluídos começaram a ser usado quase meio século depois de iniciado o seu emprego nos EUA (MALAVOLTA, 1994). Nos EUA esse tipo de fertilizante é bastante utilizado; cerca de 57% do Nitrogênio consumido provém dos fertilizantes fluídos, sendo 37% consumido na forma de amônia. Percebe-se que o potencial existente neste tipo de fertilização, principalmente no que tange ao desenvolvimento de um sistema de aplicação de fertilizantes líquidos a taxas variáveis de custo compatível, é bastante significativo.

A produção comercial brasileira de fertilizantes fluidos iniciou-se na década de 1970, através da Ultrafétil S.A., com a implantação de uma unidade produtora na cidade de Jaú (SP), em função da necessidade do país possuir certa auto-suficiência com relação a determinados produtos, dentre os quais insumos agrícolas. Essa necessidade ocorreu em função da crise do petróleo, o que acabou sendo responsável pelo impulso na utilização de fertilizantes no país (BICHARA et al., 1994).

O crescimento no uso dos fertilizantes líquidos no Brasil, a exemplo do que ocorreu nos EUA, tem crescido bastante, principalmente no Estado de São Paulo, nas culturas de cana de açúcar, citros, cereais e reflorestamento.

Tabela 2 – Evolução do consumo estimado de fertilizantes líquidos no Brasil, em 1000m³.

Ano	Volume
1987	220
1988	319
1989	370
1992	400
1994	430
2000	450
2003	500

*Obs.: Volumes estimados, considerando-se os produtos oriundos das empresas que os comercializam e nas usinas / destilarias com produção para uso próprio.

2.5.2. Fabricação

No Brasil, são utilizados dois processos tradicionais de fabricação de soluções ou suspensões: as misturas a quente (*hot mix*) e a frio (*cold mix*). Basicamente eles diferenciam-se pelo fato de liberarem ou não calor durante a elaboração de suas formulações (MALAVOLTA, 1994). No processo de fabricação a quente, o posterior processo de resfriamento dos fluídos, se conduzido sem agitação e de forma lenta, pode ocasionar a formação de cristais com tamanhos e formas heterogêneos, o que resulta em uma maior sedimentação destes cristais, comprometendo a uniformidade da mistura. Logo, a planta deste processo requer maiores cuidados em relação às plantas a frio.

A **Figura 3** ilustra o processo de produção de fertilizante líquido com capacidade para produzir 120 kton/ano da Bunge Fertilizantes, localizada na cidade de Jaú – SP.



Figura 3 - Produção de fertilizantes líquidos na unidade Jaú da Bunge Fertilizantes S.A.

2.5.3. Vantagens e Desvantagens

Conforme MALAVOLTA (1994), as vantagens e desvantagens do uso dos fertilizantes fluídos podem ser avaliadas em relação à questão industrial e a agronômica:

Vantagens:

- Facilidade de transporte e manuseio;
- Menor investimento na construção de unidades e menores custos de produção;
- Menor segregação;
- Maior facilidade na adição de micronutrientes;
- Menor poluição do ar e dos cursos de água.
- Maior uniformidade de aplicação;
- Localização adequada;
- Incorporação de herbicidas, defensivos;
- Economia de mão-de-obra para aplicação (menos máquinas);
- Redução de perdas de nitrogênio da uréia quando o cloreto de potássio está presente

Desvantagens:

- Formação de borras nas soluções e às vezes nas suspensões, devido a impurezas como alumínio, ferro e magnésio.
- Aumento na viscosidade com a redução da temperatura.
- Dificuldade no armazenamento de suspensões.
- Maior dificuldade no preparo de formulações PK do que no caso dos sólidos.
- Dificuldade no suprimento de matérias-primas.
- Dificuldade no uso de amônia como fonte de nitrogênio para culturas perenes;
- Dificuldade na obtenção de matéria prima.

Como se pode observar na Figura 3, o processo de fabricação de fertilizantes líquidos é bastante simples e demanda pouca mão de obra, o que torna esta atividade bastante atrativa do ponto de vista econômico.

2.5.4. Aplicação

A eficiência no uso de fertilizantes está associada à quantidade deste que se utiliza, e à produtividade que se obtém com o seu emprego. Segundo BITTENCOURT e BEAUCLAIR (1992), para se obter essa eficiência, além da própria natureza dos fertilizantes, os processos de deposição no solo também devem preencher alguns requisitos como:

- Alta probabilidade das raízes encontrarem os nutrientes aplicados já no começo do desenvolvimento do vegetal.
- Tanto quanto possível evitar processos de perdas dos nutrientes por lixiviação, volatilização e fixações físico-químicas e biológicas.

Ainda segundo os mesmos autores, no Brasil não existem muitos trabalhos que estudem os efeitos da localização dos adubos dentro das culturas. Isto pode, até certo ponto, ser explicado pelo fato da dificuldade que existe em se direcionar o adubo em estado sólido. Já com os fertilizantes fluídos, o direcionamento torna-se relativamente fácil, possibilitando o

desenvolvimento de diferentes métodos de deposição. Em função disto, nos EUA, várias metodologias têm sido recomendadas, como as apresentadas a seguir:

- ***Starter fertilizer***: fertilizante aplicado no plantio, em contato direto ou lateralmente e abaixo da semente;
- ***Strip fertilization***: o insumo é aplicado em faixas na superfície, e geralmente incorporado;
- ***Surface band***: colocação do fertilizante na superfície através de um jato forçado, podendo ser incorporado;
- ***Sidressed fertilizer***: aplicação ao lado das ruas de plantio, geralmente após a emergência do vegetal;
- ***Deep placement***: colocação do fertilizante abaixo da zona convencional de cultivo, através de facas, subsoladores, etc.
- ***Dribble banding***: colocação do insumo na superfície do solo em faixas, podendo ou não ser incorporado;
- ***Dual application***: aplicação simultânea de dois fertilizantes separados em um ponto específico do solo;
- ***Dual placement***: colocação de dois ou mais fertilizantes separados, em faixas subsuperficiais distintas no solo;
- ***Knifed***: o fertilizante é colocado no solo através de haste fina e cortante;
- ***Plow-down fertilizer***: aplicação na superfície do solo antes da aração;
- ***Pop-up fertilizer***: pequenas quantidades do fertilizante são colocadas em contado direto com a semente.

Os sistemas de aplicação podem apresentar-se de diferentes formas. A forma mais empregada tem sido o uso de canais condutores (tubos) situados na parte inferior posterior dos elementos de ataque ao solo, tais como discos de corte, sulcadores, facas, aivecas, subsoladores. Esse tipo de instalação permite o aproveitamento das ferramentas já existentes, incluindo-se as empregadas para a aplicação de adubos sólidos. A Figura 6 ilustra um destes sistemas.



Figura 4 - Exemplos do emprego de aplicadores de líquidos incorporados a uma máquina de plantio adaptada. (FIXEN, 1994).

A simplicidade dos dispositivos de aplicação de fluídos possibilita o seu fácil emprego em equipamentos comerciais, pois basicamente se constituem de uma mangueira e um bocal de deposição no solo. A Figura 4 ilustra um dispositivo de aplicação de fertilizantes líquidos em camada sub-superficial, modelo Maverik, produzido pela Yetter Farm Equipment, empregado em máquinas de plantio direto. Na seqüência da esquerda para direita, os discos exercem a função de remoção e corte da palhada, com posterior recobrimento. Entre os discos observa-se o sulcador com o dispositivo de aplicação de fertilizante líquido na sua parte traseira. Já a Figura 5 ilustra um dispositivo alternativo, onde a aplicação do fertilizante líquido é feita por uma haste flexível que o deposita nas paredes laterais de um sulco.



Figura 5 - Dispositivo de aplicação de fertilizante fluído no solo utilizando haste flexível (BRAGACHINI et al., 2001).

A

Figura 6 ilustra um dispositivo para aplicação de fertilizantes líquidos, desenvolvido pela Bunge Fertilizantes, onde uma bomba centrífuga acoplada à tomada de potência do trator, pressuriza o fertilizante líquido na entrada de uma válvula esférica de comando manual, e que tem a vazão ajustada segundo a necessidade local.



Figura 6 - Dispositivo para aplicação de fertilizantes líquidos desenvolvido pela Bunge Fertilizantes S.A.

Em propriedades que demandam uma aplicação em larga escala, veículos especialmente desenvolvidos para este tipo de atividade são utilizados para otimizar o trabalho de aplicação.

A Figura 7 ilustra um típico veículo para aplicação em larga escala de nutrientes líquidos, onde no detalhe é mostrado o sistema de bombeamento do nutriente.



Figura 7 - Veículo para aplicação de nutrientes líquidos em larga escala.

2.6. Componentes dos Sistemas de Aplicação

Os sistemas de aplicação localizada de fertilizantes fluídos a taxas variáveis que podem operar no modo automático, possuem, além dos elementos existentes nos sistemas tradicionais, um conjunto de elementos capaz de; armazenar informações previamente obtidas, identificar o local de amostragem e regular o volume de nutriente a ser aplicado.

2.6.1. Válvulas Proporcionais

Segundo JOHAN et al. (2004) Nos sistemas de aplicação a taxas variáveis as válvulas são operadas automaticamente por um controlador eletrônico. A forma com que estas válvulas operam pode variar. O modelo tradicionalmente empregado opera com válvulas proporcionais, que alteram a vazão alterando a sua perda de carga, ou seja, alterando a sua área de abertura. Nestas válvulas proporcionais, tradicionalmente a abertura e o fechamento são feitos através de um motor elétrico ligado a uma redução mecânica, denominado de *driver* de acionamento da válvula.

Uma alternativa mais recente adota o uso de válvulas do tipo solenóide, restritas a operarem em apenas em duas situações, totalmente aberta ou totalmente fechada, não existindo uma posição intermediária. A abertura e o fechamento são realizados por uma bobina elétrica, um solenóide, que desloca uma agulha, uma membrana ou um diafragma, o qual obstrui ou não o orifício de passagem do líquido. Essas válvulas são especialmente

desenvolvidas para operar abrindo e fechando diversas vezes em um pequeno intervalo de tempo. O controle da vazão se dá através do controle da proporção entre o tempo que a válvula permanece aberta e o tempo em que a válvula permanece fechada, sendo que esse controle é feito por um circuito eletrônico dedicado, conhecido como amplificador PWM (*Pulse Width Modulation*).

Empregado no controle da injeção de combustível nos motores com injeção eletrônica, os amplificadores PWM vêm ganhando espaço, pois consomem menos energia e vêm tornando-se cada vez mais precisos e baratos. Já existem sistemas com esse tipo de controle na área de fertilizantes fluídos. Um exemplo é o controlador SCS 440, produzido pela Raven Industries, o qual pode efetuar o controle dos motores de suas válvulas proporcionais utilizando-se deste tipo de amplificador.

Contudo, este tipo de válvula não se mostrou adequado para aplicações em malha aberta já que os sistemas acionados por solenóides, operando em vazões relativamente elevadas, apresentam não linearidade e baixa repetitividade.

Nos sistemas dotados de bombas peristálticas ou de pistão, não são empregadas válvulas para regular a vazão do líquido. Nestes sistemas a atuação se dá através do controle da rotação no eixo das bombas.

2.6.2 Válvula Proporcional desenvolvida pelo LIC/UNICAMP.

JOHANN et al. (2004) apresenta uma válvula (Figura 8) desenvolvida no Laboratório de Instrumentação e Controle da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas que tem por finalidade o controle da vazão instantânea dos nutrientes líquidos.

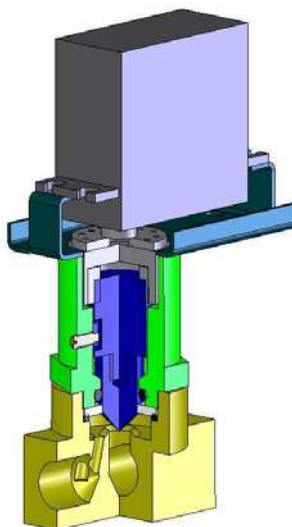


Figura 8 - Vista em corte do protótipo da válvula dosadora desenvolvida por JOHANN et al. (2004).

Esta válvula é acionada por um servo-motor (Figura 9) com excelente precisão para posicionamento angular e com um raio de giro de 180 graus. Possui alto torque e baixo consumo de energia. Estes fatores, associados ao baixo custo, foram decisivos para o estudo da aplicabilidade destes servo-motores no desenvolvimento de uma válvula de controle proporcional de fluxo de nutrientes líquidos.



Figura 9 - Servo-motor marca Futaba, modelo FP-5148, acionado por modulação por largura de pulso (PWM).

O servo-motor Futaba, modelo FP-5148, responde a um sinal de controle em uma frequência de 75Hz, ou seja, um sinal com um período de 13 milésimos de segundo dividido em um ciclo alto (tempo em que o sinal possui uma amplitude de 5 volts.) que varia de um a dois milésimos de segundo para um posicionamento angular de 0 a 180 graus, e um ciclo baixo (tempo em que o sinal possui uma amplitude de 0 Volts.) de valor complementar a 13ms. Este movimento angular é transferido para o corpo mecânico de uma válvula de fluxo variável possibilitando o controle de vazão a partir de um comando elétrico com ciclo de trabalho (*Duty-Cycle*) variável.

Na Figura 8 pode-se observar o mecanismo de abertura do fluxo em formato cônico, para transformar o movimento circular do servo-motor diretamente proporcional à vazão do fluido.

A Figura 10 apresenta os dados que relacionam a vazão de água em função de um sinal (PWM) aplicado à válvula protótipo, mantendo-se a pressão do fluido aplicada na entrada da válvula em 100kPa.

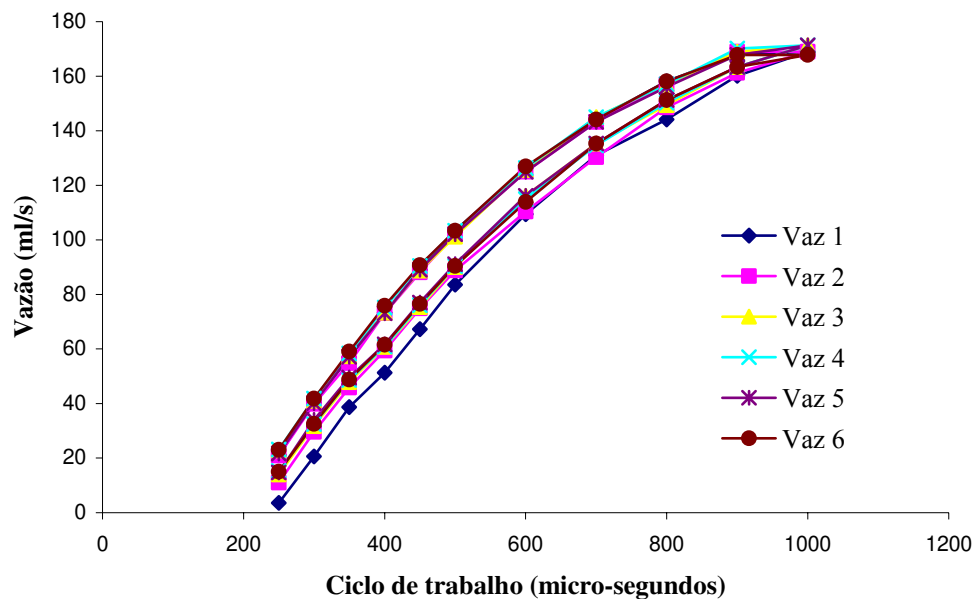


Figura 10 - Curva característica da válvula proporcional desenvolvida.

Como se pode observar, para a faixa de vazões entre 20ml/s e 130ml/s, o comportamento da curva de resposta que relaciona vazão ao ciclo de trabalho do sinal PWM aplicado à válvula proporcional, apresenta visível linearidade. Esta faixa de vazão atende a maioria das necessidades de fluxo de nutrientes para as culturas praticadas no Brasil, considerando-se uma velocidade de aplicação não superior a dez quilômetros por hora.

2.6.3. Controladores de Aplicação.

O controle automático da quantidade de nutriente a ser aplicado em um determinado local envolve um conjunto de procedimentos e componentes especificamente desenvolvidos para esta finalidade. Em primeiro lugar é necessária a confecção de um mapa de aplicação, na forma de uma planilha eletrônica, contendo as informações de posicionamento geográfico e as respectivas taxas de aplicação dos nutrientes envolvidos. Todas estas informações serão carregadas em um módulo eletrônico de controle que fará o reconhecimento do local de aplicação a partir das coordenadas geodésicas recebidas de um receptor GPS. Uma vez

identificada a área de aplicação, o módulo de controle processa todas as informações introduzidas pelo operador, através da interface homem-máquina (IHM). Após todos os parâmetros de aplicação estarem compilados, o módulo de controle efetua uma varredura para a verificação do estado de todos os sensores envolvidos no processo de aplicação. Estes sensores informam ao módulo de controle a presença de nutriente nos reservatórios, a pressão nas linhas de aplicação, temperatura, etc.

Outro fator que influencia diretamente no fluxo dos nutrientes para a obtenção de uma determinada taxa de aplicação é a velocidade de aplicação. Esta informação também é normalmente obtida do receptor GPS, que pode ser um componente externo ou já estar incorporado ao circuito do módulo de controle e apenas receber um sinal externo de correção.

Todas estas informações resultam em um sinal de comando, enviados para um módulo de interface, para realizar a abertura e o fechamento das válvulas proporcionais de controle dos fluxos de nutrientes a serem aplicados e o comando dos demais periféricos pertencentes ao sistema hidráulico de aplicação. .

Os controladores eletrônicos apresentam um grande leque de aplicações, podem ser empregados na operação de máquinas industriais, aparelhos residenciais, aparelhos automotivos, dentre outros. Eles podem ser de uso geral ou dedicado. Os controladores de uso geral são dotados de um conjunto predefinido de portas, permitindo a sua ligação com um certo número de sensores e atuadores. Nem sempre o número e o tipo das portas (interfaces) é o mais adequado para a aplicação, isto é, podem sobrar portas que não serão utilizadas. Os controladores dedicados são desenvolvidos para uma aplicação específica, como é o caso dos controladores utilizados na aplicação de fertilizantes líquidos. Diferente dos controladores de uso geral, onde tem que se programar e especificar quais tipos e quantas interfaces se deseja ter, os específicos para fertilizantes líquidos já vem com a sua programação interna pronta, e com a quantidade e tipo exato de interfaces para efetuar a operação de aplicação. Geralmente vêm incorporados com funções adicionais, como uma IHM (Interface Homem Máquina), que além de monitorar e controlar os parâmetros de operação do controlador, também efetuam algumas funções de cálculos, as quais são úteis ao operador. Dentre os controladores para a aplicação de fertilizantes líquidos existentes, pode-se citar:

Midwest Technology, Legacy 6000: Este aparelho, com o auxílio dos periféricos adicionais que compõem o conjunto, é capaz de controlar até 6 nutrientes para aplicações a taxa e formulação variáveis



Figura 11 - Módulo de controle para a aplicação de fertilizantes líquidos a taxas variáveis.
(MIDWEST TECHNOLOGY, 2003).

A Figura 12 ilustra o conjunto de periféricos necessários apenas para a aquisição dos dados para a implementação de um sistema para aplicação de fertilizantes líquidos a taxa e formulação variáveis, utilizando-se o controlador modelo Legacy 6000 da MIDWEST TECHNOLOGY.

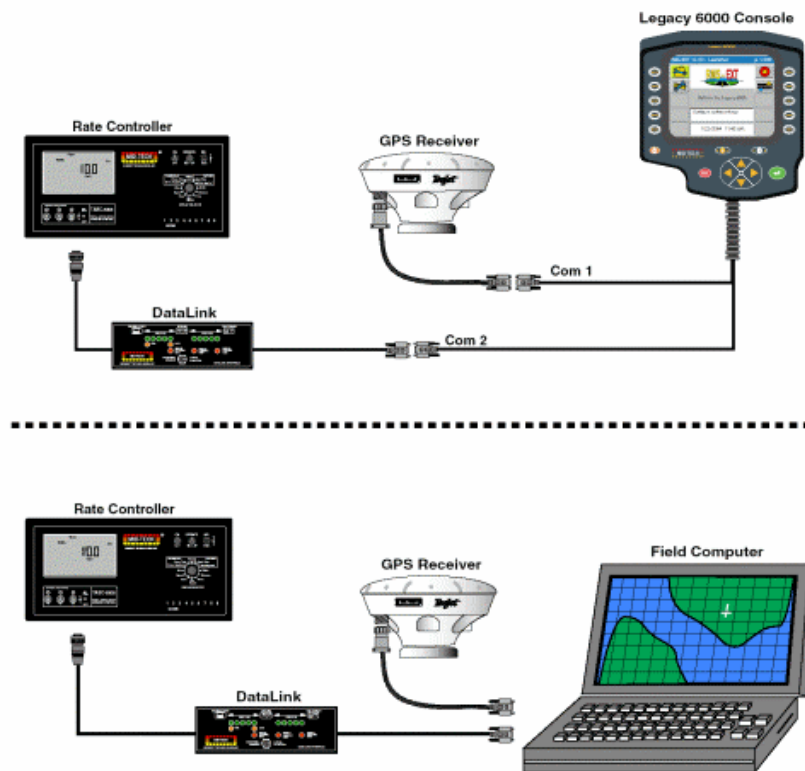


Figura 12 - Conjunto de periféricos para o módulo Legacy 6000 da MIDWEST TECHNOLOGY.

A Figura 13 ilustra um DICKEY-John, Land Manager: controlador para a aplicação de defensivos, fertilizantes sólidos ou líquidos fabricado pela DICKEY-John, Land Manager. Inicialmente desenvolvido para operar sozinho, efetuando aplicação a taxa constante. No entanto, esse sistema possui uma conexão de porta serial que possibilita a sua operação a taxas variáveis, recebendo os dados de aplicação de um computador externo;

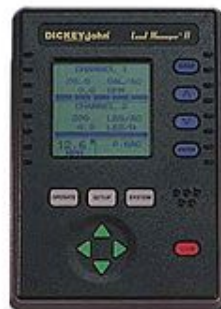


Figura 13 - Central de controle para aplicação de fertilizantes líquidos a taxas variáveis

A Figura 14 mostra o controlador produzido pela Raven Industries, capaz de operar a sua aplicação controlando uma válvula proporcional por linha. A maior parte dos controladores opera com taxa de aplicação constante.



Figura 14 - Central de controle SCS 760, para a aplicação de fertilizantes líquidos a taxas variáveis. (RAVEN INDUSTRIES, 2003)

Pode-se observar que os sistemas de aplicação a taxas variáveis existentes no mercado são projetados para a pulverização de nutrientes na forma de adubação foliar e adaptados para a aplicação de nutrientes líquidos diretamente no solo, necessitando de inúmeros periféricos adicionais para este tipo de aplicação. Isto eleva acentuadamente o custo do sistema e dificulta o processo de instalação e remoção no veículo aplicador. Percebe-se então, que não existem equipamentos específicos para a aplicação de fertilizantes líquidos diretamente no solo, a taxas e formulações variáveis. No entanto, existe a possibilidade de desenvolvimento de dispositivos capazes de aproveitar os implementos tradicionais já existentes no campo. Demonstra-se então uma deficiência e um potencial de desenvolvimento neste tipo de aplicação.

2.7. Porta Paralela

Em um microcomputador do padrão PC, a porta paralela, também chamada de porta de impressora é constituída por três registradores de entrada e saída. Foi projetada para permitir a conexão do microcomputador com impressoras paralelas, mas também pode ser usada como uma porta genérica.

ZELENOVSKY e MENDONÇA (1998), afirmam que a primeira porta paralela do PC recebe o nome de LPT1. No endereço de entrada e saída (I/O) 378h, está o Registrador de Dados de 8 bits, normalmente usado para saída, mas que também pode ser entrada de dados. No endereço de I/O 379h, está o Registrador de Estado, que trabalha como entrada e possui 5 bits. Já no endereço de I/O 37Ah, está o Registrador de Controle, que opera com 4 bits de forma bidirecional, podendo então ser configurado como entrada ou saída. Uma das entradas do Registrador de Estado pode provocar interrupção da CPU, cuja habilitação é controlada por software. Todos os terminais de interface estão disponíveis em um conector tipo DB de 25 pinos, geralmente localizado na parte traseira do computador.

A Tabela 3 apresenta a identificação dos três registradores de I/O com os respectivos pinos de conexão.

Tabela 3 - Terminais da Porta Paralela de um micro-computador.

PORTA	BIT	DIREÇÃO	PINOS	NOME
378h	7	Out	9	D7
	6	Out	8	D6
	5	Out	7	D5
	4	Out	6	D4
	3	Out	5	D3
	2	Out	4	D2
	1	Out	3	D1
	0	Out	2	D0
379h	7	In	11(L)	BUSY
	6	In	10	ACKNLG
	5	In	12	PAPER OUT
	4	In	13	SELECT
	3	In	15	ERROR
37Ah	5			
	4			
	3	In/Out	17(L)	SLCT IN
	2	In/Out	16	INIT
	1	In/Out	14(L)	AUTO FEED
	0	In/Out	1(L)	STROBE

Como se pode observar, no endereço 378h estão presentes oito bits de dados, que podem trabalhar como entradas ou saídas de dados.

No endereço 379h estão presentes cinco bits de entradas e que normalmente são utilizados como bits de controle para impressoras, mas que podem ser utilizados por qualquer periférico que necessite enviar informações ao computador. O bit denominado *Busy* é interpretado com nível lógico invertido, e necessita de uma atenção especial quando da sua utilização.

O endereço 37Ah é uma via de controle que também opera na forma bidirecional e possui quatro bits disponíveis para comunicação. Os sinais *Select In*, *Auto Feed* e *Strobe*, assim como o sinal *Busy* da porta 379h, também trabalham com a lógica digital invertida.

Toda vez que um dado é disponibilizado em algum dos registradores de saída da porta paralela, este permanecerá ativo até que um novo valor seja disponibilizado. Esta característica possibilita que a comunicação com os periféricos seja bastante simplificada.

A Figura 15 ilustra a identificação dos terminais de uma típica porta-paralela existente nos micro-computadores, normalmente utilizada como saída para impressora.

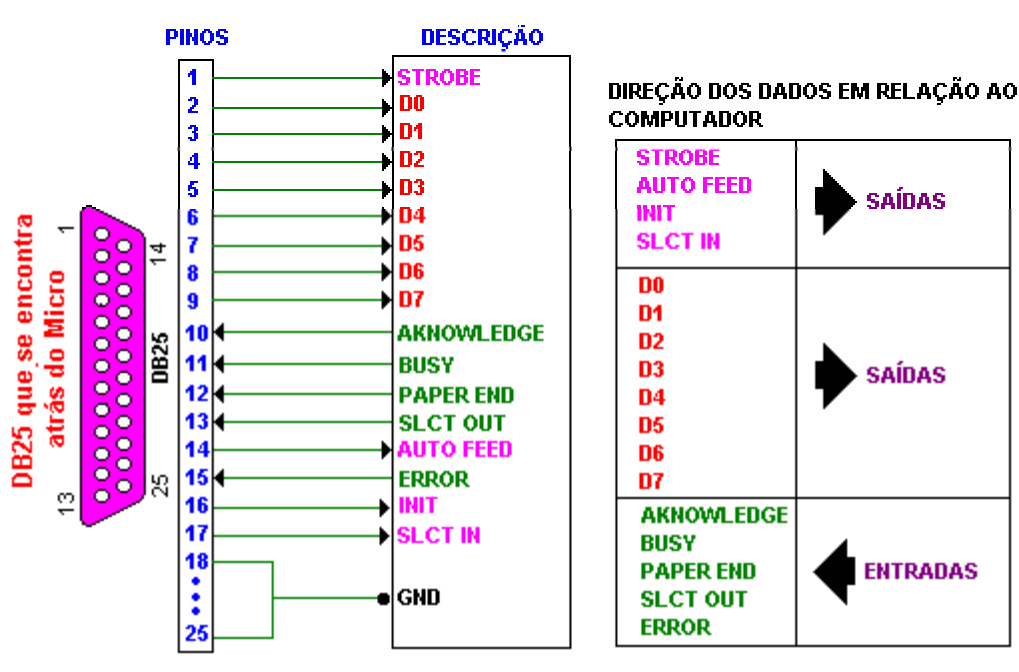


Figura 15 - Diagrama de identificação dos terminais da porta-paralela de um PC.

3. MATERIAL E METODOS:

O sistema de aplicação de fertilizantes líquidos, proposto pelo Laboratório de Instrumentação e Controle (LIC), pode operar com até três concentrados distintos que, combinados na quantidade e proporção corretas, obedecendo a um mapa de aplicação previamente elaborado, bem como a velocidade do veículo motriz, suprem as necessidades localizadas do solo. Cada um dos compostos é dosado por meio de circuitos hidráulicos independentes, gerenciados pelo Módulo de Controle e acionados pelo Módulo de Interface (MDI). Os três concentrados serão combinados de modo a suprir as necessidades localizadas de nitrogênio, fósforo e potássio.

A Figura 16 mostra uma solução proposta para a instalação em um trator e um implemento dos módulos de controle e de interface. São mostrados também; duas formas de comunicação entre os módulos, com fios (via porta paralela) e sem fios (via radiofrequência).

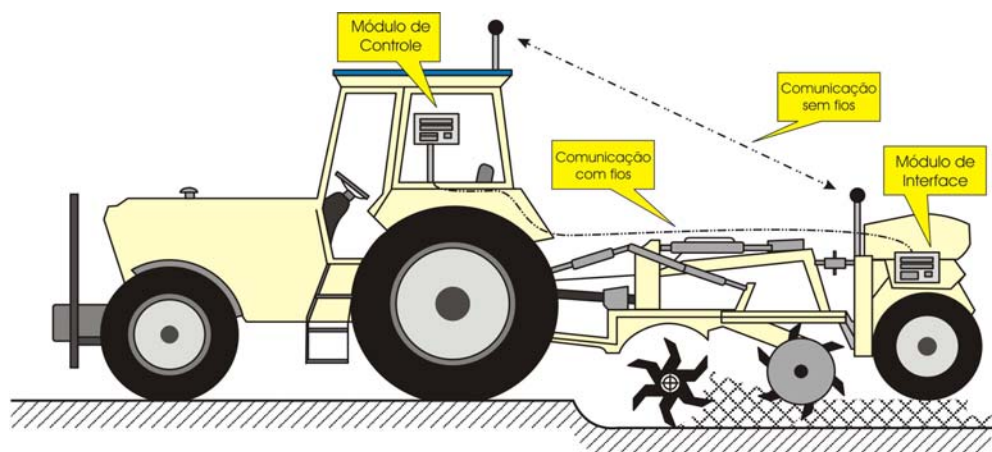


Figura 16 - Exemplo de instalação do sistema para formulação, dosagem e aplicação localizada de fertilizantes líquidos a taxas variáveis.

Como podemos observar na Figura 16, este equipamento é composto por dois módulos principais e seus periféricos, que são: módulo de processamento e módulo de interface.

A Figura 17 ilustra o conjunto dos módulos de desenvolvimento destacando o módulo de interface, o foco principal de estudo deste trabalho.

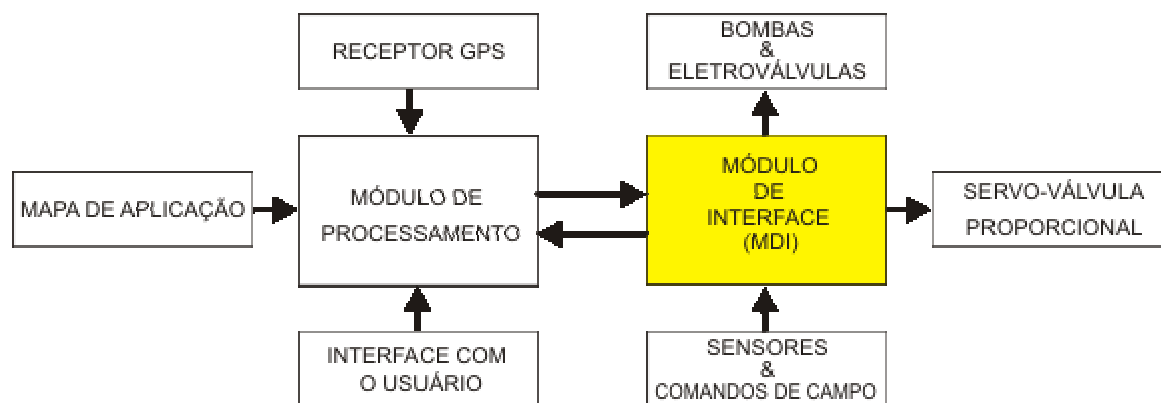


Figura 17 - Diagrama em blocos do sistema de aplicação.

3.1 Metodologia do Projeto

Por se tratar de um desenvolvimento em conjunto, adotou-se uma metodologia de trabalho e pesquisa, capaz de integrar todas as fases deste projeto ao conjunto de atividades exercidas pelos demais pesquisadores do Laboratório de Instrumentação e Controle (LIC).

A Figura 18 apresenta o fluxograma seguido no desenvolvimento do projeto do Módulo de Interface (MDI).

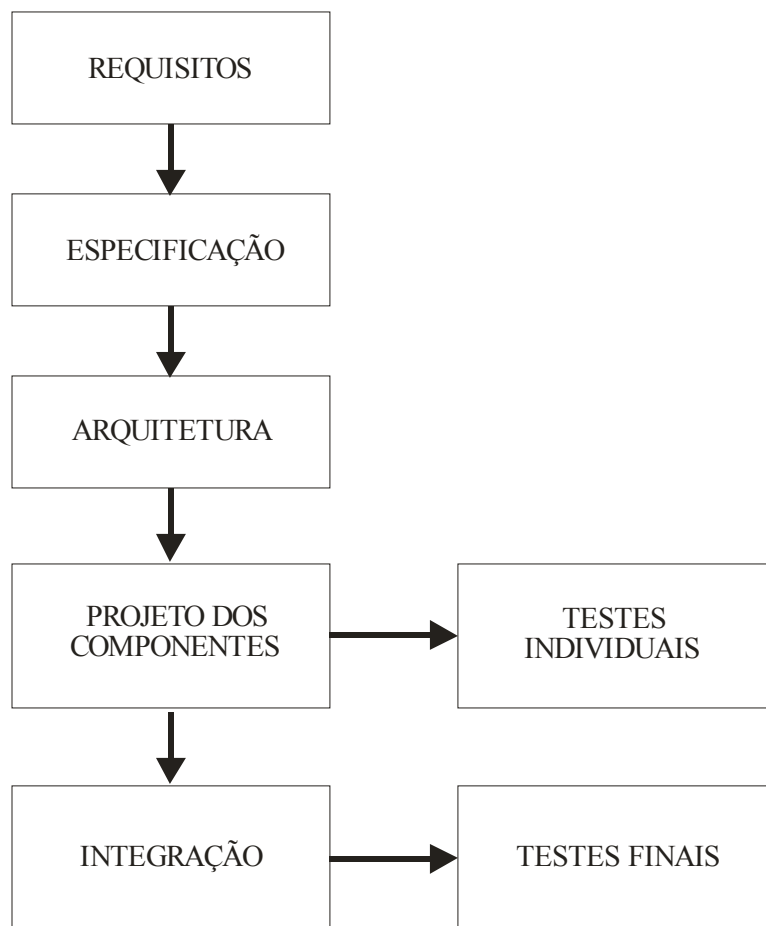


Figura 18 - Fluxograma da metodologia do projeto da MDI.

Numa primeira etapa foram identificados os requisitos do Módulo de Controle, tais como: padrão dos sinais de entrada e saída, compatibilidade de comunicação com o padrão SPP da porta paralela e taxa de transferência dos dados.

A partir destes requisitos, definiu-se as características dos periféricos a serem comandados pelo MDI, levando-se em conta; resistência, durabilidade, facilidade de instalação, consumo, custo e disponibilidade no mercado nacional.

Para o projeto dos componentes que não são encontrados comercialmente, foram utilizados aplicativos para desenvolvimento de sistemas digitais e projeto das placas de circuito impressos, softwares de domínio público, devido ao alto custo para a aquisição destas ferramentas de desenvolvimento.

Os componentes do MDI foram testados individualmente, antes do processo de integração, visando quantificar o seu desempenho e identificar possíveis problemas operacionais.

Para que todo o sistema seja avaliado em condições de trabalho, desenvolveu-se um software de testes, na linguagem Delphi, instalado em um microcomputador, que possa enviar e receber dados na porta paralela, para simular os sinais do Módulo de Controle. Assim, com o auxílio desta ferramenta, através de uma tela gráfica, no monitor do PC, é possível controlar todas as funções de comando e monitoração do MDI.

O critério estabelecido para a avaliação estática e dinâmica de funcionamento do MDI consiste na medição, em tempo real, da largura dos pulsos gerados. Uma vez que, segundo JOHANN et al. (2004), o servo-motor que comanda a abertura da válvula proporcional, responde linearmente em função do ciclo de trabalho do sinal PWM de comando, a operação do MDI também pode ser avaliada pelo sinal PWM de saída em função do valor percentual de abertura enviado pelo módulo de controle.

3.1.2. Mapa de aplicação

O mapa de aplicação contém as recomendações de adubação para toda a área a ser coberta, sendo disponibilizadas na forma de um banco de dados. Este banco de dados por sua vez, relaciona as coordenadas geodésicas do terreno com a informação da quantidade necessária de cada um dos três concentrados a serem aplicados.

3.1.3. Módulo de processamento

Ao módulo de processamento foi incorporado um receptor GPS que fornece a informação das coordenadas geodésicas de onde se encontra o equipamento de aplicação e sua velocidade de deslocamento. O controlador envia então o sinal de atuação para o módulo de interface (MDI) que comanda as válvulas que regulam a vazão de cada um dos concentrados.

A Figura 19 ilustra as funções de entrada e saída do módulo de processamento em desenvolvimento pelo LIC.

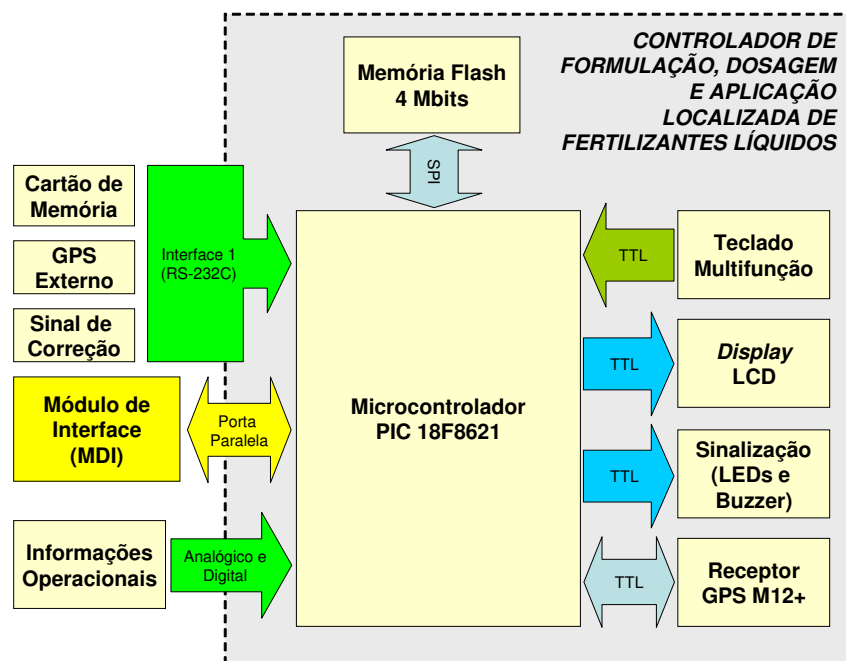


Figura 19 - Diagrama em blocos do módulo de processamento proposto em desenvolvimento pelo LIC.

3.1.4. Circuito hidráulico

Os três circuitos hidráulicos serão idênticos, cada um é composto de um reservatório, um filtro, uma bomba centrífuga, um manômetro, uma válvula reguladora de pressão e uma válvula reguladora de vazão comandada pelo controlador. A Figura 20 ilustra o sistema de aplicação proposto.

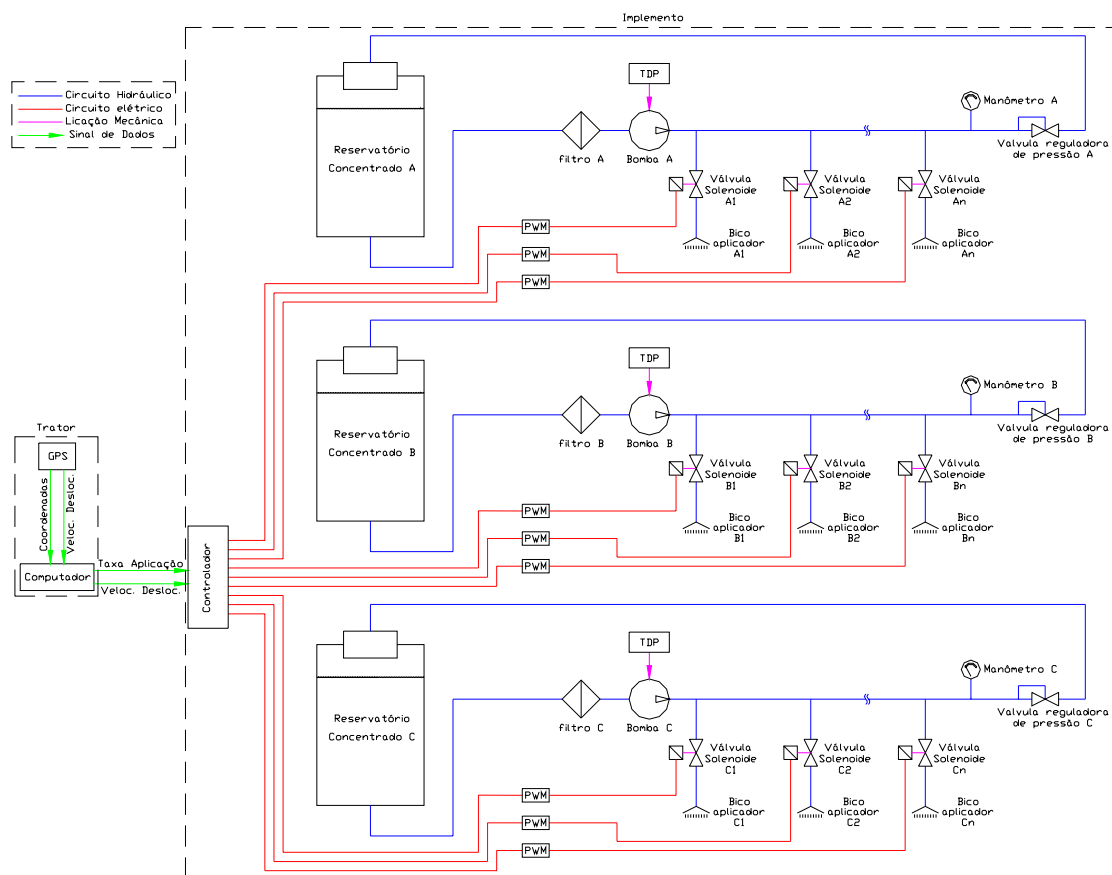


Figura 20 - Diagrama unifilar do sistema em desenvolvimento.

Neste circuito, a bomba centrífuga fornece pressão e vazão à linha de alimentação das válvulas. O acionamento da bomba será feito pela TDP (tomada de potência) do trator. A pressão na linha é mantida constante devido à atuação da válvula reguladora de pressão, ajustada manualmente com o auxílio do manômetro. O excedente da vazão do concentrado volta para o reservatório, proporcionando sua agitação. O filtro tem a função de limitar o tamanho máximo do cristal que irá passar pela bomba e pelo restante da linha, bem como a de reter impurezas, evitando entupimento e desgaste prematuro dos componentes. O amplificador PWM pertencente ao Módulo de Interface (MDI) atuará, por meio de dispositivos de potência, abrindo e fechando a válvula servo-controlada. O sinal de controle estabelecerá o ângulo de abertura da válvula reguladora de vazão.

O sistema opera em malha aberta, ou seja, sem o retorno da informação da vazão do fertilizante líquido que está realmente sendo aplicado. Tal decisão tem por base a limitação de precisão dos sensores convencionais e os problemas de desgaste e entupimentos decorrentes da suspensão de partículas fertilizantes. A utilização de sensores mais sofisticados é restrita pelo seu elevado custo e sensibilidade mecânica. Porém, segundo JOHANN et al. (2004) devido à precisão de posicionamento proporcionada pelo servo-motor que comanda a válvula proporcional utilizada, mantendo-se constante a pressão do fluido na entrada da válvula proporcional, a vazão será diretamente proporcional ao ângulo de giro do servo-motor. O Módulo de Controle possui uma rotina de ajuste de calibração do equipamento que deverá ser executada antes de cada operação no campo e após cada reabastecimento de nutriente.

Considerando-se que o sistema deverá operar em malha aberta, a manutenção do circuito hidráulico a uma pressão constante tem por objetivo proporcionar uma situação mais uniforme para a operação das válvulas que irão regular a vazão do concentrado.

A opção pela escolha de um sistema com pressão controlada e o desenvolvimento de uma válvula *servo-controlada* com acionamento via servo motor comandado por circuito PWM, objetiva a redução de custos em relação à utilização de válvulas de vazão controlada compensadas à pressão.

3.1.5. Módulo de Interface

O Módulo de Interface (MDI) é constituído por uma placa eletrônica microcontrolada que recebe as informações das taxas de aplicações dos nutrientes, enviadas via porta paralela pelo Módulo de Controle. Estas informações, já decodificadas para um percentual de vazão, bem como os sinais dos sensores de níveis mínimos dos reservatórios dos nutrientes e dos pressostatos que monitoram os circuitos hidráulicos. Todas estas informações são processadas e convertidas em sinais elétricos modulados em largura de pulso (PWM), que comandarão; os três conjuntos de válvulas proporcionais para controle de vazão, o acionamento das moto-bombas e as eletro-válvulas que liberam o fluxo dos nutrientes.

A comunicação entre o Módulo de Controle e o Módulo de Interface foi concebida para que haja compatibilidade com a porta paralela de um computador pessoal (PC), popularmente conhecida como porta de impressora. Inicialmente esta via de comunicação foi

projetada para permitir a conexão do PC com impressoras paralelas, mas também pode ser usada como uma porta genérica. Esta porta é constituída por três registradores (posições de memória onde são armazenados os valores de saída ou entrada da porta paralela) que normalmente estão disponíveis para o usuário por um conector tipo DB de 25 pinos.

No endereço de entrada e saída (I/O) 378h pertencente à porta paralela está o Registrador de Dados de 8 bits, que nesta aplicação será usado como saída, para que o Módulo de Controle possa informar ao MDI o valor percentual da taxa instantânea a ser aplicada. Desta forma, será possível uma resolução máxima de 0,5 %, possibilitando assim, o controle de abertura da válvula proporcional com incrementos definidos de 1%.

No endereço de I/O 379h, está o Registrador de Estado, que trabalha como uma entrada de 5 bits. Através deste registrador o MDI estará informando o sistema computacional sobre eventuais falhas ocorridas no sistema, como por exemplo, falta de algum nutriente, perda de pressão da linha de distribuição dos nutrientes, etc. Já no endereço de I/O 37Ah, está o Registrador de Controle, que opera com 4 bits, e que está sendo configurado como saída, para informar ao MDI qual dos dosadores de nutrientes será selecionado para receber informações.

Todas estas informações serão processadas pelo micro-controlador residente na MDI, que em tempo real, estará gerando os sinais para abertura das servo-válvulas, acionando as bombas de pressão de linha, acionando as eletro-válvulas para liberação do fluxo dos nutrientes e, no caso de falha no sistema, acionando o alarme para o operador.

A Figura 21 apresenta um diagrama de blocos do Módulo de Interface., nele é possível observar o conjunto de periféricos de comunicação e controle diretamente relacionados a este sistema.

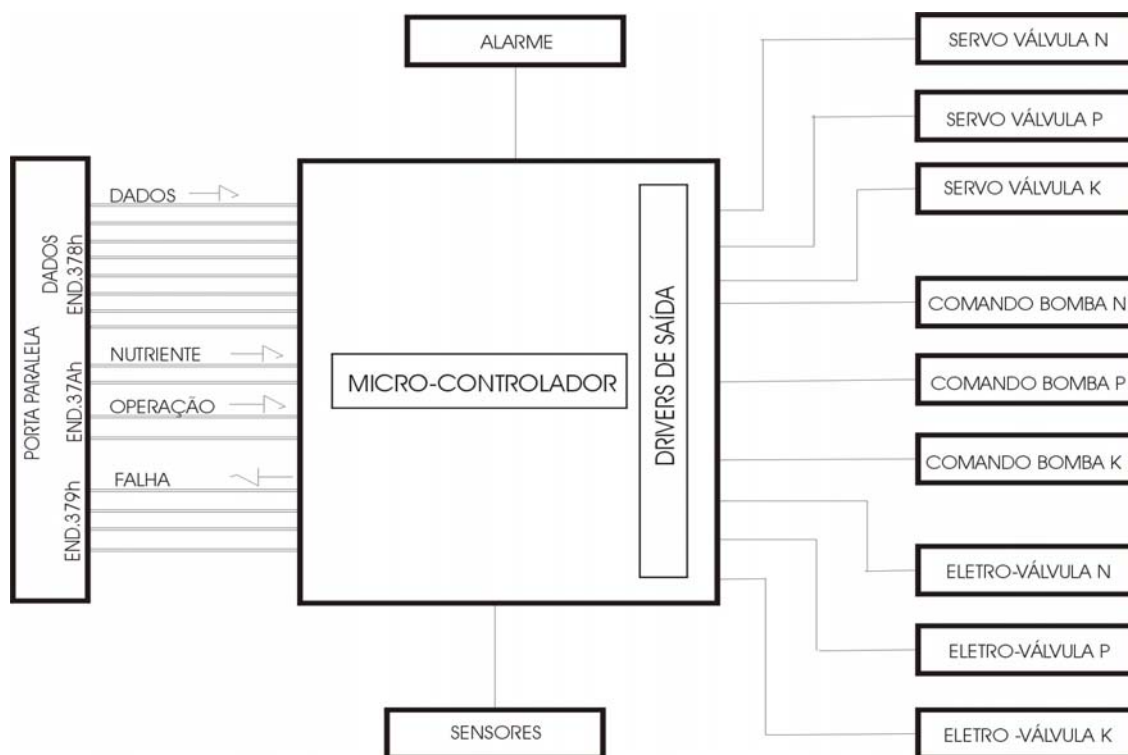


Figura 21 - Diagrama de blocos do Módulo de Interface

3.1.6. Hardware do Módulo de Interface.

O Módulo de Interface, também chamado MDI, tem a função de receber as informações do Módulo de Controle, verificar as condições de aplicabilidade e controlar as válvulas proporcionais de aplicação. Este sistema é capaz de trabalhar com até três nutrientes distintos e com até dez linhas de aplicação. Sendo que o único fator limitante para a expansão do número de linhas é a capacidade da fonte de alimentação interna, podendo ser acoplada uma fonte externa quando for necessário um maior número de linhas.

O princípio básico de controle das válvulas proporcionais utilizadas, conforme JOHANN (2004), consiste em enviar um sinal modulado em largura de pulso (PWM) para o servo motor de controle de abertura da válvula proporcional. Este sinal PWM possui as seguintes características: Quando um sinal com uma amplitude de 5 volts, um período de 13ms e um ciclo de trabalho em que o nível alto varie de um a dois milésimos de segundo e o nível baixo seja o complemento para treze milésimos de segundo, a abertura da válvula

proporcional varia de 0 a 100%. Segundo JOHANN (2004) garantindo-se a uniformidade do sinal de excitação da válvula proporcional e, mantendo-se a pressão constante, a vazão varia de forma bastante linear.

A Figura 22 ilustra a variação do ângulo de giro do servo-motor em função da largura do pulso de controle.

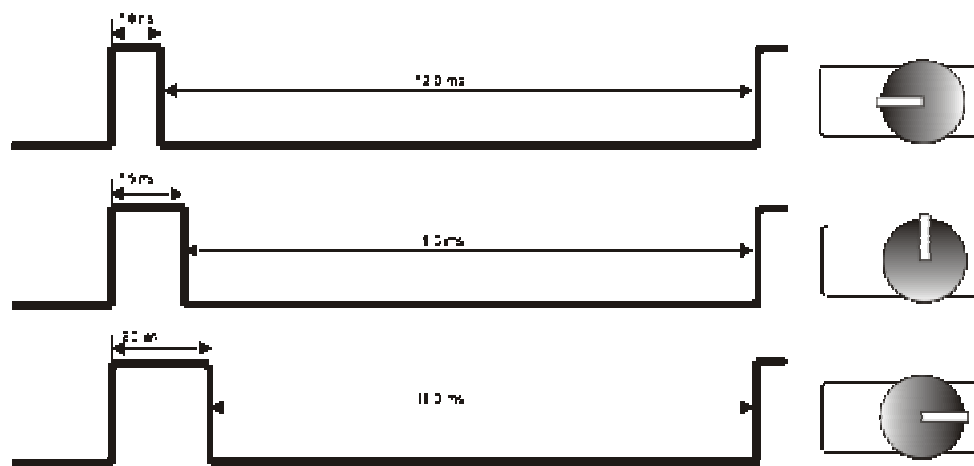


Figura 22 - Sinal de controle do servo-motor.

Para garantir a homogeneização dos nutrientes, bem como pressão constante dos fluídos nutrientes nas entradas das válvulas proporcionais, um conjunto de até três moto-bombas será comandado pela MDI, dependendo da quantidade de nutrientes selecionada para a operação.

O sistema ainda pode comandar três eletro-válvulas para a liberação do fluxo de nutriente para as válvulas proporcionais de aplicação. Isto garante a total contenção do fluxo caso ocorra alguma falha nas válvulas proporcionais.

A Figura 23 ilustra o sistema de aplicação proposto para apenas um nutriente.

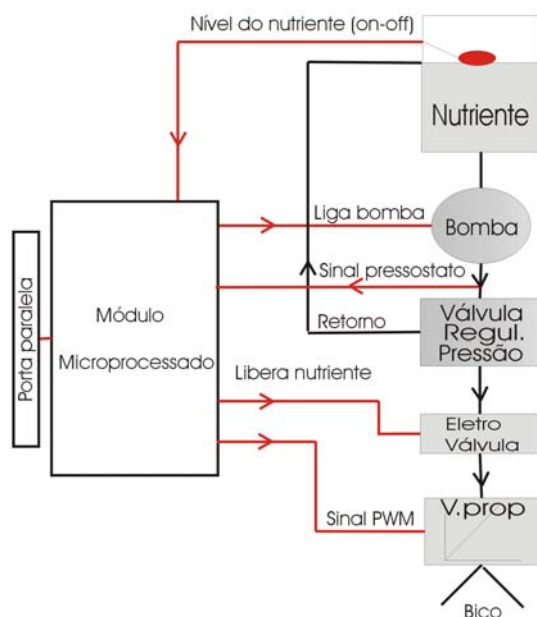


Figura 23 - Modelo do sistema de aplicação para um nutriente.

Como se pode observar, além do controle das válvulas proporcionais, das moto-bombas e das eletro-válvulas de contenção de fluxo, a MDI também monitora os sensores de pressão e os sensores de “nível crítico”. Estes sensores somente estarão sendo monitorados pela MDI caso o seu respectivo nutriente tenha sido selecionado.

Caso algum destes sensores sinalize condições impróprias para a operação, a falha será processada pelo software residente e enviada ao módulo de controle para que a operação seja interrompida.

Este sistema deve conter ainda dois comandos do tipo botoeira, posicionados próximos aos pontos de aplicação, e que têm como funções a calibração do sistema e, em caso de emergência, a interrupção total do equipamento.

3.1.7. Modo de Operação

Após as informações necessárias para a operação, tais como; mapa de aplicação, nutrientes envolvidos, etc. tenham sido transferidas para o Módulo de Controle, e os reservatórios para os nutrientes abastecidos, o processo de aplicação pode ser inicializado.

Neste momento dá-se a troca de informação entre o Módulo de Controle e a Módulo de Interface conforme procedimento a seguir.

3.1.7.1. Inicialização.

A primeira informação enviada pelo módulo de controle ao Módulo de Interface, indica quais os nutrientes básicos estarão envolvidos neste processo. Para isto, o Módulo de Controle disponibiliza o código de controle, via endereço 37Ah, relativo os nutrientes envolvidos, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Código de seleção dos compostos

Código	Hexadecimal	Binário	Significado
Código 04	04h	(0 1 0 0)b	Somente composto do Nitrogênio na operação.
Código 05	05h	(0 1 0 1)b	Somente composto do Fósforo na operação.
Código 06	06h	(0 1 1 0)b	Somente composto do Potássio na operação.
Código 07	07h	(0 1 1 1)b	Compostos de Nitrogênio e Fósforo na operação.
Código 08	08h	(1 0 0 0)b	Compostos de Nitrogênio e Potássio na operação.
Código 09	09h	(1 0 0 1)b	Compostos de Fósforo e Potássio na operação.

Caso nenhuma destas informações seja disponibilizada, o sistema considera que os três compostos básicos estarão envolvidos.

A informação de quais serão os nutrientes envolvidos no processo é de fundamental importância para todo o restante do processo, pois é ela quem informa ao micro-controlador da MDI quais periféricos estarão envolvidos no processo. Assim, por exemplo, caso a operação selecionada não contenha o composto nitrogenado, o sensor de nível crítico não será monitorado e não serão acionadas a moto-bomba, eletro-válvula e servo-válvula relativas ao elemento nitrogênio.

3.1.7.2. Agito de nutrientes.

Uma vez que os tanques de armazenagem dos nutrientes básicos sejam abastecidos, é recomendável que o sistema mantenha, sempre que possível, o processo de agitação dos nutrientes, para que haja uma perfeita homogeneização dos compostos. Este procedimento evitará que haja uma precipitação dos elementos mais densos e, conseqüente entupimento do sistema. Assim, ainda que a operação tenha sido temporariamente interrompida, o módulo de controle envia o Código de Controle 0Eh, ou seja, 1110b fazendo com que o MDI verifique quais são os elementos envolvidos e verifique ainda, através dos sensores de nível crítico destes nutrientes, se os volumes são satisfatórios, para então acionar as respectivas moto-bombas de pressurização.

É importante salientar que nesta fase de inicialização, tanto as eletro-válvulas quanto as válvulas proporcionais estão fechadas. Desta forma, quando as moto-bombas forem acionadas, a tendência da pressão de linha seria aumentar até o limite máximo das bombas, porém o sistema possui as válvulas limitadoras de pressão que estarão aliviando o sistema e desviando para retorno o fluxo do nutriente. Este procedimento, além de garantir pressão constante nas válvulas proporcionais, possibilita uma movimentação do nutriente pelo sistema.

Os procedimentos de Agito de Nutrientes (0Eh) ou Máquina Parada (0Dh) serão utilizados toda vez que nenhuma outra informação esteja sendo selecionada, para garantir uma codificação diferente de Inoperante (00h), pois neste caso, o Módulo de Interface estaria enviando para o Módulo de Controle um código de falha, via endereço 379h, relativo à Perda de Comunicação (00h).

3.1.7.3. Calibração.

Devido às possíveis variações físico-químicas dos nutrientes está previsto, durante o processo de inicialização do equipamento, um procedimento de aferição das vazões das válvulas proporcionais de aplicação. Este procedimento consiste em liberar uma quantidade pré-determinada de cada nutriente e, levando-se em conta o valor da diferença obtida, o sistema deverá ser capaz de dimensionar o fator de correção.

Periodicamente é necessário verificar se o sistema está operando dentro da faixa de tolerância pré-estabelecida pelo usuário, pois, alguns fatores como: viscosidade, pressão do

sistema, temperatura, etc. pode alterar o comportamento das servo-válvulas de aplicação.. Devido à possibilidade da utilização de várias linhas de aplicação para cada nutriente simultaneamente, a calibração poderá ser efetuada pelo resultado do somatório de todos os volumes obtidos de todas as linhas de aplicação. Deve-se destacar que o ideal seria a coleta individualizada dos volumes dispensados em cada linha de aplicação, porém este método mostrou-se pouco prático para ser implementado no campo.

Exemplo de Calibração do sistema de aplicação de nitrogênio:

1. O Módulo de controle envia para o endereço 37Ah o código para calibração de nitrogênio (0Ah);
2. O operador instala uma calha coletora abaixo dos bicos de aplicação de N;
3. Um recipiente graduado em volume recolhe o nutriente coletado pela calha;
4. O operador aciona o botão de calibração;
5. A MDI libera uma vazão por um tempo pré-definido;
6. O operador então, verifica se o volume liberado está correto;
7. Caso esteja, o operador aciona novamente o botão de calibração e o processo se repetirá para o próximo nutriente.
8. Caso contrário, o operador informa ao Módulo de Controle qual a diferença encontrada e um novo fator de calibração será calculado e implementado.

3.1.8. Operação.

Após todo o procedimento de inicialização ser concluído, o Módulo de Controle informa ao MDI quais são os valores de abertura das válvulas proporcionais para cada nutriente envolvido. Este procedimento é realizado da seguinte maneira:

O Módulo de Controle disponibiliza no endereço 37Ah o código (01h) que corresponde ao nutriente N, e em seguida, através do endereço 378h, informa o valor percentual de abertura para a válvula proporcional de nitrogênio. Este valor percentual deve ser informado com uma resolução de 1%.

Para o ajuste do valor do nutriente P o código (02h) é disponibilizado no endereço 37Ah e o respectivo valor percentual deverá estar presente no endereço 378h.

Da mesma forma se dará o ajuste de abertura da válvula proporcional para o nutriente K, o código (03h) deverá ser selecionado no endereço 37Ah e o seu respectivo valor percentual de abertura no endereço de dados 378h.

O procedimento de ajuste de vazão será dinâmico durante todo o processo de aplicação, a todo instante estes valores estarão sendo atualizados em função da necessidade local.

3.1.8.1. Máquina Parada.

Toda vez que o equipamento de aplicação parar, o Módulo de Controle envia para o MDI o código (0Dh) e o sistema entra no modo Máquina Parada. Este procedimento evita gotejamentos indevidos enquanto a máquina estiver inoperante. Neste modo as válvulas proporcionais serão fechadas e as eletro-válvulas de liberação de fluxo serão desligadas, apenas as bombas de pressurização estarão em funcionamento para garantir a agitação dos nutrientes.

A Figura 24 ilustra a eletro-válvula fabricada pela Asco Válvulas, com acionamento de 12 volts e utilizada nos ensaios com água.



Figura 24 - Eletro-válvula utilizada para liberação de fluxo.

3.1.9. Falhas durante a operação.

Durante o processo de operação poderão ocorrer algumas falhas relativas às condições de aplicabilidade dos nutrientes. Para garantir que o operador seja imediatamente informado quando ocorrer alguma falha, foram previstos os seguintes procedimentos:

3.1.9.1. Perda de Comunicação.

Em condições normais de uso, o código de comunicação presente na porta 37Ah deverá necessariamente ser um valor diferente de (00h), pois, no caso de um problema funcional no Módulo de Controle ou a interrupção da comunicação, este valor estará presente e será interpretado pelo MDI como perda de comunicação. Nestas condições os seguintes procedimentos serão adotados:

- Todas as moto-bombas serão desligadas;
- Todas as válvulas proporcionais serão fechadas;
- Todas as eletro-válvulas serão desligadas;
- O código (00h) será enviado para o endereço (379h) do Módulo de Controle, informando a perda de comunicação.

3.1.9.2. Falta do nutriente N, P ou K.

Tendo em vista que a formulação e a taxa de aplicação são variáveis, existe uma variabilidade muito grande quanto ao consumo dos nutrientes, sendo então necessário o monitoramento automático do nível crítico dos nutrientes. Este monitoramento será efetuado por três sensores capacitivos instalados nos tanques de armazenagem. A escolha deste tipo de sensor foi baseada na possibilidade dos mesmos serem instalados do lado externo dos tanques de armazenamento de nutrientes, sem a necessidade do contato físico do sensor com o nutriente. Caso algum dos nutrientes atinja o nível crítico, a operação será interrompida e os seguintes procedimentos serão adotados:

- Desligamento da bomba relativa ao nutriente faltante;
- Desligamento de todas as eletro-válvulas;
- Todas as válvulas proporcionais serão fechadas, porém não desligadas. O código correspondente ao nutriente faltante: (01h) para nitrogênio, (02h)

para fósforo ou (03h) para potássio será enviado para o endereço (379h) do Módulo de Controle, informando a falta do respectivo nutriente.

Caso a operação não contenha algum dos nutrientes, o sensor relativo a este nutriente não será monitorado pelo Módulo de Controle.

A Figura 25 ilustra exemplos de sensores de presença do tipo capacitivos fabricados no Brasil pela empresa Sense Sensores e Instrumentos Ltda. E que podem ser utilizados para a detecção do nível de um líquido dentro de um reservatório, sem a necessidade de um contato físico entre os mesmos.



Figura 25 - Sensores de presença do tipo capacitivos fabricados pela Sense Sensores Industriais Ltda.

3.1.9.3. Perda da pressão nominal de trabalho dos nutrientes.

Segundo JOHANN (2004), a proporcionalidade entre a abertura da servo-válvula e a vazão do nutriente aplicado está condicionada à manutenção das pressões dos nutrientes nas linhas hidráulicas. Estas pressões serão monitoradas por três pressostatos instalados nas linhas hidráulicas dos nutrientes. Caso, algum dos sistemas envolvidos na aplicação, perca a pressão de linha, a operação será interrompida e os seguintes procedimentos serão adotados:

- As moto-bombas selecionadas para a operação serão desligadas.

- Desligamento de todas as eletro-válvulas.
- Fechamento de todas as válvulas proporcionais.
- O código: (04h) para nitrogênio, (05h) para fósforo ou (06h) para potássio será enviado para o endereço (379h) do Módulo de Controle, informando a perda de pressão do respectivo nutriente.

Caso a operação não contenha algum dos nutrientes, o sensor relativo a este nutriente não será monitorado pelo processador.

A Figura 26 ilustra um pressostato do tipo liga-desliga, onde o valor da pressão de operação é mecanicamente ajustado para que o contato elétrico atue toda vez que haja uma variação superior ao limite previamente estabelecido.



Figura 26 - Pressostato desenvolvido e comercializado pela ZÜRICH Indústria e Comércio Ltda.

3.1.9.4. Emergência.

O MDI possui uma entrada para um botão de emergência que será instalado em local de fácil acesso para que, em caso de emergência, qualquer pessoa possa interromper o processo de aplicação. Para a função Emergência foram adotados os seguintes procedimentos:

- Todas as moto-bombas serão desligadas;
- Todas as eletro-válvulas serão fechadas;
- Todas as servo válvulas serão fechadas;

- O código (08h) será disponibilizado no endereço 379h do módulo de controle, informando a condição de Emergência.

3.1.9.5 Sistema pronto para operar.

Quando todo o sistema estiver em condições operacionais, o MDI envia para o endereço (379h) o código (0Fh), liberando o Módulo de Controle para continuar o processo de aplicação.

3.1.10. Sinais de controle para as servo-válvulas.

Além das funções de comunicação com o módulo de processamento, gerenciamento dos sensores e comando da parte hidráulica, o MDI tem como função o controle das válvulas proporcionais de aplicação para até três compostos distintos. Este controle é efetuado por três sinais independentes e modulados em largura de pulso (PWM), gerados pelo MDI.

Conforme descrito anteriormente, o sistema de controle para comando dos servo-motores das válvulas proporcionais acionadas pelo MDI, possui uma variação de apenas um milésimo de segundo no tempo ligado do sinal PWM para que a abertura varie de 0 a 100%. Como a proposta de resolução de abertura é de 1%, a menor variação para o sinal de controle é de dez milionésimos de segundo ou 10 μ s. Levando-se em consideração que a frequência de trabalho adotada para o micro-controlador é de 24 MHz, e que, por razões construtivas, o mesmo necessita de 12 ciclos de máquina para executar uma instrução, ou seja, um tempo de 0,5 μ s por instrução, teremos então um total de 20 instruções a cada interrupção interna de relógio. Este reduzido número de instruções realizadas entre cada interrupção faz com que se tenha uma atenção especial com a escolha da linguagem de programação utilizada para o desenvolvimento do programa, pois são as interrupções de relógio que garantem a estabilidade e a precisão dos sinais de controle.

Outro fator agravante é que o microprocessador tem que ser capaz de controlar três servo-motores simultaneamente com sinais de comando diversos, além de controlar os periféricos e portas de entrada e saída de dados. Para este caso, uma programação em linguagem de máquina (assembly do 8951), apesar de mais complexa, mostrou-se mais adequada que a programação em linguagem C devido à redução do tamanho do programa e conseqüente maior velocidade de execução.

Para que as limitações de tempo anteriormente descritas fossem respeitadas, adotou-se o procedimento de sincronizar os sinais de controle para os três canais, assim, apesar dos sinais de comando serem independentes, o início e o final de cada ciclo são sincronizados e duram exatamente 13ms. Desta forma, todas as tarefas a serem executadas pelo processador do Módulo de Interface foram distribuídas em um ciclo de controle dos servo-motores.

A Figura 27 ilustra o sincronismo entre os sinais de controle das válvulas proporcionais gerados pelo MDI.

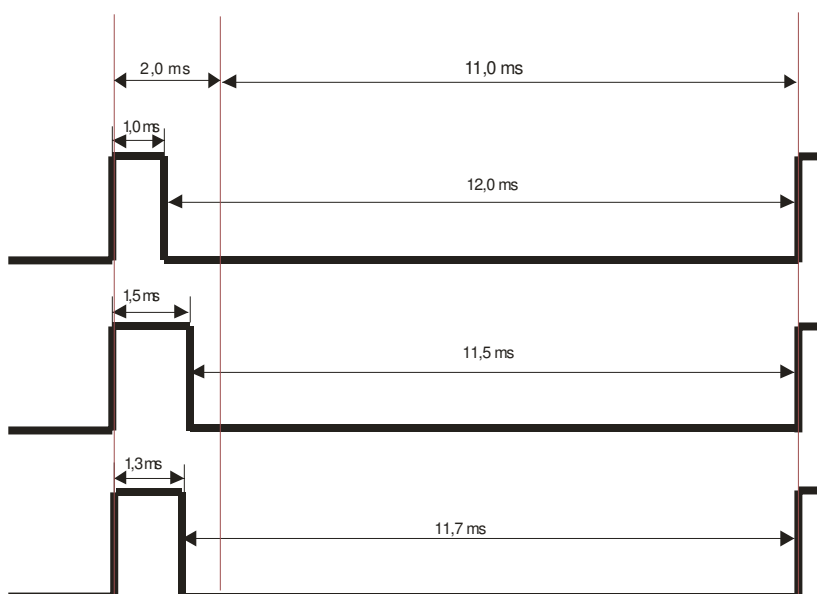


Figura 27 - Sinais de atuação dos servo-motores com períodos sincronizados.

Conforme pode-se observar na Figura 27, o primeiro milésimo de segundo é constante para os três canais, e o processador estará executando somente esta função.

O milésimo de segundo posterior é o que efetivamente controla a abertura da servo-válvula de 0 a 100%, sendo que os três canais iniciam juntos, mas terminam em tempos diferentes, dependendo da abertura programada. O tempo ligado após o primeiro milésimo de segundo, representado na Figura 28 como segmento A, somado com o complemento para 100%, representado pelo segmento B, totalizando sempre 1ms para os três canais.

A Figura 28 ilustra apenas o tempo ligado do sinal PWM, onde os tempos A e B totalizam 1,0ms, sendo que os seus valores podem variar com incrementos mínimos de 10 μ s.

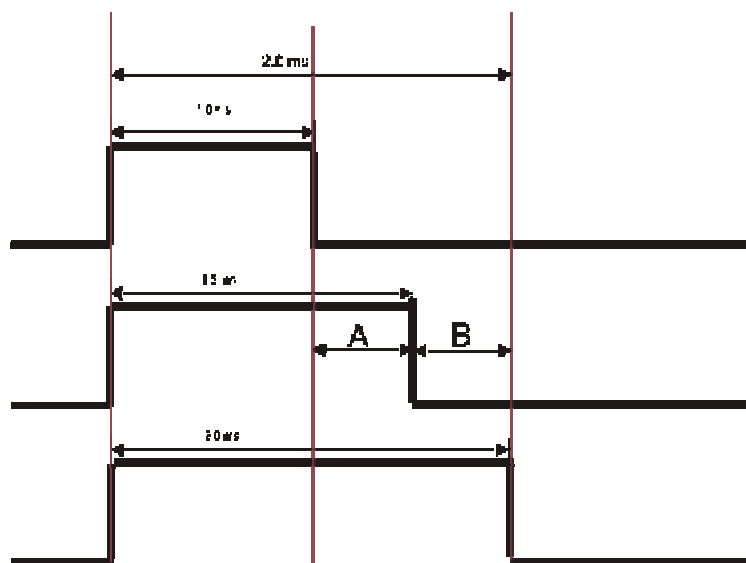


Figura 28 - Exemplo de variação do ciclo de trabalho do sinal PWM.

O próximo passo é uma temporização de 11ms com as saídas desligadas para totalizar o período de 13ms relativo ao sinal de controle. Neste intervalo de tempo, dada a ociosidade do processador, foram implementadas as demais atribuições do sistema, tais como, controle das bombas, controle das eletro-válvulas, leitura dos sensores e comunicação com o Módulo de Controle. Este equilíbrio na demanda de processamento permite que todas as tarefas sejam realizadas dentro do intervalo de tempo de um ciclo do sinal de controle das servo-válvulas, sem que haja qualquer tipo de interferência na execução das tarefas.

A possibilidade de se condicionar a execução de todas as tarefas em intervalos de tempo limitados pelo próprio ciclo do sinal de controle, garante que nenhuma ação gerenciada pelo processador ultrapassa 13ms, sendo este um tempo de resposta bastante adequado para este sistema.

3.2. Materiais e equipamentos.

3.2.1. Monitoramento do ângulo de giro do servo-motor.

A avaliação das respostas dos servo-motores em função dos sinais de controle emitidos pelo MDI foi realizada de forma indireta, ou seja, o ângulo de giro do servo-motor foi medido por meio de um potenciômetro rotativo, com escala linear, diretamente acoplado ao eixo do servo-motor que. O potenciômetro, quando alimentado por uma tensão contínua e constante, possibilita a obtenção de valores de tensão diretamente proporcionais ao ângulo deslocado. Este artifício possibilita a obtenção da variação angular dinâmica do servo motor em função do comando de abertura e do tempo percorrido. Descartou-se a leitura direta do ângulo, pois tal procedimento pode incorrer em erros de paralaxe ou na necessidade de equipamentos sofisticados para detecção de deslocamento angular.

Outro fator determinante para a opção de medição potenciométrica é a reduzida massa inercial acoplada ao servo-motor. A utilização de um equipamento que ofereça resistência ao deslocamento pode influenciar de maneira significativa os resultados obtidos. Para um servo motor que possui um torque máximo de 2,8 kgf/cm como o utilizado no equipamento, a resistência oferecida por um potenciômetro de boa qualidade pode ser considerada desprezível.

A Figura 29 mostra esquematicamente o dispositivo utilizado para a avaliação do comportamento dos servo-motores de comando das válvulas proporcionais utilizadas neste projeto.

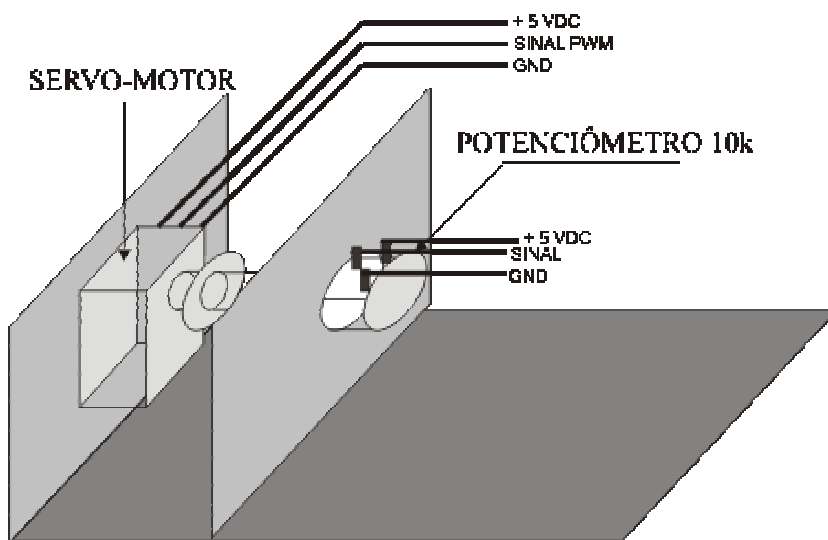


Figura 29 - Dispositivo utilizado para avaliação do ângulo de deslocamento do servo-motor.

Com a utilização deste sistema é possível se avaliar, através de um sinal elétrico gerado pelo potenciômetro, o ângulo de deslocamento e o tempo de resposta do servo-motor.

3.2.2. Equipamentos utilizados para a obtenção dos dados.

Para a realização dos ensaios para o levantamento das características dinâmicas do servo-motor utilizado para acionamento das servo-válvulas proporcionais, realizados no Laboratório de Instrumentação e Controle da Feagri-Unicamp, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Multímetro digital portátil, marca Protek, modelo 506, 4 dígitos.
- Cartão padrão PC-Card, tipo II, de entradas e saídas analógicas e digitais, marca National Instruments Corporation, modelo DAQCard 1200, cada um com oito entradas e duas saídas analógicas de 12 bits, oito entradas e oito saídas digitais, frequência máxima de aquisição 100 kHz.
- Ambiente para desenvolvimento de aplicativos de aquisição de dados e controle LabVIEW, versão 7.1, desenvolvido por National Instruments Corporation.
- Potenciômetro rotativo de precisão de fabricação suíça, marca Contelec, modelo T200, resistência nominal de $20k\Omega$, curso nominal de 320° .
- Fonte de alimentação programável, marca AMREL, modelo PPS 35-2D/CE, com dois canais independentes, tensão máxima de 35Vcc e corrente de 2A.
- Microcomputador portátil, tipo *notebook*, marca Toshiba, modelo A25-S307, processador Pentium IV, frequência de *clock* de 2,8GHz, 512MBytes de memória RAM, uma interface padrão PC-Card, três interfaces USB 2.0, uma interface serial RS-232C, uma interface paralela.
- Planilha eletrônica Excel, versão XP, desenvolvida pela Microsoft Inc.
- Gerador de sinais marca Agilent modelo 32220A 20 MHz.
- Osciloscópio digital marca Agilent modelo 54622D, 100MHz.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Projeto Eletrônico do Módulo de Interface

Após a análise detalhada de todos os sinais de comunicação, controle e do modo de operação do Módulo de Interface, determinou-se a arquitetura de hardware capaz de executar todas as tarefas propostas pela equipe de desenvolvimento do LIC. Para a posterior integração com os demais circuitos que compõem o Sistema de Aplicação de Nutrientes Líquidos a Taxa e Formulação Variáveis.

Figura 30 mostra o diagrama de blocos referente às principais funções dos circuitos eletrônicos que compõem o Módulo de Interface.

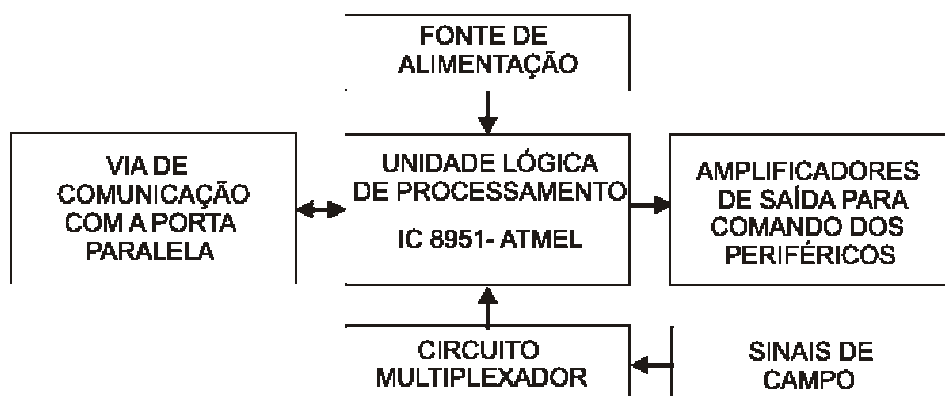
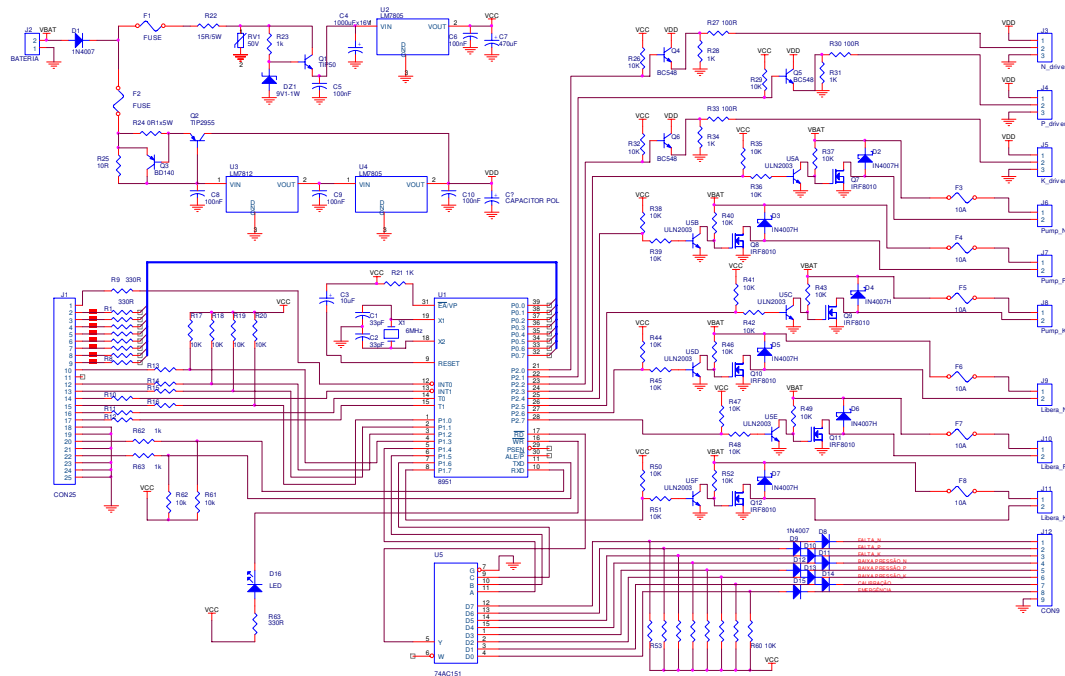


Figura 30 - Diagrama de blocos representativo do Módulo de Interface.

A Figura 31 mostra o esquema eletrônico completo do Módulo de Interface. Todo o circuito foi dimensionado para trabalhar em condições severas de temperatura e vibração. O posicionamento físico dos componentes na placa de circuito impresso foi elaborado visando manter a similaridade com o diagrama eletrônico, facilitando a manutenção em laboratório e em campo.



001	PLACA DRIVER DO APLICADOR DE INSUMOS LIQUIDOS	Rev
001	Document Number	1
001	0001 PEAGRU/UNICAMP	
001	Revisão: 001/05/2015	Page: 1 of 1

Figura 31 - Esquema eletrônico do Módulo de Interface.

Para facilitar a análise do funcionamento do Módulo de Interface, procedeu-se o desmembramento do mesmo em blocos funcionais, descritos a seguir:

- Fonte de alimentação;
- Amplificador de saída para comando das servo-válvulas;
- Amplificador de saída para comando das eletro-válvulas e moto-bombas;
- Canal de comunicação com o módulo de controle via porta paralela;
- Canal de comunicação com o módulo de controle via protocolo serial;
- Circuito multiplexador para leitura dos sinais de campo;
- Unidade de processamento.

4.1.1. Fonte de alimentação.

O circuito da Figura 32 corresponde à fonte de alimentação elétrica para os diversos circuitos eletrônicos que compõem o Módulo de Interface.

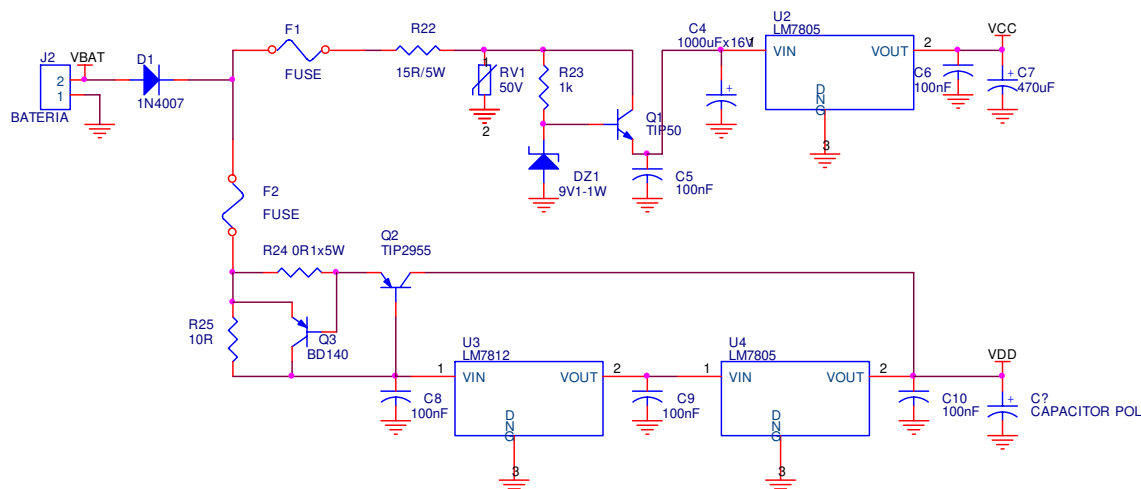


Figura 32 - Fonte de Alimentação.

A fonte de alimentação foi desenvolvida de modo que o circuito possa operar com tensões entre 10Vdc e 30Vdc. Desta forma, o equipamento poderá ser instalado em veículos com sistema elétrico de 12 ou 24 volts.

Para minimizar a influência de ruídos espúrios, normalmente causados pela comutação de cargas indutivas, no funcionamento do microcontrolador, foram desenvolvidas duas fontes de alimentação totalmente distintas, descritas a seguir:

A primeira, protegida pelo fusível F1, e com tensão de saída de 5Vdc, denominada VCC., alimenta todo o circuito digital de controle, o que demanda uma corrente máxima de aproximadamente 150mA. O resistor R22, em conjunto com o varistor RV1, impede a entrada de picos de tensão. O conjunto formado pelos componentes R23, DZ1, Q1 e C4 compõe a etapa de estabilização da tensão em 8,5 volts que servirá como entrada, para o circuito integrado regulador de tensão U2, que garante uma tensão estável de 5Vdc para uma corrente de até 500mA. A proteção contra curto circuito dá-se pela proteção interna do regulador de tensão LM7805 e também pelo fusível F1.

A segunda fonte tem como função alimentar até trinta servo-válvulas simultaneamente, ou seja, até dez linhas de aplicação quando se opera com três nutrientes básicos. Para tanto, é necessária uma disponibilidade de corrente de até 5A, pois cada servo-motor das válvulas proporcionais consome em média 120mA. Foi tomado um cuidado especial com a possibilidade de curto-circuito e ou sobre corrente no desenvolvimento desta fonte, pois ela alimenta os servo-motores que movimentam as válvulas proporcionais. Assim, o conjunto formado pelos componentes R24, R25, Q3 e Q2 garante o fornecimento da corrente nominal e, caso haja alguma sobrecarga que demande uma corrente superior, o transistor Q2 será desligado para que não haja danos ao sistema.

4.1.3 Circuito amplificador de saída para comando das servo-válvulas.

A Figura 33 apresenta o circuito amplificador de saída para alimentação das servo-válvulas.



Figura 33 - Circuito amplificador de saída para as servo válvulas.

Este circuito tem como função realizar uma amplificação em corrente do sinal PWM enviado pelo microcontrolador, de modo que o mesmo possa ser aplicado em até dez servo-motores simultaneamente. As entradas para os sinais de controle desses servo-motores são de alta impedância e praticamente não consomem corrente elétrica, sendo suficiente para esta função um simples transistor de sinal (Q4). Utilizou-se ainda o resistor R27 para a proteção dos componentes de saída em caso de erros durante a instalação.

4.1.4. Circuito amplificador de saída para comando das eletro-válvulas e moto-bombas.

A Figura 34 apresenta o circuito do *driver* de comando das eletro-válvulas e das moto-bombas.

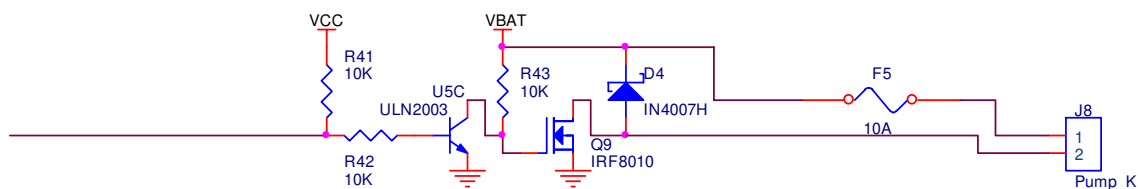


Figura 34 - Circuito do *driver* de comando das eletro-válvulas e moto-bombas.

Este circuito é utilizado tanto para comandar as moto-bombas de pressurização do sistema de aplicação quanto para o acionamento das eletro-válvulas que liberam os nutrientes para as servo-válvulas de aplicação.

A primeira etapa deste circuito, composta por R41, R42 e U5, tem as funções de inverter o nível lógico do sinal fornecido pelo microcontrolador e desacoplar o nível de tensão de controle (5 volts) do nível da tensão de alimentação (12 ou 24 volts). A inversão do nível lógico do sinal é necessária devido ao procedimento de inicialização do microcontrolador. Durante o procedimento de inicialização, todas as portas do micro-controlador vão para nível lógico alto. Assim, caso o sinal não fosse invertido por hardware, imediatamente após o equipamento ser ligado, durante o tempo de aproximadamente três segundos (tempo da inicialização), todas as moto-bombas e as eletro-válvulas seriam acionadas e poderiam provocar acidentes.

A segunda etapa deste circuito é composta pelos componentes D4 e Q9. A tensão para alimentação destes dispositivos vem diretamente da bateria, passando apenas pelo fusível de proteção F5, sendo então comutado através do Transistor de Efeito de Campo (FET). O transistor FET utilizado (IRF8010) possui uma capacidade de comutação para até 80A. Nota-se portanto que a corrente elétrica necessária para acionar as moto-bombas e as eletro-válvulas não é fornecida pela placa do Módulo de Interface.

4.1.5. Circuito multiplexador para leitura dos sinais de campo.

A Figura 35 apresenta o circuito multiplexador utilizado para a leitura dos sinais dos sensores de campo, visando a adequação ao número de entradas do microcontrolador.

Todos esses sinais possuem apenas dois níveis de informação, sendo que o estado normal de operação é em nível lógico baixo. Assim, caso ocorra o rompimento de algum cabo dos sensores, a informação será imediatamente detectada como sendo um problema.

A frequência de varredura é de 75Hz, garantindo assim que o tempo de reação do sistema seja suficientemente rápido.

Todas as entradas de sinais de campo são desacopladas com o uso de diodos de proteção contra níveis de tensão superiores a 5 volts.

4.1.6. Canal de comunicação com o módulo de controle via porta paralela

A Figura 36 apresenta o diagrama do circuito do canal de comunicação com o módulo de controle através da porta paralela.

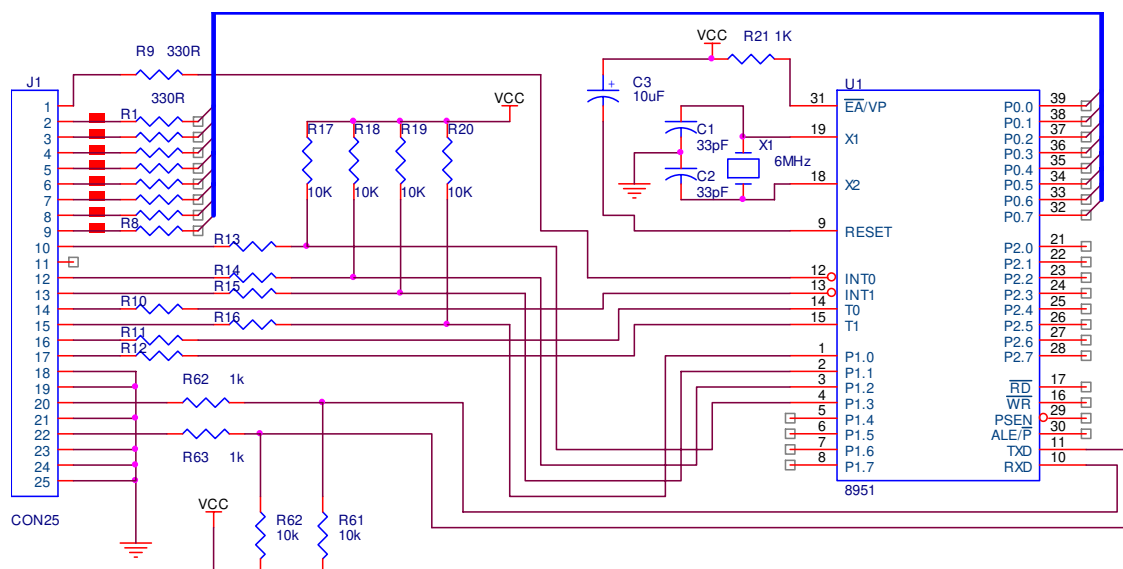


Figura 36 - Canal de comunicação com o módulo de controle através da porta paralela.

O hardware do MDI foi desenvolvido para trabalhar no modo paralelo, utilizando o padrão IBM PC da porta paralela ou ainda no modo serial, no padrão RS-232C, conforme as características do Módulo de Controle a ser utilizado. Neste projeto optou-se pelo uso no modo paralelo, pela velocidade de transmissão de dados, que pode chegar a 15kB/s e pela disponibilidade desta porta no sistema utilizado no projeto, dado que as portas, serial e USB já

estariam sendo utilizadas para comunicação com o módulo de GPS e o cartão de transferência de memória respectivamente.

Para comunicação no modo paralelo, foi utilizado o padrão SPP (*Standard Parallel Port*), onde é utilizado um barramento de 8 bits de dados, que pode operar no modo bidirecional, mas que neste projeto foi utilizado apenas para que o Módulo de Controle enviasse os valores das operações a serem realizadas. Estes valores são disponibilizados no endereço de memória denominado 378h do módulo de controle e chegam ao microcontrolador pela porta P0, passando apenas por um conjunto de resistores de 330 Ω que têm por função proteger ambos os sistemas contra incompatibilidades de níveis de sinais durante o procedimento de inicialização, que como já visto anteriormente, eleva todas as portas para nível lógico alto, podendo neste momento, conflitar com o sinal enviado pela porta paralela.

Pelo canal de comunicação paralelo do Módulo de Interface estarão chegando as seguintes informações:

- Valor instantâneo para aplicação do nutriente N;
- Valor instantâneo para aplicação do nutriente P;
- Valor instantâneo para aplicação do nutriente K;
- Valor para abertura durante o procedimento de calibração de N;
- Valor para abertura durante o procedimento de calibração de P;
- Valor para abertura durante o procedimento de calibração de K.

4.1.6.1. Endereço 37Ah da Porta Paralela; seleção de funções.

A porta paralela possui ainda um canal de comunicação otimizado para trabalhar como saída de dados, onde os valores de saída são enviados para o endereço de memória denominado de 37Ah, do qual são utilizando os bits 37A-0, 37A-1, 37A-2 e 37A-3

Este canal chega ao microcontrolador pela porta P3 e seleciona as seguintes funções:

- Ajuste dos valores percentuais dos nutrientes N, P e K;
- Seleciona quais os nutrientes serão aplicados no processo;
- Solicitação de calibração para os nutrientes N, P e K;
- Informação de “Máquina Parada”;
- Informação de “Agito de Nutrientes”;
- Informação de “Equipamento em Operação”;

- Informação de “Sistema Inoperante”.

São 16 os códigos de comunicação para operação, identificados conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Código das funções de operação via endereço 37Ah da porta paralela.

Nº HEXA	MSB		LSB		FUNÇÃO
	37A.3-P3.5	37A.2-P3.4	37A.1-P3.3	37A.0-P3.2	
0	0	0	0	0	Inoperante
1	0	0	0	1	Valor do nutriente N
2	0	0	1	0	Valor do nutriente_P
3	0	0	1	1	Valor do nutriente_K
4	0	1	0	0	Somente N na operação
5	0	1	0	1	Somente P na operação
6	0	1	1	0	Somente K na operação
7	0	1	1	1	N+P na operação
8	1	0	0	0	N+K na operação
9	1	0	0	1	P+K na operação
A	1	0	1	0	Calibração_N
B	1	0	1	1	Calibração_P
C	1	1	0	0	Calibração_K
D	1	1	0	1	Máquina parada
E	1	1	1	0	Agito de nutrientes
F	1	1	1	1	Operação

4.1.6.2. Endereço 379h da Porta Paralela; informação das falhas.

Durante o processo de ajuste e operação do sistema as informações de campo chegam ao MDI, onde são codificadas e enviadas ao Módulo de Controle, via endereço 379h, do canal de comunicação da porta paralela.

A informação de falha, após ser processada e serem tomadas as ações pertinentes à ocorrência, é codificada e disponibilizada na porta P1 do micro-controlador para ser enviada ao módulo de controle, via endereço 379h da porta paralela, representada pelos bits 379-3,

379-4, 379-5 e 379-6. As falhas previstas para o processo são em número de 10 e estão relacionadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Código de falhas via endereço 379h da porta paralela.

Nº HEXA	MSB		LSB		FALHA
	379.6-P1.3	379.5-P1.2	379.4-P1.1	379.3-P1.0	
0	0	0	0	0	Perda de Comunicação
1	0	0	0	1	Falta do nutriente_N
2	0	0	1	0	Falta do nutriente_P
3	0	0	1	1	Falta do nutriente_K
4	0	1	0	0	Perda de pressão em_N
5	0	1	0	1	Perda de pressão em_P
6	0	1	1	0	Perda de pressão em_K
7	0	1	1	1	Início da calibração
8	1	0	0	0	Emergência
F	1	1	1	1	Sem falhas

4.1.7. Comunicação Serial.

Apesar de estarem disponíveis no hardware do MDI as portas de recepção e transmissão serial (RX e TX), os níveis de tensão dos sinais não foram tratados e necessitam de um adaptador de hardware externo.

4.1.8 Micro controlador 8951.

Existe uma grande diversidade de micro-controladores disponíveis no mercado nacional, sendo que cada um deles possui características bastante diversas. Porém, para o desenvolvimento deste projeto, algumas condições devem ser respeitadas, tais como:

- Custo reduzido;
- Baixo consumo de energia;
- Grande número de portas de entrada e saída;
- Disponibilidade no mercado nacional;

- Velocidade de operação;
- Capacidade de trabalho em ambientes agressivos;
- Tolerância a ruídos espúrios;
- Disponibilidade de softwares livres para programação.

Assim, após análise destes fatores, optou-se pela família 8951, fabricado pela empresa Atmel, que simultaneamente poderia atender a todas as condições anteriormente descritas, possuindo um custo de aproximadamente US\$ 1,50.

A Figura 37 ilustra o microcontrolador IC8951, selecionado para o projeto.

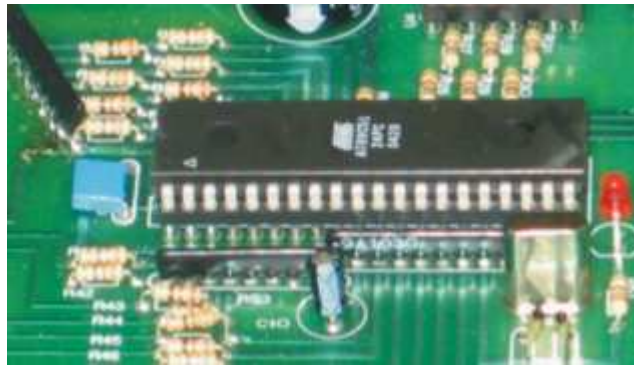


Figura 37 - Microcontrolador IC8951 fabricado pela empresa Atmel.

O microcontrolador 8951 é consagrado pelo mercado e possui um conjunto de instruções de programação bastante completo, o que possibilita uma grande velocidade na execução das tarefas. Trabalha com frequências de *clock* até 30MHz e tem disponibilidade para armazenar programas internos de até 4kb em memória não volátil.

Possui quatro portas de comunicação: P0, P1, P2 e P3, cada uma com 8 bits, constituindo um total de 32 portas que podem ser configuradas individualmente por software como entradas ou saídas.

Devido à necessidade de uma alta velocidade de processamento, foi adotada uma frequência de trabalho de 24MHz, que é ligeiramente inferior ao limite máximo de trabalho deste componente.

A Tabela 7 relaciona o mapa de utilização das portas do microcontrolador 8951, segundo a sua utilização neste projeto.

Tabela 7 - Funções das portas do micro-controlador IC 89C51.

Pino	Porta	Função	Destino/origem
1	P1.0	Saída para informação de falha 1/4 LSB	J1.15-Registrador 379.3
2	P1.1	Saída para informação de falha 2/4	J1.13-Registrador 379.4
3	P1.2	Saída para informação de falha 3/4	J1.12-Registrador 379.5
4	P1.3	Saída para informação de falha 4/4 MSB	J1.10-Registrador 379.6
5	P1.4	Saída seleção endereço multiplex LSB	Pino 11 do U5
6	P1.5	Saída seleção endereço multiplex	Pino 10 do U5
7	P1.6	Saída seleção endereço multiplex MSB	Pino 9 do U5
8	P1.7	Saída Libera K	J11 Eletroválvula do nutriente K
10	P3.0	Entrada RX (com. Serial)	J1.20 (RESERVA)
11	P3.1	Saída TX (com serial)	J1.22 (RESERVA)
12	P3.2	Entrada p/ controle de operação 1/4 LSB	J1.1- Registrador 37A.0
13	P3.3	Entrada p/ controle de operação 2/4	J1.14- Registrador 37A.1
14	P3.4	Entrada p/ controle de operação 3/4	J1.16- Registrador 37A.2
15	P3.5	Entrada p/ controle de operação 4/4 MSB	J1.17- Registrador 37A.3
16	P3.6	Saída para o LED	LED erro D16
17	P3.7	Entrada de Dados do Campo	Pino 5 do U5
21	P2.0	Saída PWM-N	J3.2 Servo-válvula N
22	P2.1	Saída PWM-P	J4.2 Servo-válvula P
23	P2.2	Saída PWM-K	J5.2 Servo-válvula K
24	P2.3	Saída Liga bomba N	J6.2 Bomba N
25	P2.4	Saída Liga bomba P	J7.2 Bomba P
26	P2.5	Saída Liga bomba K	J8.2 Bomba K
27	P2.6	Saída Libera N	J9.2 Eletroválvula N
28	P2.7	Saída Libera P	J10.2 Eletroválvula P
32	P0.7	Entrada de Dados PWM 8/8 - MSB	J1.9- Registrador 378.7
33	P0.6	Entrada de Dados PWM 7/8	J1.8- Registrador 378.6
34	P0.5	Entrada de Dados PWM 6/8	J1.7- Registrador 378.5
35	P0.4	Entrada de Dados PWM 5/8	J1.6- Registrador 378.4
36	P0.3	Entrada de Dados PWM 4/8	J1.5- Registrador 378.3
37	P0.2	Entrada de Dados PWM 3/8	J1.4- Registrador 378.2
38	P0.1	Entrada de Dados PWM 2/8	J1.3- Registrador 378.1
39	P0.0	Entrada de Dados PWM 1/8	J1.2- Registrador 378.0

4.2. Construção da placa de Circuito Impresso

O Módulo de Interface é constituído por uma placa de circuito impresso com base de fibra de vidro, de comprimento 190 mm, largura 180 mm e espessura 2 mm. Esta placa possui trilhas de cobre em ambas as faces com interligações através de furos metalizados por deposição eletroquímica.

Para a elaboração do *layout* das trilhas foi utilizado o programa Tango, desenvolvido pela Acel Inc., na versão II para plataforma DOS (*Disc Operating System*). Utilizou-se o sistema de interligação de trilhas no modo “manual”, para que a disposição das trilhas de contato e dos componentes eletrônicos possibilitasse uma maior resistência mecânica contra impactos e vibrações.

A Figura 38 mostra os circuitos das faces dos componentes, das soldas e a máscara indicativa dos componentes.

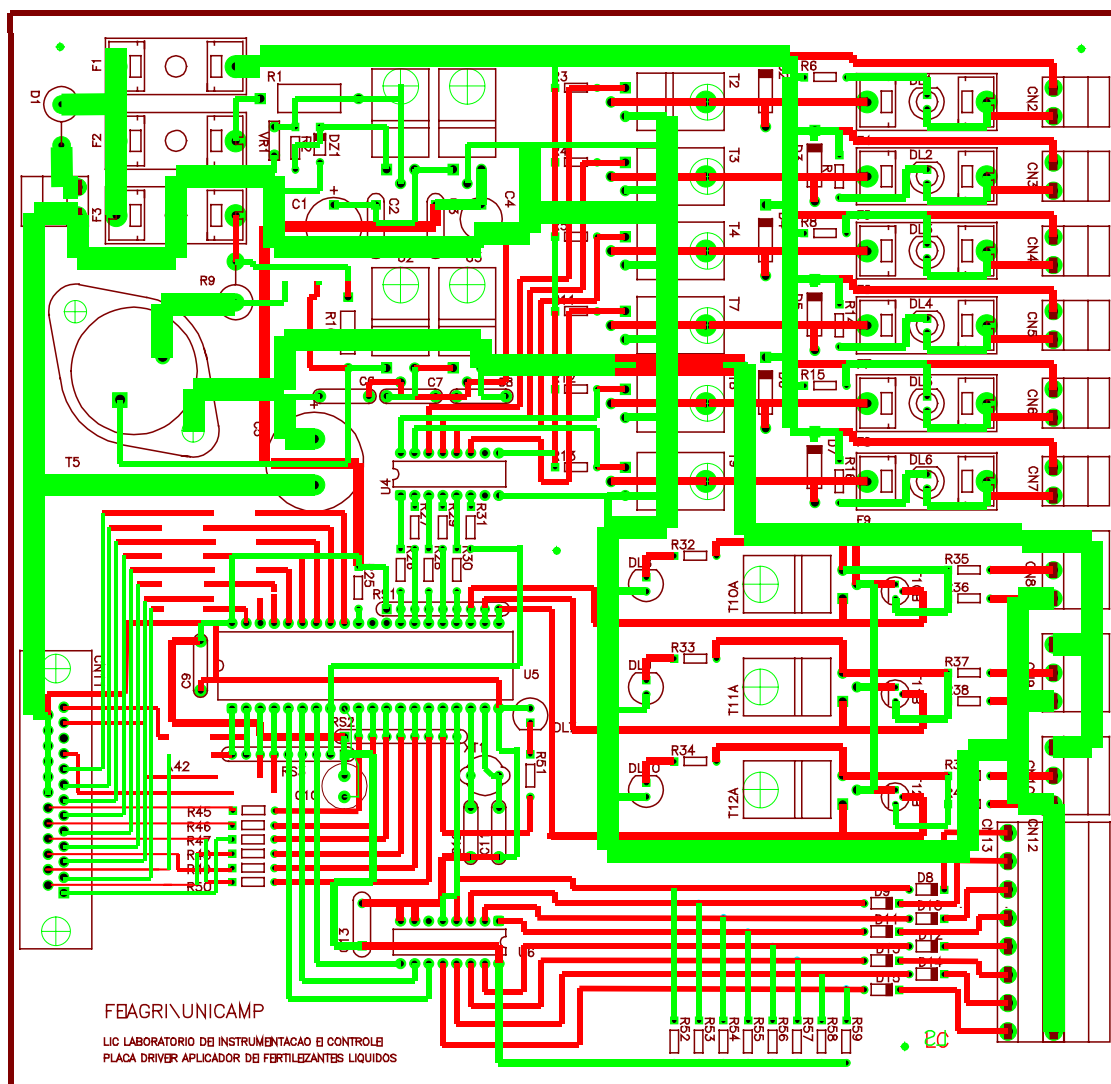


Figura 38 - *Layout* da placa de circuito impresso do Módulo de Interface.

Na Figura 38 pode-se observar que os componentes eletrônicos de maiores dimensões estão instalados na posição horizontal e fixados por parafusos. Este cuidado se faz necessário para que estes componentes não sejam danificados pela vibração durante a operação do equipamento. Os conectores dos sinais de entrada e saída possuem mecanismos de travamento para evitar que se soltem durante a operação.

O conjunto placa eletrônica e conectores de ligação elétrica será acondicionado em uma caixa metálica para proteção contra produtos químicos, poeira, ruídos eletromagnéticos e impactos mecânicos.

A Figura 39 ilustra o aspecto final da placa principal do Módulo de Interface.

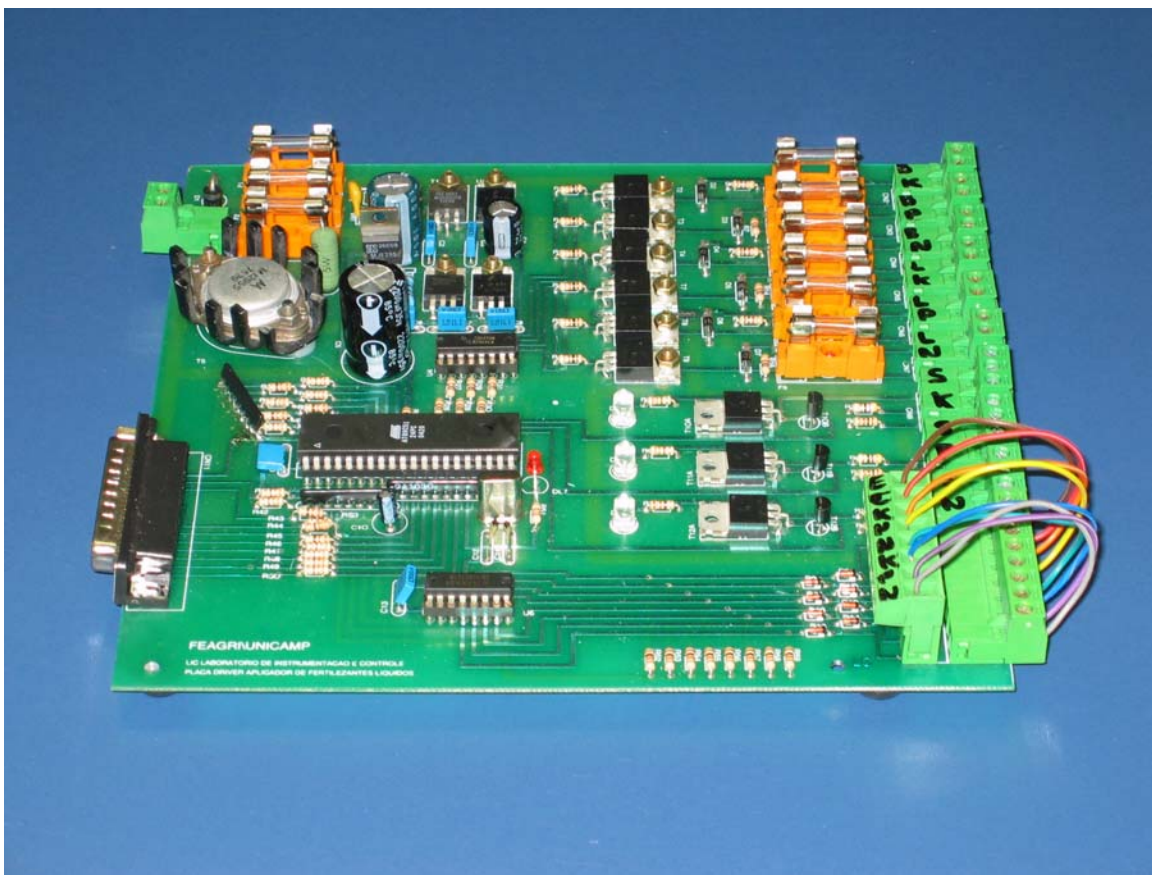


Figura 39 - Aspecto final da placa principal do Módulo de Interface.

4.3. Programa residente no Módulo de Interface.

O principal desafio para a elaboração do software de controle residente no microcontrolador, consistiu em se obter, além do controle de todas as tarefas realizadas pelo MDI, garantir estabilidade nos sinais de controle para as servo-válvulas. Isto é de absoluta importância pois, caso o tempo de processamento seja superior ao período do sinal de controle ($10\mu s$), oscilações espúrias podem ocorrer no posicionamento dos servo-motores que comandam a abertura das válvulas proporcionais.

A Figura 40 apresenta o fluxograma elaborado para o desenvolvimento do software de controle.

Para garantir uma maior velocidade de processamento, a programação foi elaborada em linguagem de máquina que, apesar da sua maior complexidade para programação, garante um melhor desempenho de velocidade para o microcontrolador.

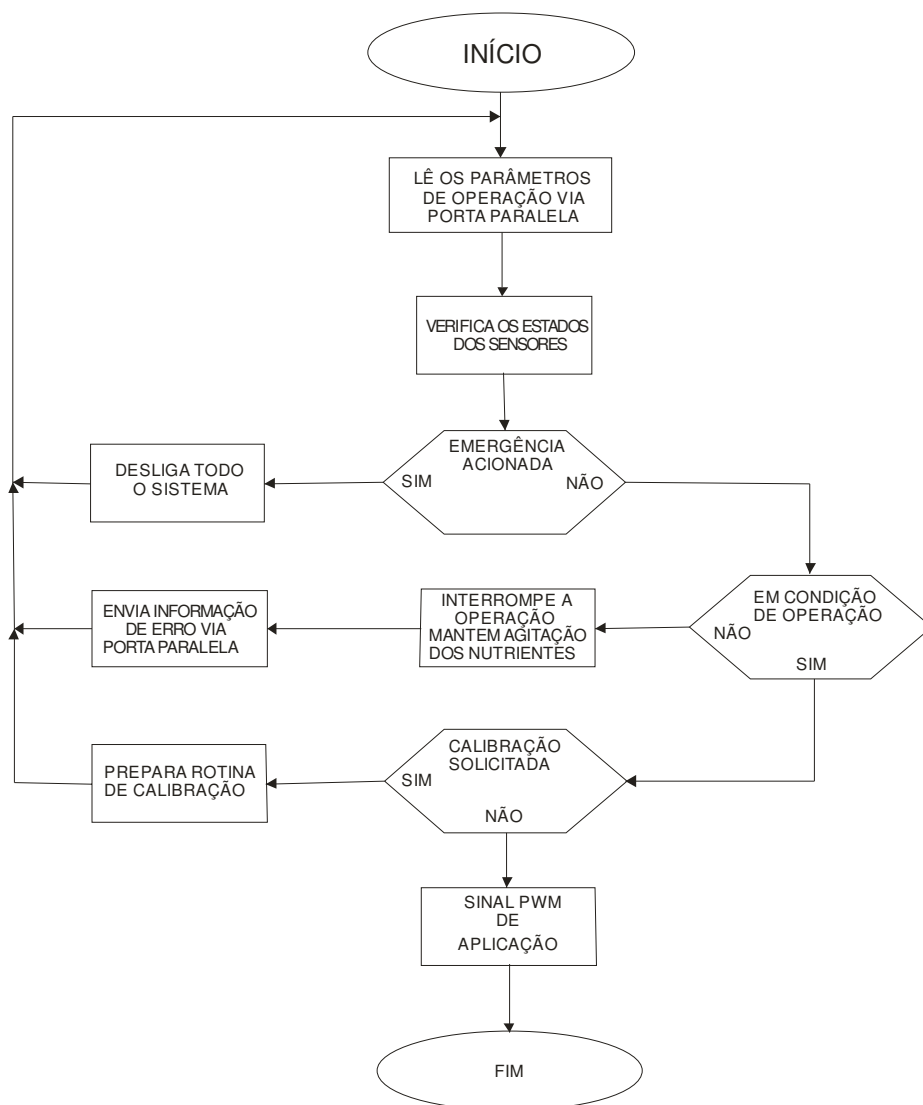


Figura 40 - Fluxograma do software residente no microcontrolador.

4.4. Programa auxiliar de testes para a MDI.

Para que todas as operações do MDI possam ser avaliadas, é necessário que o mesmo esteja se comunicando, via porta paralela, com um sistema que simule o Módulo de Controle, para enviar e receber todos os parâmetros de operação e falhas que possam ocorrer durante o processo de aplicação dos nutrientes. O simulador do Módulo de Controle é constituído por um microcomputador padrão PC que é acoplado ao MDI e um software de controle

desenvolvido em linguagem Delphi que, através de uma tela gráfica, possibilita o envio e a recepção dos parâmetros de teste.

A Figura 41 ilustra a tela de controle do programa simulador.

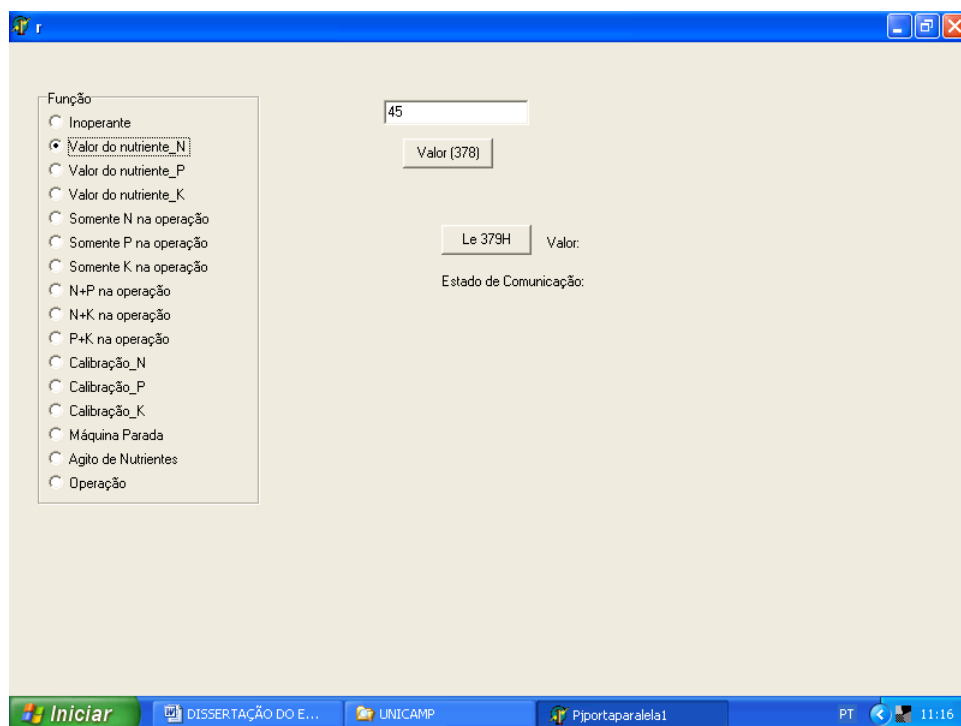


Figura 41 - Tela do software de simulação do Módulo de Controle.

Com este programa é possível informar ao MDI quais serão os nutrientes envolvidos no processo, bem como os seus valores percentuais de aplicação. Para tanto, basta que uma opção seja selecionada e o seu respectivo valor seja inserido no campo denominado como “Valor (378h)”. Algumas rotinas específicas também podem ser acessadas por esta tela, tais como: calibração da vazão dos nutrientes, informação de que a máquina está parada, solicitação para o agito dos nutrientes e a informação para o início da operação.

Caso, durante o processo de operação, alguma falha seja detectada pelo MDI, esta informação será enviada ao simulador e poderá ser identificada no campo de leitura denominado “Lê (379h)”.

4.5. Sinais PWM gerados pelo MDI.

A precisão do posicionamento angular do servo-motor que comanda a abertura da válvula proporcional controladora do fluxo de nutrientes está diretamente relacionada à qualidade do sinal de controle enviado pelo MDI. Desta forma, o envio de um sinal de controle com estabilidade na frequência e no ciclo de trabalho é de fundamental importância para o bom funcionamento do equipamento. Esta estabilidade foi obtida graças à arquitetura do software residente no MDI, onde a rotina de geração dos sinais de controle possui prioridade sobre as demais. Isto garante que, apesar da alta demanda por processamento, necessária para o controle e gerenciamento do MDI, os sinais PWM de saída são gerados sem interferências.

A Figura 42 mostra dois sinais PWM gerados pelo MDI monitorados por um osciloscópio digital de duplo canal, conectado diretamente aos pontos de saída para os sinais de controle do MDI. Nela pode-se observar, além da precisão dos sinais de controle gerados para os nutrientes N e P, o sincronismo de trabalho entre estes canais que, apesar de estarem ajustados para valores extremos, mantêm-se em sincronismo.

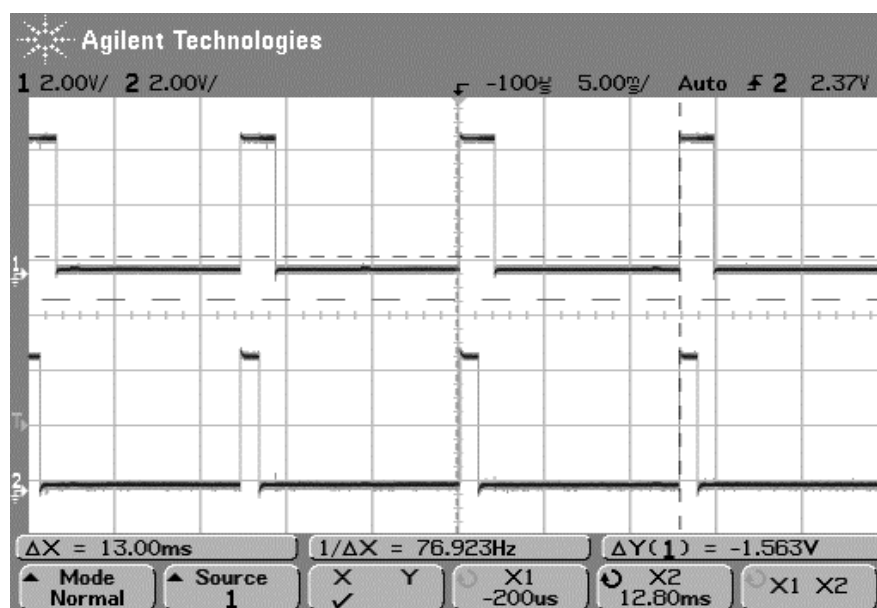


Figura 42 - Sinais PWM de saída para sinais com 0% e 50% de abertura.

A curva 1, apresentada na parte superior da Figura 42, é o sinal de controle para abertura de 100% (2,0 ms) para o composto com nitrogênio. A curva 2, apresentada na parte inferior da

Figura 42, é o sinal de controle na situação de fechamento total da válvula proporcional (1,0 ms ou 0%) para o composto com fósforo.

No canto inferior esquerdo da figura está indicada a leitura relativa ao período dos sinais de controle $\Delta X=13,00$ ms, sendo que este valor é exatamente o período do sinal de controle especificado pelo fabricante do servo-motor.

Outra característica bastante peculiar dos sinais gerados de forma digital é a imunidade a pequenos desvios causados por variações de temperatura, vibrações e outros fatores físicos pertinentes ao meio agrícola.

Com o uso do software de simulação do Módulo de Controle realizou-se uma série de testes, selecionando-se valores para os sinais de controle de 0 a 100%, com incrementos de 5%, em cada um das três saídas para as servo-válvulas. A Tabela 8 mostra os resultados dos testes para a verificação do sinal gerado em função do valor percentual da abertura selecionado.

Tabela 8 – Sinal gerado em função do valor percentual da abertura selecionado.

Valor % de abertura	Ciclo de trabalho do sinal gerado (ms)
0	1,00
10	1,09
20	1,20
30	1,33
40	1,44
50	1,54
60	1,65
70	1,75
80	1,85
90	1,95
95	2,01

A partir dos dados da Tabela 8 construiu-se um gráfico que relaciona o tempo ligado do sinal PWM em função do valor percentual de abertura (Figura 43). Os valores apresentados

foram obtidos através da medição, utilizando-se o osciloscópio, do tempo em que o sinal PWM de saída do MDI permanece alto durante um período do sinal (ciclo de trabalho). Através de uma análise do gráfico é possível constatar uma variação praticamente linear da largura do sinal de controle em função de uma abertura solicitada.

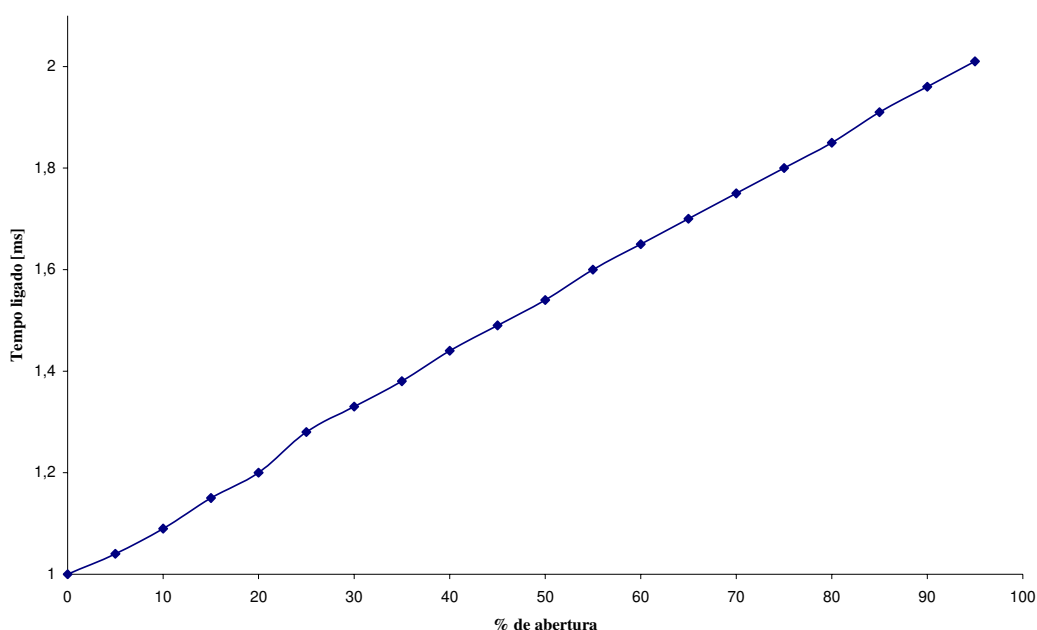


Figura 43 - Tempo ligado do sinal PWM em função do valor percentual de abertura de saída, gerado pelo MDI.

4.6. Comportamento do servo motor de comando da válvula proporcional.

Após a avaliação do sinal PWM de comando gerado pelo Módulo de Interface (MDI), iniciou-se a avaliação da resposta angular em função do valor percentual de abertura solicitado. Para tanto, foi necessária a introdução de uma rotina auxiliar no software de controle do MDI, para que a mesma informasse ao sistema de aquisição de dados, através de uma porta de saída, o instante exato em que um novo valor de abertura estivesse sendo implementado. Assim, toda vez que um novo valor for introduzido, o MDI emite um sinal de disparo para que o sistema de aquisição dê início à coleta de dados. A taxa de amostragem de

leitura para as aquisições foi ajustada para 200 leituras por segundo, possibilitando assim uma boa visualização do comportamento dinâmico da resposta angular do servo motor.

4.6.1 Sistema de aquisição dos dados.

Para a aquisição dos dados relativos à variação angular do servo-motor em relação ao percentual de abertura da servo-válvula, foi montado um dispositivo de testes onde; o servo-motor e o potenciômetro foram fixados em um suporte metálico para garantir que não houvesse movimento relativo entre as partes, conforme proposto no item 3.7 e mostrado esquematicamente na Figura 29. O servo-motor foi conectado à MDI para receber os sinais PWM de comando, enviados pelo programa de simulação do Módulo de Controle e processados pela MDI.

A Figura 44 ilustra o sistema montado para a aquisição dos dados relativos ao comportamento dinâmico do servo-motor. Nele, o servo-motor é acoplado diretamente ao potenciômetro de precisão, utilizado para a leitura do movimento angular do servo-motor.

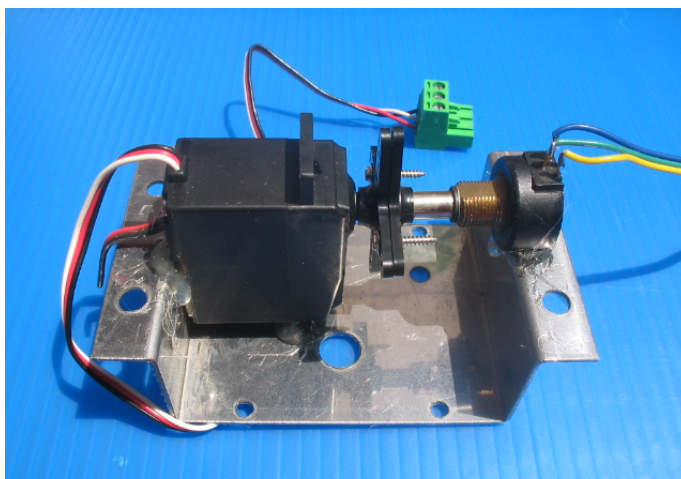


Figura 44 - Dispositivo de testes utilizado para aquisição de dados.

Foi conectado ao potenciômetro um sistema de aquisição de dados com uma taxa de amostragem de 200 leituras por segundo.

Inicialmente realizou-se testes com a finalidade de levantamento da calibração estática do servo-motor para a identificação do comportamento angular em função do sinal de controle, no regime permanente. Foram realizados também testes para a identificação do

comportamento dinâmico visando a identificação do comportamento do servo-motor no regime transitório.

4.6.2 Calibração estática.

Inicialmente realizou-se um experimento para a determinação da calibração estática do equipamento completo. Para a medição do ângulo de giro do servo-motor, acoplou-se ao eixo do mesmo um potenciômetro de precisão utilizado como sensor de posição angular. A Figura 45 mostra o diagrama de blocos da ligação dos diversos componentes utilizados nos testes.

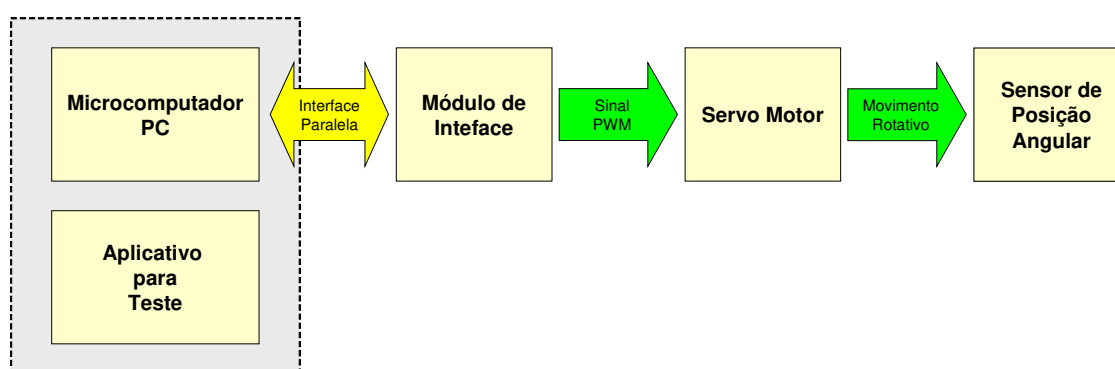


Figura 45 - Diagrama de blocos da ligação dos diversos componentes.

O potenciômetro utilizado para a determinação da calibração estática do conjunto possui resistência nominal de $5k\Omega$. Através da utilização de um multímetro digital determinou-se a resistência real do potenciômetro utilizado, obtendo-se o valor de $5,025k\Omega$. Mediu-se também o curso total do mesmo, obtendo-se o valor de 322° . Através do aplicativo de testes, desenvolvido em ambiente Delphi para esta finalidade, aplicou-se 10 níveis distintos para o sinal de atuação de 0 a 100%, com incrementos de 10%. O potenciômetro foi alimentado por uma fonte de tensão de 5Vcc e mediu-se, com um multímetro, o valor da tensão no cursor do mesmo, que foi então transformada para posição angular.

A partir dos dados obtidos experimentalmente, foi possível a determinação da calibração estática do conjunto completo. A Figura 46 mostra o valor médio do ângulo do servo-motor, considerando-se as três repetições, com incrementos e decrementos do sinal de

atuação. Considerou-se como referência a posição angular 0° e que um aumento da posição angular implica na rotação do servo-motor no sentido horário.

Tabela 9 – Resultados dos testes para levantamento da calibração estática.

Atuação (%)	Ângulo (°)
0,0	0,0
10,0	10,2
20,0	21,8
30,0	33,1
40,0	44,3
50,0	55,8
60,0	67,5
70,0	79,4
80,0	90,6
90,0	101,5
100,0	112,4

A partir dos dados obtidos traçou-se o gráfico correspondente ao ângulo do servo-motor em função do sinal de atuação, mostrado na Figura 46.

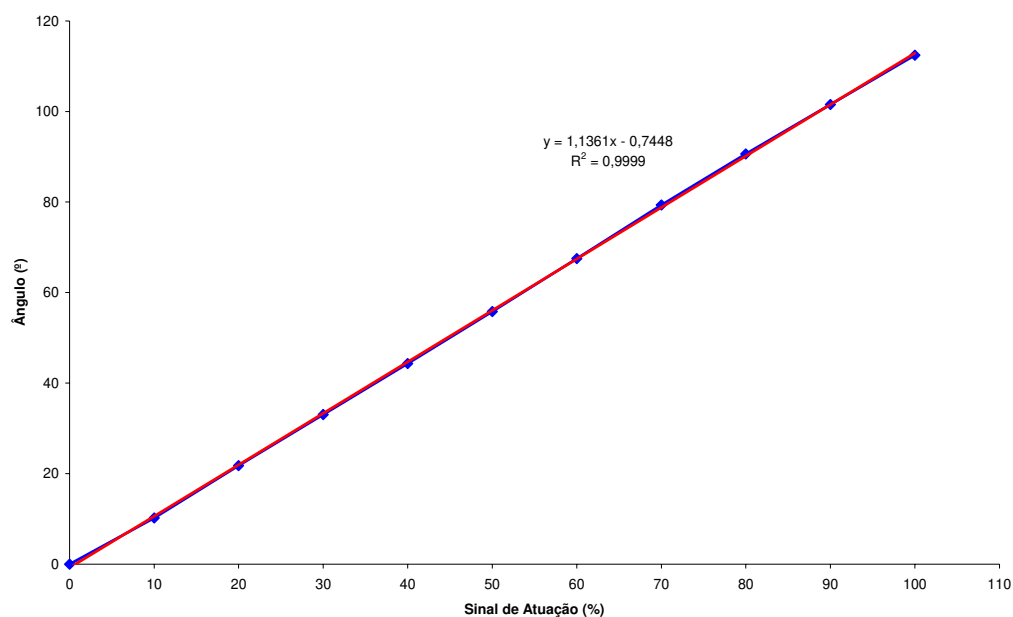


Figura 46 - Comportamento do ângulo do servo-motor em função do sinal de atuação.

A partir do gráfico mostrado na Figura 46 pode observar-se que existe um comportamento linear da posição angular do servo-motor em função do sinal de atuação. A expressão que relaciona tal comportamento é dada através da equação 1, onde θ é a posição angular do servo-motor e S é o sinal de atuação expresso em %.

$$\theta = 1,136S - 0,745 \quad (1)$$

A Equação 1 é válida para sinais de atuação na faixa de 0 a 100%, com um coeficiente de correlação de 0,9999, denotando um comportamento linear.

4.6.3 Determinação do comportamento dinâmico.

Para se identificar o comportamento dinâmico do servo-motor utilizado no equipamento, realizou-se uma série de procedimentos experimentais. Nestes procedimentos, foram aplicados, por meio do aplicativo computacional, sinais de teste do tipo degrau, de diferentes amplitudes, registrando-se o comportamento da posição do eixo do servo-motor em função do tempo. Para este procedimento, modificou-se o aplicativo residente no micro-controlador de forma que o mesmo gere um sinal de sincronismo no início de cada mudança de posição do servo-motor.

Para a coleta e armazenamento dos dados, utilizou-se o cartão de aquisição, modelo DAQCard 1200 e desenvolveu-se um aplicativo para visualização e registro dos sinais em ambiente LabVIEW. O aplicativo LabVIEW é um ambiente gráfico de desenvolvimento que permite a implementação de aplicativos para aquisição de dados, processamento de sinais, sistemas de controle, etc. Essa linguagem se caracteriza por ser gráfica e pela facilidade de acesso a dispositivos de hardware. O ambiente LabVIEW se baseia em duas interfaces: uma é denominada “VI” (*Virtual Instruments*) e se destina ao interfaceamento gráfico com o usuário. A outra, denominada “*diagram*”, permite a realização de conexões de hardware e processamento matemático de informações. Estão disponíveis ainda, rotinas de aquisição e

processamento de sinais, funções lógicas e matemáticas, sistemas de controle, banco de dados, etc.

Para a determinação do comportamento dinâmico foram utilizados dois canais de entrada: o primeiro registrou a tensão correspondente à posição angular do potenciômetro e o segundo, o sinal de sincronismo gerado pelo Módulo de Interface. Utilizou-se uma taxa de amostragem de 200 pontos por segundo, salvando-se os dados em um arquivo no formato texto, de modo a permitir compatibilidade com planilhas eletrônica e softwares de análise matemática e estatística.

A Figura 47 mostra o diagrama funcional e a Figura 48 mostra a tela de interface com o usuário do aplicativo para coleta e registro de dados desenvolvido em ambiente LabVIEW.

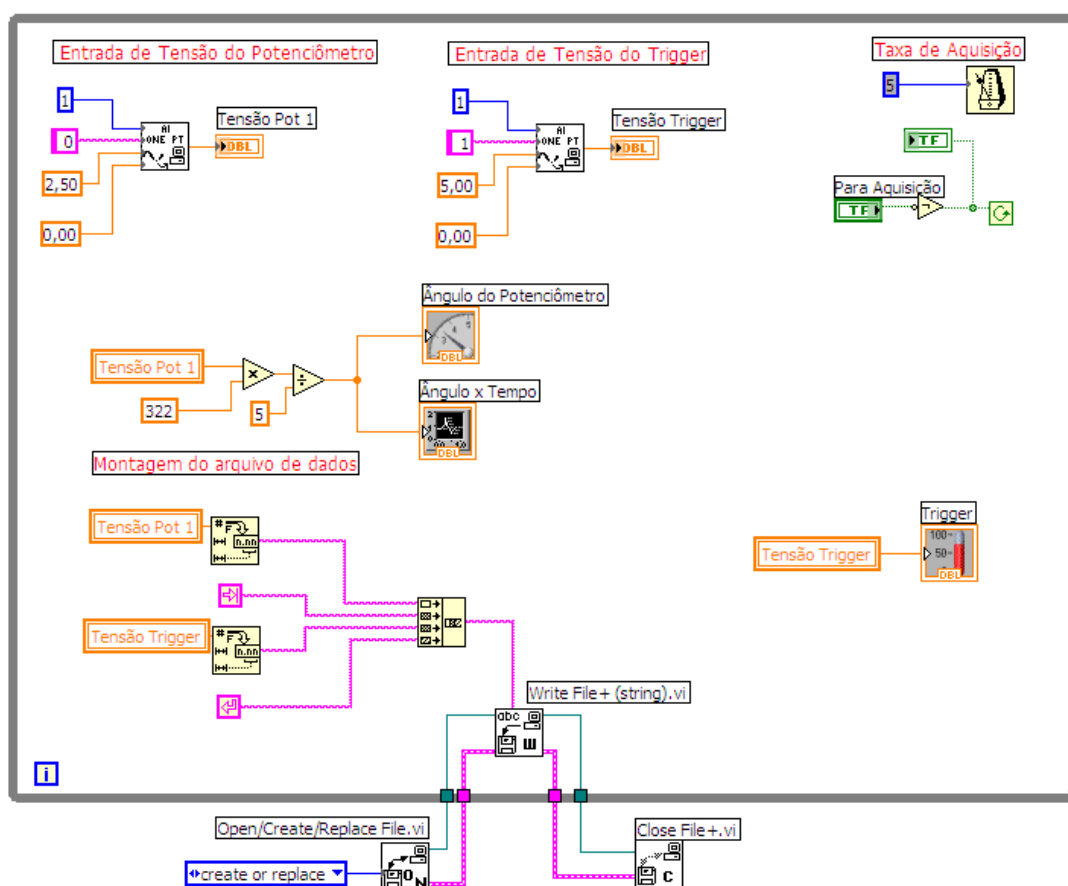


Figura 47 - Diagrama funcional do aplicativo para aquisição de dados.

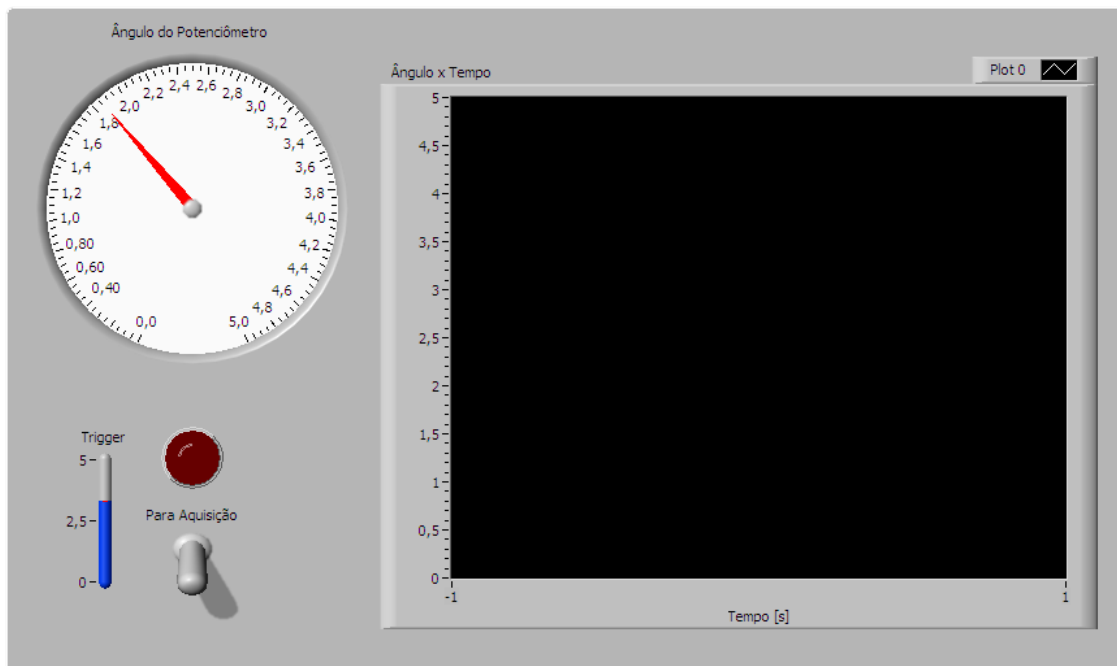


Figura 48 - Tela de interface com o usuário do aplicativo para aquisição de dados.

Foi realizada uma série de experimentos com finalidade de determinar o comportamento dinâmico do sistema completo. Adotou-se 10 níveis distintos do sinal de atuação, com incrementos e decrementos uniformes, compreendendo de 0 a 100% do sinal. Foram feitas três repetições para cada um dos níveis do sinal de atuação. Para a análise e processamento dos dados utilizou-se a planilha eletrônica Excel.

Os resultados dos testes para determinação do comportamento dinâmico foram processados utilizando-se a planilha eletrônica Excel. Na Figura 49 pode-se observar-se o comportamento dinâmico da posição angular do servo-motor em função de um sinal de atuação do tipo degrau, com amplitude variando de 0 a 100% e posteriormente retornando a 0. Pode-se visualizar também o instante em que foi alterado o sinal de atuação, identificado pelo sinal de sincronismo.

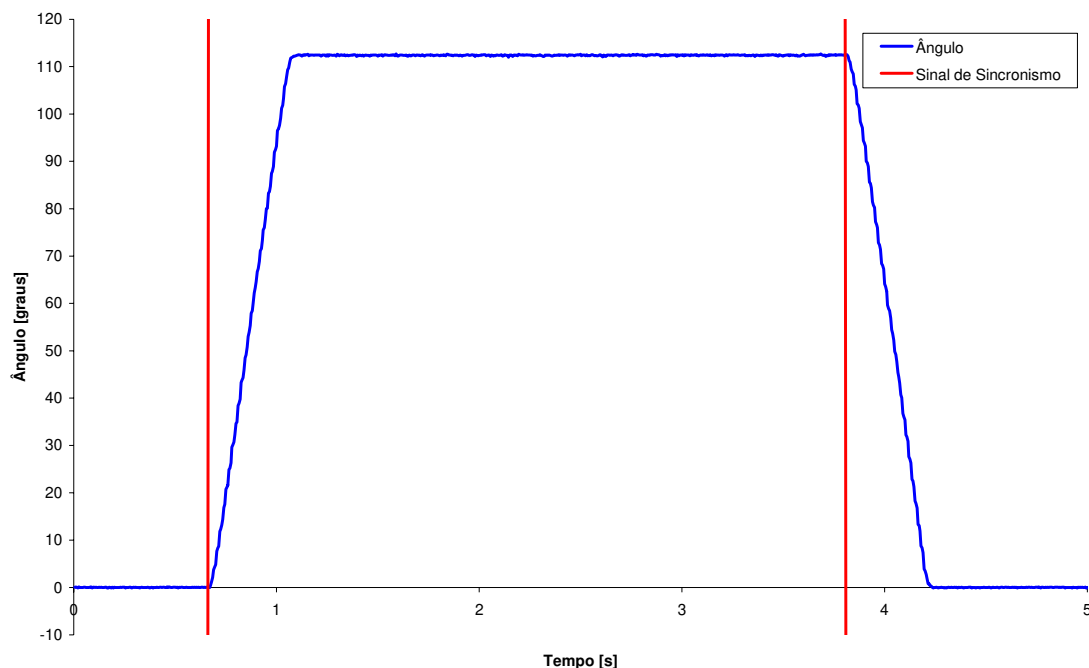


Figura 49 - Comportamento dinâmico da posição angular do servo-motor em função de um degrau

Visualmente pode-se observar através da Figura 49, que o comportamento da velocidade angular do servo-motor é semelhante nos dois sentidos, ou seja, rotação no sentido horário e anti-horário. É claro também a ausência do fenômeno da histerese, fato justificado pela presença de um controlador eletrônico incorporado ao servo-motor que praticamente elimina os erros em regime permanente.

Na Figura 50 pode-se observar os resultados dos testes para identificação do comportamento dinâmico, onde são exibidos, simultaneamente, os resultados das posições angulares do servo-motor para os sinais de atuação de 10 a 100%, com incrementos de 10%. Utilizou-se o sinal de sincronismo de forma a garantir que o gráfico exiba a variação da posição angular do servo-motor, para cada um dos sinais de atuação, de forma concomitante.

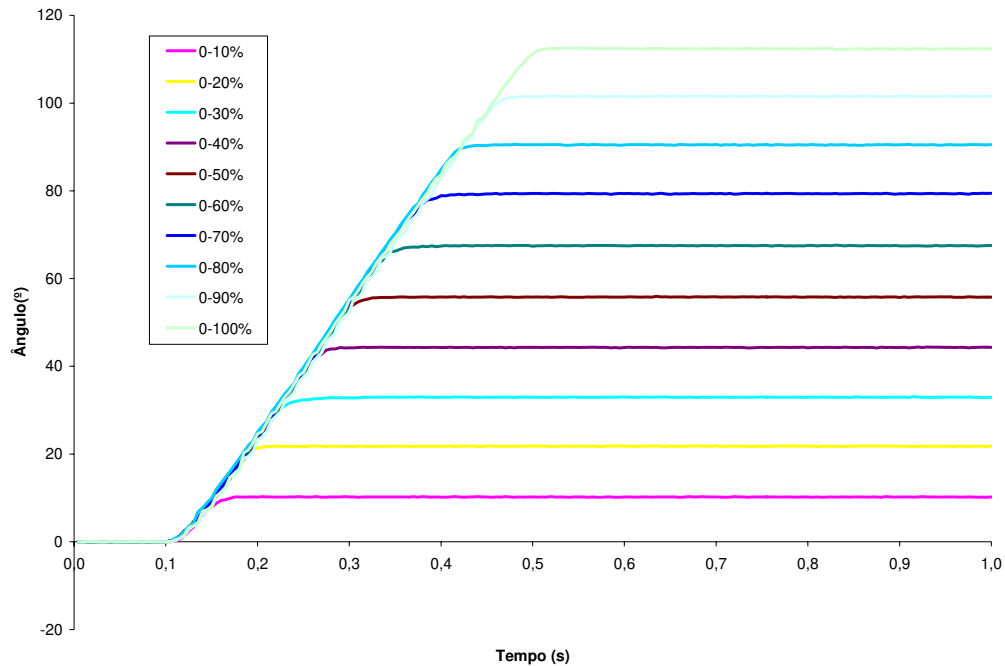


Figura 50 - Posição angular do servo-motor para os sinais de atuação de 10 a 100%, com incrementos de 10%.

Através da análise da Figura 50, nota-se que o servo-motor tem uma velocidade angular praticamente constante na mudança de uma posição angular para outra, fato que pode ser identificado pelo comportamento linear da posição angular em função do tempo. Nota-se também que a velocidade angular independe da amplitude da variação do incremento do sinal de atuação. A partir dos resultados experimentais obteve-se a velocidade angular média no sentido horário de $300,0^\circ/\text{segundo}$ e para o sentido anti-horário a velocidade angular média foi de $304,4^\circ/\text{segundo}$. A máxima excursão angular obtida para o servo-motor foi de $112,9^\circ$, para um sinal de atuação de 100%. A partir das velocidades angulares pode-se calcular o tempo necessário para se realizar uma excursão máxima, obtendo-se 0,38 segundos para o giro completo no sentido horário e 0,37 segundos para o giro completo no sentido anti-horário.

5. CONCLUSÕES

Após a análise dos resultados obtidos, de acordo com os procedimentos metodológicos adotados, pode-se concluir que:

A construção do sistema eletrônico, denominado Módulo de Interface, capaz de controlar simultaneamente e de forma autônoma, três sistemas hidráulicos para aplicação de insumos líquidos a taxa e formulação variáveis é viável.

O comportamento dos circuitos geradores de sinais de acionamento das servo-válvulas é estável e possibilita um controle preciso do ângulo de abertura das mesmas.

A comunicação bi-direcional, via porta paralela, entre o Módulo de Interface e o Módulo de Controle apresentou velocidade superior às necessidades do sistema.

O sistema hidráulico do equipamento de aplicação pode ser monitorado em “tempo real”, garantindo a imediata suspensão do processo de aplicação em caso de falhas ou falta dos nutrientes.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento foi adequada para o desenvolvimento e construção do MDI de acordo com as características previamente estabelecidas.

Os resultados das avaliações realizadas demonstraram que o MDI apresentou desempenho até mesmo superior aos requeridos pelo sistema de aplicação localizada de insumos líquidos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUERNHAMMER, H., ed. **Special Issue: Global Positioning Systems in Agriculture**. Comp. & Elec. in Ag. , v.11, n.1, 1994.

BALASTRIERE, L.A.; ELIAS, A.I.; AMARAL, J.R. **Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade da cultura de milho**. Revista de Engenharia Rural, v.8, n.1, p.97-111. 1998.

BALASTREIRE, L. A. **Agricultura de Precisão: Uma Tecnologia Para o Próximo Milênio**. NOTESALQ. Piracicaba SP, v.viii, p.9 - 9, 1999. internet: <http://www.pulverizador.com.br/images/agricultura/agricultura_precisão%20art%20cpt.pdf>, 14/01/2003.

BICHARA, J. M.; RAMOS, V. F.; AZEVEDO, P. B. M.; CASTRO, M. L. M.. **Projetos e Processos Utilizados na Indústria de Fertilizantes Fluidos**. In: **Simpósio Brasileiro sobre Fertilizantes Fluídos**, 343, 1993, Piracicaba. **Fertilizantes Fluídos...** Piracicaba, 1994.

BITTECOURT, V. C. de; BEAUCLAIR, E. G. F.. **Fertilizantes Fluídos**. In: XX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 425, 1992, Piracicaba. **Anais dos Simpósios...** Campinas: Fundação Cargil, p. 255-274, 1992.

BOARETO, A. E.; CRUZ, A. de P.; LUZ, P. H. **Adubo Líquido: produção e uso no Brasil**. São Paulo: Fundação Cargill, 1991.

DAVIS, G.; CASADY, W.; MASSEY, R. **Precision Agriculture: An Introduction. Water Quality**. University of Missouri-System, 1998, P.8. internet: <<http://www.fse.missouri.edu/mpac/pubs/wq0450.pdf>>, 14/01/2003.

DICKEY J. **Agricultural Products**. <http://www.dickey-john.com/Ag_Products/Ag_Products.htm>, 16/02/2003.

FIXEN, Paul E. – **Fluid Fertilizers in an Evolving Agriculture**. In: Simpósio Brasileiro sobre Fertilizantes Fluídos, 343, 1993, Piracicaba. Fertilizantes Fluídos... Piracicaba: Potafos, p. 1-30, 1994.

GOERING, C. E. Recycling a concept. **Agricultural Engineering**, St. Joseph: ASAE, v. 74, n. 6, p. 25, Nov., 1993.

GUPTA, R.K.; MOSTAGHIMI, S.; MCCLELLAN, P.W.; ALLEY, M.M.; BRANM, D.E. **Spatial variability and sampling strategies for NO₃-N, P and K determinations for site specific farming**. Transactions of the ASAE, v.40, n.2,p.337-342, 1997.

JOHANN, André Luiz; RUSSO, Edison; CAPPELLI, Nelson Luis; UMEZU, Cláudio Kiyoshi. **Desenvolvimento e avaliação de uma servo-válvula de baixo custo para a aplicação de insumos líquidos**. In XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2004 São Pedro - SP. **Anais...** Jaboticabal – SP: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola – SBEA, 2004.

JORGE, L. A. de Castro; TORRE NETO, A. Agricultura de Precisão. In: Workshop: **O Agronegócio na Sociedade de Informação**, 2002, Brasília, **Anais...** internet: <<http://www.agrosoft.com.br/ag2002/workshop/ver.php?page=133>>, 14/01/2003.

LEDEBUHR, Mark. **Peristaltic Metering Technology for Variable Rate Control**. In: ASAE Annual International Meeting, 2000, Milwaukee. **Paper No. 001161**, St. Joseph: ASAE, 2000.

MCCAULEY, J.D.; ENGEL, B.A. **Approximation of noisy bivariate transverse data for precision mapping**. Transactions of the ASAE, v.40, n.1, p.237-245, 1997.

MALAVOLTA, E.. **Situação da Adubação Fluída no Brasil**. In: Simpósio Brasileiro sobre Fertilizantes Fluídos, 343, 1993, Piracicaba. Fertilizantes Fluídos... Piracicaba: Potafos, p. 31-54, 1994.

MIDWEST TECHNOLOGY. **Product Line**.
<<http://www.mid-tech.com/products.htm>>, 16/02/2003.

MOLIN, J.P. **Agricultura de precisão, parte I: O que é e estado da arte em sensoriamento**. Eng. Agrícola, Jaboticabal, v.17, n.2, p.97-107, dez. 1977.

NIELSEN, D.R.; WENDROTH, O.; JÜRSCHIK, P.; KÜHN, G.; HOPMANS, J.W. **Precision agriculture: challenges and opportunities of instrumentation and field measurements**. in: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 1, São Carlos-SP, nov. 1996. Anais... São Carlos: EMBRAPA-CNPDIA, 1996.

RAVEN INDUSTRIES. **Application Control Systems**. <<http://ravenind.com/RavenPrecision/Index.cfm?Section=ProductsServices&Page=Product.cfm&ID=1>>, 16/02/2003.

OLIVA, R. A. G.; CAPPELLI, N. L.; UMEZU, C. K.. **Máquina para aplicação de fertilizantes sólidos a taxas variáveis** – Adaptação de um modelo comercial convencional. In

XXX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2001 Foz do Iguaçu.
Anais... Jaboticabal – SP: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola – SBEA, 2001.

OSEKI, Y.. Agricultura de Precisão. In: **XV Semana de Ciência Agrárias de Lavras**, 1998, Lavras. internet: < <http://www.pulverizador.com.br/images/agricultura>>, 14/01/2003.

PAGNANO, N. B.; MAGALHÃES, P. S. G.. Sistema de monitoramento da colheita de cana-de-açúcar para elaboração de mapas de rendimento. In: **Circuito Brasil de Agricultura de Precisão**. v.1, 2000. internet:

<http://www.agriculturadeprecisao.com.br/artigos/artigo_4.html>, 14/01/2003.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução à Agricultura de Precisão: Conceitos e Vantagens. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.1, p. 159-163, 2002.

UMEZU, C. K.; CAPPELLI, N. L.. Desenvolvimento de um sistema para formulação, dosagem e aplicação de fertilizantes sólidos a taxas variáveis. In: BALASTREIRE, Luiz Antonio. (Org.). **Avanços na agricultura de precisão na Brasil no período de 1999-2001**. Piracicaba, 2002, p. 223-229. CD-ROM.

YETTER FARM PRODUCTS. **Yetter Farm Equipment Catalog**. <<http://www.yetterco.com/catalog.html>>, 16/02/2003.

ZELENOVSKY, R.; MENDONÇA, A. **Guia Prático de Hardware e Interfaceamento**. M. Z. Editora Ltda. cap. 12 (1998)