

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO
CENTRO DE INFORMÁTICA
2009.1



AUTOMAÇÃO DE BAIXO CUSTO
PARA BIOFERMENTADORES

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

KLEBER DE SOUZA MARÇAL

Orientador: Manoel Eusébio de Lima (mel@cin.ufpe.br)

Recife,
2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO
CENTRO DE INFORMÁTICA
2009.1

AUTOMAÇÃO DE BAIXO CUSTO
PARA BIOFERMENTADORES

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

KLEBER DE SOUZA MARÇAL

Trabalho de graduação apresentado no Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco por Kleber de Souza Marçal, orientado pelo Prof. PhD. Manoel Eusébio, como requisito parcial para a obtenção do grau de Engenheiro da Computação

Orientador: Manoel Eusébio de Lima (mel@cin.ufpe.br)

Recife,
2009

FOLHA DE APROVAÇÃO

AUTOMAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA BIOFERMENTADORES

KLEBER DE SOUZA MARÇAL

APROVADO EM 30 DE JUNHO DE 2009

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Manoel Eusébio de Lima, PhD -
UFPE(Orientador)

Prof. Aluizio Fausto Ribeiro Araújo, PhD -
UFPE(Avaliador)

*“ Há os que se queixam do vento. Os que esperam que
ele mude. E os que procuram ajustar as velas.”*

William G. Ward

*“ O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é
no dicionário”*

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e aos meus pais, os verdadeiros realizadores desta “façanha”, que me deram a oportunidade de estar aqui hoje e sempre me apoiaram, vencendo as mais diversas barreiras, para que eu pudesse alcançar este momento.

À minha irmã, minha amiga de todas as horas, que esteve presente durante todos esses anos.

Aos amigos que ganhei durante esta graduação, que estiveram sempre próximos durante este longo caminho, contribuindo para amenizar os momentos mais difíceis e conseguindo transformar a faculdade em um ambiente agradável.

Aos amigos que ganhei durante a minha, tão curta, vida profissional, Carlos Meira, Jymmy Paul, Eduardo Jorge, André Bandeira, pessoas que deram rica contribuição à minha formação me ajudando a aprender coisas que não são discutidas em sala de aula.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo de estudar o uso de recursos em sistemas de automação industrial no controle e supervisão a operação de sistemas bio-fermentadores em laboratórios de pesquisa. Este estudo visa demonstrar soluções que podem ajudar na redução de custos com automação destes equipamentos, muitas vezes importados, facilitar a manutenção e possibilitar a adaptação de projeto às particularidades de cada aplicação. Por se tratar de uma solução de baixo custo, este sistema poderá viabilizar aplicações acadêmicas com a criação de laboratórios de ensino e o uso por empresas de pequeno e médio porte, antes inviáveis por questão das dificuldades de aquisição.

Para demonstração do projeto será desenvolvido um sistema baseado em uma arquitetura típica da automação, utilizando-se de um software da família “*Supervisory Control And Data Acquisition(SCADA)*”, o *Eclipse Scada*, que funcionará como interface com o operador e será responsável pelo armazenamento dos dados coletados. Esse sistema será conectado através de portas seriais de comunicação à módulos de aquisição (*Advantech® Data Acquisition Modules (ADAMs)*), responsáveis por converter os sinais gerados pelos sensores, em grandezas computáveis e por transformar comandos do sistema em sinais elétricos capazes de acionar um atuador.

Todo o sistema de controle será apresentado, bem como, o programa desenvolvido e um estudo de caso. O estudo de caso é baseado na adaptação de um bio-reator, o *BioFlo2000*.

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 2 | O PROCESSO FERMENTATIVO..... | 13 |
| 3 | COMUNICAÇÃO DE DADOS EM CONTROLE INDUSTRIAL..... | 15 |
| 3.1 | Principais protocolos de comunicação serial na indústria..... | 15 |
| 3.1.1 | RS-232..... | 15 |
| 3.1.2 | RS-422/RS-423..... | 16 |
| 3.1.3 | RS-485..... | 16 |
| 3.2 | Modelos de Redes Industriais..... | 16 |
| 3.2.1 | ProfiBus..... | 16 |
| 3.2.2 | Interbus..... | 17 |
| 3.2.3 | Bitbus..... | 17 |
| 3.2.4 | CAN..... | 18 |
| 4 | INTERAÇÃO COM O USUÁRIO..... | 19 |
| 5 | FUNCIONAMENTO DOS BIOFERMENTADORES..... | 21 |
| 5.1. | Controle de pH..... | 22 |
| 5.2. | Controle de Oxigênio Dissolvido..... | 22 |
| 5.3. | Controle de Temperatura..... | 22 |
| 5.4 | Controle Anti-espuma..... | 23 |
| 6 | TECNOLOGIAS EMPREGADAS..... | 24 |
| 6.1 | Módulos ADAM..... | 24 |
| 6.2 | Software SCADA..... | 25 |
| 6.3 | Protocolo de comunicação..... | 26 |
| 6.4 | Sensores..... | 27 |
| 7 | ESTUDO DE CASO..... | 28 |
| 7.1 | O BioFlo 2000..... | 28 |
| 7.2 | Software Desenvolvido..... | 29 |
| 7.3 | Controle de Variáveis..... | 32 |

| | | |
|-------|--|----|
| 7.3.1 | Controle on-off | 32 |
| 7.4 | Hardware montado | 35 |
| 8 | ANÁLISE DE CUSTOS | 38 |
| 8 | ANÁLISE DE CUSTOS | 38 |
| 8.1 | Estimativa de custos do BioFlo 2000 | 38 |
| 8.2 | Estimativa de custos para desenvolvimento da ferramenta..... | 39 |
| 8.2.1 | Custos do Software Scada..... | 39 |
| 8.2.2 | Custos dos Módulos ADAM..... | 39 |
| 8.2.3 | Custos de um MicroComputador | 40 |
| 8.2.4 | Custos com desenvolvimento..... | 40 |
| 8.2.5 | Custos com estrutura física | 41 |
| 8.2.6 | Custos com sensores | 42 |
| 8.3 | Comparativo financeiro | 42 |
| 9 | CONCLUSÕES..... | 43 |
| 10 | TRABALHOS FUTUROS | 44 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Etapas do processo biotecnológico..... | 14 |
| Figura 2 - Comprimento de cada segmento da rede versus taxa de transmissão..... | 18 |
| Figura 3 - ADAM-4053 (16 Entradas Digitais)..... | 24 |
| Figura 4 - Tela inicial do Elipse Scada..... | 25 |
| Figura 5 - Arquitetura do sistema..... | 26 |
| Figura 6 - Imagem de um BioFlo 2000 da New Brunswick..... | 28 |
| Figura 7 - Tela inicial do sistema..... | 29 |
| Figura 8 - Tela principal..... | 30 |
| Figura 9 - Abrir experimento existente..... | 31 |
| Figura 10 - Tela principal vista no Internet Explorer..... | 32 |
| Figura 11 - Diagrama de controle on-off..... | 33 |
| Figura 12 - Diagrama de bloco do sistema..... | 35 |
| Figura 13 - Maleta de testes..... | 36 |
| Figura 14 - Estatísticas da aplicação..... | 41 |
| Figura 15 - Controle centralizado..... | 44 |

LISTA DE ABREVIATURAS

PC – Personal Computer

ADAM – Advantech Data Acquisition Module

CLP – Controlador Lógico Programável

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition

IHM – Interface Homem-Máquina

PID – Proporcional Integral Derivativo

PWM – Pulse Width Modulation

CAN – Controller Area Network

OLE – Object Linking and Embedding

OPC – OLE for Process Control

1 INTRODUÇÃO

A cada dia que passa o desenvolvimento tecnológico tem se tornado mais abrangente e presente nas mais diversas áreas do conhecimento humano, se tornando, em grande parte delas, ferramenta imprescindível para obtenção de bons resultados.

Com a pesquisa de microorganismos isto não foi diferente. Mais uma vez a tecnologia assumiu a missão de viabilizar o desenvolvimento de experimentos delicados, servindo como ferramenta para a monitoração e controle de parâmetros físicos e químicos, possibilitando seu tratamento, sua quantificação e análise durante a execução de processos biotecnológicos.

Neste contexto foram desenvolvidos equipamentos para trabalhar com estes microorganismos, denominados de biofermentadores [1]. Estes equipamentos são equipados com sensores e dispositivos de controle que possibilitam a realização de experimentos automatizados com definição prévia de valores como: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, além de traçar gráficos, estatística, etc.

No entanto, a aquisição de um reator, como também são conhecidos os biofermentadores, requer investimentos altos graças às características do equipamento e ao fator importação, já que a indústria brasileira ainda não conseguiu grandes avanços nesta área. Por este motivo, instituições de ensino e pesquisa enfrentam dificuldades para equipar laboratórios de forma a torná-los capazes de atender a demanda existente.

O fato de ser, na grande maioria das vezes, obtidos através de processo de importação, dificulta também o processo de suporte quanto à utilização e principalmente à manutenção. Isto torna um biofermentador, muitas vezes, inutilizável por conta de um problema que seria facilmente resolvido por uma tecnologia nacional. Existem ainda dificuldades no tocante a adaptações, algumas vezes necessárias para o desenvolvimento de experimentos com características peculiares.

Diante de todas essas dificuldades percebeu-se a automação industrial, já consolidada no controle de processos extremamente complexos, como uma saída mais econômica, podendo ainda, agregar mais

funcionalidades e maior suporte às pesquisas nesta área, criando assim possibilidades que, até então, seriam inviáveis.

Este trabalho começa, no capítulo 2, com numa breve explicação do processo fermentativo, com o intuito de apresentar um pouco do universo em que estão inseridos os biofermentadores.

No capítulo 3 são apresentadas características técnicas de protocolos de comunicação utilizados na indústria e sua adequação a este projeto. Em seguida, no capítulo 4, são exibidas informações sobre os mais diversos recursos oferecidos pelo mercado de automação, tentando explicar o porquê do emprego de cada um deles. No capítulo 5 são apresentados alguns detalhes sobre os biofermentadores: como funcionam, o que controlam e como controlam, que recursos disponibilizam, etc. Um estudo específico do BioFlo 2000 é mostrado já que este foi o equipamento tomado como referencia para o desenvolvimento deste trabalho.

Na seqüência, no capítulo 6, são apresentados alguns detalhes das ferramentas tecnológicas empregadas, quais suas funções e como são empregadas no projeto. O capítulo 7 trata da ferramenta de monitoração, enquanto que o capítulo 8 traz um estudo econômico do modelo. Conclusões e futuros trabalhos são apresentadas nos capítulos 9 e 10 respectivamente.

2 O PROCESSO FERMENTATIVO

A fermentação consiste no processo de transformação de um produto em outro através da ação de um fermento que pode ser um fungo, uma bactéria, ou até mesmo o corpo humano[16][17] . De acordo com suas características, um processo fermentativo pode ser classificado como:

- Fermentação Alcoólica – Fermento produz energia a partir da glicose liberando etanol e CO₂.
- Fermentação Butírica – Descoberta por Louis Pasteur no século dezanove, é a reação química anaeróbica que libera ácido butírico.
- Fermentação Glicerina – É o processo anaeróbico que transforma a glicerina em biogás realizado por bactérias extraídas do esterco bovino.
- Fermentação Acética – Realizada por bactérias conhecidas como acetobactérias, é utilizada na produção do vinagre e do ácido acético industrial. Tem como matéria-prima o álcool etílico.
- Fermentação láctica – Muito comum no corpo humano quando, na ausência de gordura, duas ATP's são extraídas de uma molécula de glicose, liberando ácido láctico que, em alta concentração, pode provocar fadiga muscular.
- Químiossíntese – Processo de formação de matéria orgânica a partir da oxidação de minerais.

A fermentação está presente nas mais diversas áreas da biotecnologia, desde a produção de gêneros alimentícios como pães, bebidas fermentadas, até o tratamento de dejetos, podendo neste caso inclusive, gerar bioenergia. Processos fermentativos também são empregados no desenvolvimento de fármacos, rações animais, entre tantos outros.

O processo fermentativo controlado pode ser dividido em três etapas bem definidas[2]:

- Upstream – Consiste na coleta e seleção dos microorganismos a serem utilizados e na preparação do ambiente, o fermentador. O fermentador deve ser esterilizado, na maioria das vezes por autoclave, para evitar contaminação do substrato. No caso de fermentadores de grande porte, aos quais a autoclave

não se aplica, a esterilização [3] é feita *in situ* a partir da lavagem com ácidos específicos.

- Fermentação – É a alma do processo, podendo durar horas ou até dias. É a fase em que a colônia microbiótica trabalha para transformar o substrato em produto. Nesta etapa o pH, a temperatura e o oxigênio dissolvido devem ser mantidos dentro de padrões predefinidos para a obtenção de bons resultados. Aqui a agitação da mistura é de fundamental importância para dissolver o oxigênio, manter a uniformidade do pH, da temperatura e da concentração de nutrientes, manter a suspensão dos microorganismos e dos sólidos e manter a dispersão dos líquidos imiscíveis. Durante esta etapa, se um dos parâmetros sair do intervalo aceitável por falha de controle, a redução da população bacteriana se torna inevitável, comprometendo todo o experimento.
- Downstream – Ao fim da fermentação parte-se para o isolamento, purificação e concentração do produto obtido.

A figura 1 mostra o fluxo do processo fermentativo.

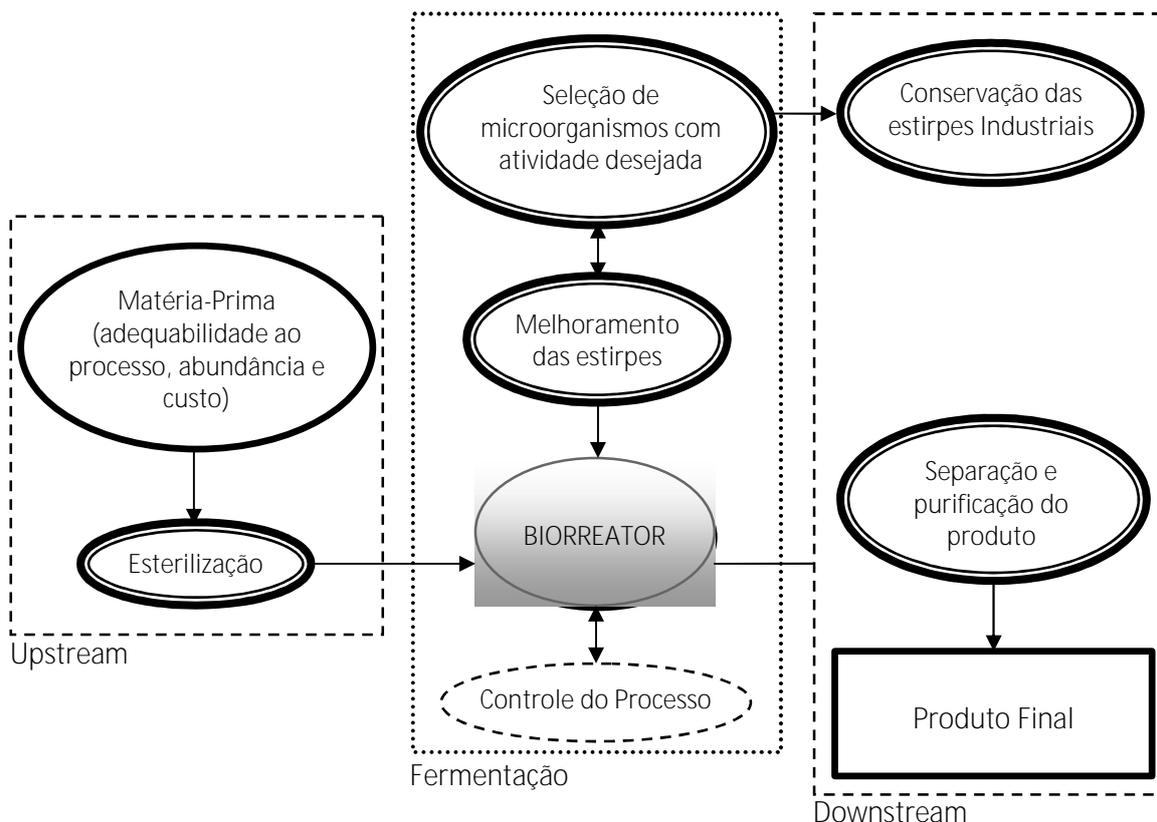


Figura 1 - Etapas do processo biotecnológico

3 COMUNICAÇÃO DE DADOS EM CONTROLE INDUSTRIAL

Existe no contexto de automação industrial uma grande variedade de protocolos de comunicação para tratamento de dados de controle, que podem ser classificados de acordo com algumas das suas principais características.

Cada aplicação requer um tipo de protocolo que deve ser selecionado de acordo com parâmetros como velocidade, imunidade a ruídos elétricos, distancia entre nós, tipo de cabeamento, entre outros.

Nos dias de hoje, embora protocolos de rede como ethernet dê passos significativos na direção da automação industrial, associado inclusive à distribuição em massa de equipamentos com este padrão de comunicação, estes não dominam os sistemas de controle em áreas industriais. Em sistema assim, ainda impera, na maioria dos sensores/atuadores, protocolos especiais, como o RS232, RS-485, etc., ficando a rede ethernet responsável, principalmente, pela conexão entre controladores, na maioria das vezes CLP's.

Apesar de todas as vantagens apresentadas pelo modelo de comunicação ethernet, sua estrutura de cabeamento é extremamente sensível a ruídos elétricos, fenômenos comuns em pátios fabris graças à concentração de motores, turbinas, transformadores elétricos, entre outros geradores destes distúrbios [18] [19].

3.1 Principais protocolos de comunicação serial na indústria

3.1.1 RS-232

O padrão serial 232, descrito pela EIA RS-232C [21] foi largamente difundido no mercado, equipando um grande número de PC's. Neste padrão, o nível lógico "1" é representado por um sinal elétrico de -3V a -12V e o nível "0" é representado por um sinal de +3V a +12V. Sinais elétricos de -3V a +3V são indefinidos e precisam ser evitados.

Por suas características elétricas, este padrão apresenta uma boa imunidade a ruídos, porém, não é indicado para grandes distâncias. Outro

problema apresentado por este modelo é que ele só permite ligações ponto a ponto.

3.1.2 RS-422/RS-423

O RS-422 e o RS-423 [22] foram criados para substituir o RS-232 mantendo compatibilidade com o antecessor, o que permite que um equipamento com uma porta RS-232 seja ligado diretamente com outro que possua porta RS-422 ou RS-423.

Os dois já trazem possibilidade de conexão a distancias elevadas, de cerca de 1200m, sendo que o primeiro permite ligação multi-ponto e pode alcançar até 10Mbps de velocidade. Já o segundo tem limitação de 100Kbps e só permite ligação ponto a ponto.

3.1.3 RS-485

Este padrão trás as vantagens de velocidade e distância apresentadas no item anterior (10Mbps e 1200m) com o diferencial de aceitar conexão multiponto.

O canal de comunicação pode ser confeccionado utilizando-se um ou dois pares. Este modelo adota o padrão diferencial, ou seja, a interpretação dos sinais é feita com base na diferença da voltagem presente nos dois pólos do par, dessa forma obtém-se uma grande imunidade a ruídos.

Estas características fizeram do RS-485 [22] o padrão serial mais utilizado para o propósito de aquisição de dados no ambiente industrial.

3.2 Modelos de Redes Industriais

3.2.1 ProfiBus

Este modelo adota como padrão físico a comunicação serial RS-485 e é subdividido em dois tipos principais: Profibus-DP [23] e Profibus-PA [23][24]

O primeiro, criado em 1994, permite conexão mono-mestre ou multi-mestre de forma que, nesta, um mestre pode fazer a leitura de qualquer variável, mesmo que ela esteja fisicamente conectada a outro mestre da rede.

Já durante a escrita, cada mestre só pode alterar o valor dos TAGs fisicamente conectados a ele.

O segundo tipo, criado um ano depois, foi desenvolvido para trabalhar em processos químicos permitindo conexões elétricas com segurança intrínseca, requerida pelas características do ambiente.

As distâncias e velocidades alcançadas dependem do meio físico adotado. No caso de RS-485 pode ser atingido 1200m de distância e 12Mbps, o número de estações fica limitado a 126. Quando a Fibra Ótica é aplicada, a distância pode chegar a 3Km, dependendo do tipo de fibra. Já no caso de comunicação com segurança intrínseca, a taxa de transmissão fica a 31.25Kbps e a distância máxima é inferior a 2Km.

3.2.2 Interbus

Criado em 1984, o Interbus [25] é uma das mais antigas redes industriais. Utiliza como meio físico o padrão RS-485 e é do tipo mono-mestre permitindo cerca de 4000 escravos quando conectada em anel.

Tornou-se popular principalmente na Europa e conta com uma grande diversidade de produtos compatíveis como válvulas de controle, inversores de frequência, placas de interface para robôs, encoders, entre outros.

3.2.3 Bitbus

Criada pela Intel no começo da década de 80 [25], foi a primeira rede desenvolvida especificamente para trabalhar em chão de fábrica. Este tipo de rede nasceu na indústria automobilística, onde ganhou popularidade mundial.

Como na maioria das redes industriais, usa RS-485 como meio físico permitindo mensagens de broadcast e multicast. A relação velocidade x distância alcançadas é apresentada na figura2.

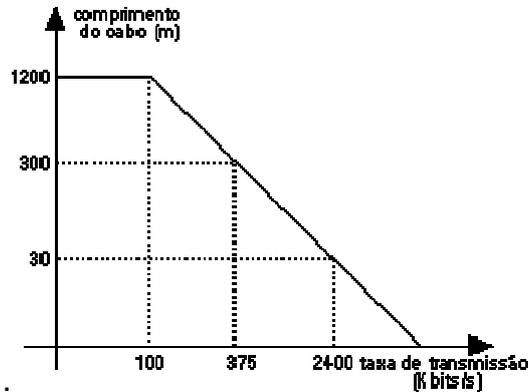


Figura 2 - Comprimento de cada segmento da rede versus taxa de transmissão

3.2.4 CAN

Idealizada pela Bosh por volta de 1983, a Controller Area Network [26] tinha como principal objetivo diminuir o volume de cabeamento no ambiente fabril. Esta redução provocou um grande número de colisões de pacotes forçando os desenvolvedores a adaptar o modelo inicial acrescentando, a cada pacote, o valor de prioridade do mesmo. Desta forma, durante uma colisão, o pacote com menor prioridade é descartado e o outro retransmitido.

Resolvidos os problemas iniciais, a Bosh se uniu à Intel para a fabricação de chips que pudessem equipar os mais variados dispositivos possibilitando compatibilidade com este tipo de rede.

Este modelo permite a existência de vários mestres utilizando como meio físico o RS-485. A distância máxima admitida pela rede é de 1Km.

4 INTERAÇÃO COM O USUÁRIO

A interface Homem-Máquina é de fundamental importância nos sistemas de automação por ser responsável pela exibição do status do processo e por transformar comandos do operador em comandos eletrônicos.

A escolha da IHM depende da complexidade do sistema e do nível de interatividade exigido podendo variar desde um simples painel sinóptico com alguns led's indicativos e botões de comandos chegando até complexos conjuntos de telas com alto nível de detalhes, controle de acesso, logs de segurança, entre outros.

No caso de aplicações mais complexas, como ocorre com biofermentador discutido neste trabalho, onde o número de informações é considerável e a dinâmica é relativamente alta, para se obter fácil manuseio do sistema, é interessante desenvolver uma IHM completa. Isto é alcançado com um conjunto de telas capazes de oferecer o maior número de informações possível e de permitir o comando da ferramenta, deixando que o seu universo de possibilidades seja amplamente explorado.

Estas telas podem ser desenvolvidas em qualquer linguagem como C, Java ou outra qualquer desde que nela esteja disponível um *driver* apropriado para o dispositivo de aquisição de dados. Outra opção é desenvolver um *driver* específico para a linguagem escolhida, o que pode consumir muito tempo.

No caso dos módulos ADAM [12-15], adotados neste projeto, o desenvolvimento de um *driver* seria tarefa simples, já que o protocolo é aberto e o manual do equipamento traz a tabela completa de *strings* para troca de informações via porta serial do PC. No caso de protocolos fechados, o desenvolvimento deste componente pode se tornar inviável.

É comum, neste mercado, que as empresas adotem políticas de abertura de protocolos uma vez que a compatibilidade do seu hardware com os mais variados softwares é fator determinante para a sua popularidade.

Ainda assim, é interessante adotar o uso de ferramentas *SCADA* já que estas, além de disponibilizarem *drivers* prontos para a maioria dos

dispositivos comercializados, trazem um conjunto pronto de ferramentas comumente utilizadas para automação como disparo de eventos, armazenamento de históricos, controle de acesso de usuários, entre outros.

Dentro do conjunto de ferramentas *SCADA* disponíveis, cada uma tem características específicas que a tornam atrativa para determinados tipos de aplicações. No Brasil, especificamente, graças à característica do suporte técnico, duas soluções vêm conquistando o mercado: o Elipse Scada [27] e o E3 [27].

Estes dois sistemas foram desenvolvidas pela Elipse Software. O Elipse Scada, geralmente utilizado para aplicações de pequeno e médio porte e o E3, criado para atender necessidades de grandes fábricas. O E3 permite trabalho em modelos distribuídos prevendo, inclusive, comunicação com bancos de dados, tolerância a falhas, inserção de redundância entre outros recursos avançados.

5 FUNCIONAMENTO DOS BIOFERMENTADORES

O homem começou a observar a fermentação a partir de experiências com comidas que se estragavam como resultado da ação de bactérias. Em seguida os humanos começaram a perceber que estas alterações poderiam ter como resultado produtos consumíveis. A fermentação espontânea de alguns sucos, por exemplo, dava origem a tipos primitivos de vinho.

No século IX, a fermentação foi largamente discutida e pesquisadores começaram a desenvolver métodos de controle com o objetivo de melhorar os resultados obtidos. Só no século seguinte nasceram os biofermentadores, ferramentas capazes de oferecer um controle mínimo aos processos fermentativos. A evolução de fato destes sistemas só ocorreu de fato por volta de 1990 graças à evolução tecnológica acentuada e da expansão da concorrência deste mercado com o surgimento de várias indústrias neste ramo.

A diversidade de modelos é enorme, e a principal variação acontece no tamanho da cuba - recipiente onde ocorre a fermentação - que costuma variar de cinco litros (para aplicações em pesquisas de laboratório) até milhares de litros (geralmente utilizados em processos fabris).

Apesar do grande número de modelos, geralmente os biofermentadores controlam três parâmetros principais: pH, temperatura e nível de Oxigênio dissolvido. Alguns mais completos são capazes de fazer análise de turbidez e evitar formação de espuma, mas são raros já que estas funcionalidades são dispensáveis na grande maioria dos experimentos.

Como as culturas de bactérias são processos com alterações normalmente lentas[4], o biofermentador não necessita de boa velocidade de resposta e nem controles complexos de variáveis, sendo completamente viável o uso de controle digital. Funções mais avançadas como PID, por exemplo, não são essenciais, mas se apresentam como diferencial incrementando alguns modelos mais avançados.

Normalmente estes equipamentos são formados por um conjunto de três sensores – pH, temperatura e OD – e um conjunto de atuadores composto

por bombas peristálticas, motor de agitação e aquecedor resistivo, além da cuba, válvulas e uma central de controle.

5.1. Controle de pH

O controle de acidez do processo é feito a partir a adição de substâncias com pH conhecido[6], ácido ou básico, visando manter a variável próxima de um valor pré-determinado. Para executar essa tarefa o equipamento conta com duas bombas peristálticas, com vazões reguláveis, que podem ser acionadas a partir de sinais eletrônicos adicionando um dos líquidos à cultura.

5.2. Controle de Oxigênio Dissolvido

O processo de fermentação não exige, em geral, preocupação com altos valores de oxigênio dissolvido. Apenas nos casos de microorganismos aeróbicos deve-se manter uma concentração mínima de oxigênio para garantir a sobrevivência dos mesmos. Um simples agitador acionado por um motor com sinal binário, é capaz de adicionar O_2 à cultura garantindo as condições mínimas[7].

Para processos de volume maior, ou com biomassa de difícil aeração, o agitador pode se tornar insuficiente. Nesses casos são adicionadas bombas para a injeção de ar na mistura.

5.3. Controle de Temperatura

Para este controle, o fermentador tomado como base faz uso de dois artifícios simples[4]: para aumentar a temperatura, uma resistência elétrica, posicionada abaixo da cuba, acionada por um relê é capaz de dissipar calor suficiente para aquecer a cultura em um pequeno espaço de tempo; para o resfriamento, uma solução um pouco mais delicada. Uma espiral que pode ser alimentada por água a baixa temperatura. Essa água deve ser mantida num reservatório termicamente isolado e, quando da sua necessidade, circular na espiral por força do trabalho de uma bomba peristáltica acionada por um sinal elétrico.

5.4 Controle Anti-espuma

Alguns experimentos podem provocar surgimento de espuma. Nesses casos o combate a este tipo de formação pode ser feito de forma manual, com adição periódica de anti-espumante, ou de forma automática com sensores de formação de espuma e bomba para adição da substância corretiva.

6 TECNOLOGIAS EMPREGADAS

Para este trabalho foram utilizados materiais já consolidados na automação industrial, conhecidos por sua robustez, boa adaptação a ambientes hostis e baixíssimos índices de falhas. Outras características observadas durante a definição desses equipamentos foi o baixo custo e a disponibilidade no mercado local.

6.1 Módulos ADAM

Os Advantech Data Acquisition Modules desenvolvidos pela Advantech (ver figura 3) [15-17][28], especializada em soluções para automação industrial, são capazes de coletar informações dos mais diversos tipos transformando-as em valores digitais. Os sinais de entrada e saída podem ser analógicos representados por correntes de 4 a 20 miliamperes[8][9] (padrão largamente difundido) ou por voltagens de 0 a 5 volts, 0 a 500 milivolts, entre outros. São aceitos também sinais digitais de 0 ou 5 volts. No caso de sinais analógicos a resolução empregada é de 16 bits o que garante a qualidade da informação obtida tornando os erros de medição praticamente ínfimos para a maioria dos sistemas industriais.



Figura 3 - ADAM-4053 (16 Entradas Digitais)

6.2 Software SCADA

Os sistemas SCADA, do inglês *Supervisory Control And Data Acquisition*, também oriundos da automação industrial são responsáveis pela interface com usuários apresentando dados na tela e transformando comandos do operador em lógica do sistema. Outra tarefa realizada por este tipo de software é a de armazenamento dos históricos em disco.

Existe no mercado uma grande variedade de softwares com esta finalidade. Para este projeto foi escolhido o Elipse Scada desenvolvido pela Elipse Software[27] empresa 100% nacional que se destaca pelo seu suporte aos usuários além de se mostrar uma ferramenta de fácil manipulação, bom desempenho e preço inferior aos concorrentes importados. O sistema é amigável para uso, possuindo telas similares àquelas empregadas em ambiente windows. A figura 4 mostra uma tela inicial do sistema Elipse.

Além da facilidade de manipulação, o Elipse Scada facilita a consideravelmente a programação disponibilizando ferramentas específicas voltadas às funções mais comuns no dia-a-dia da automação como históricos, alarmes, comunicação, controle de acesso, entre outras.

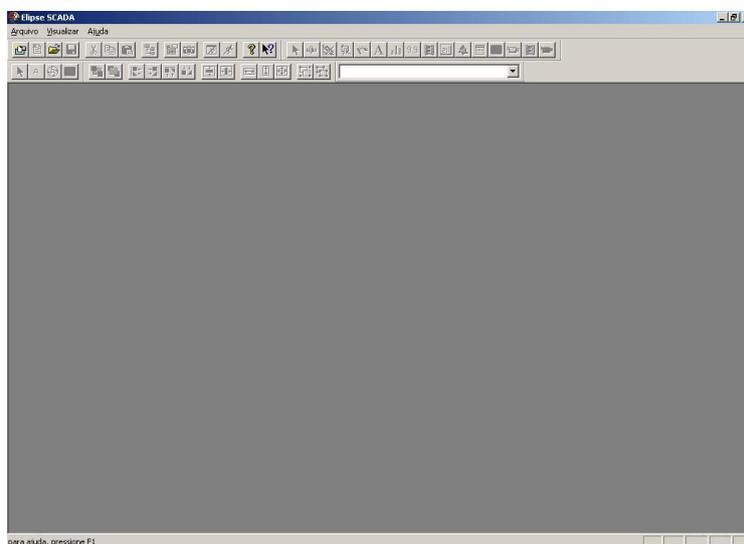


Figura 4 - Tela inicial do Elipse Scada

6.3 Protocolo de comunicação

Um detalhe importante no uso da arquitetura em discussão é que, na maioria dos casos, é necessário mais de um módulo ADAM para suportar todas as entradas e saídas do sistema. Por isso, os módulos são equipados com controladores de rede Ethernet ou RS-485 permitindo comunicação concorrente com vários ADAMs.

Para este trabalho foi adotado o padrão de comunicação RS-485[10], rede que pode ser conectada à porta serial de qualquer micro utilizando-se para tal um conversor RS-485/RS-232. Além de velocidade relativamente inferior à rede Ethernet, este tipo de estrutura impõe o limite de 255 módulos.

Para distribuição dos dados em uma rede Ethernet possibilitando uma arquitetura cliente servidor, o micro conectado diretamente aos coletores pode ser transformado em um servidor de TAG's. Este servidor recebe os valores de cada variável em campo e os torna disponível para consulta, feita por outros nós da rede. Dessa forma, vários computadores conectados à mesma rede do servidor podem interagir com a planta da fábrica.

Um tipo bastante comum de TAG Server é o OPC [29] Server, compatível com um grande número de dispositivos de automação industrial.

Abaixo, a figura 5 ilustrando a arquitetura do sistema.

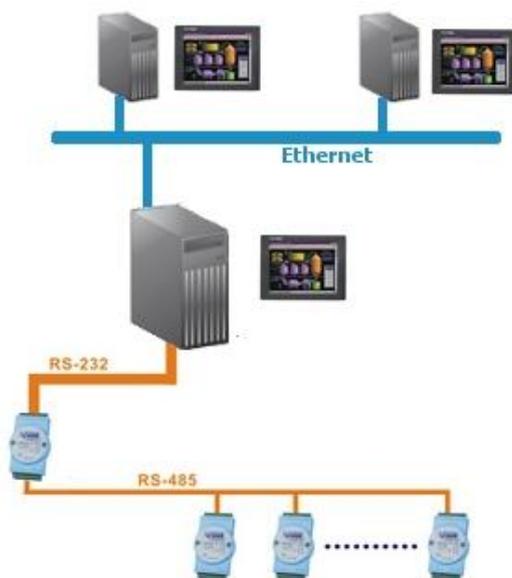


Figura 5 - Arquitetura do sistema

6.4 Sensores

Por ser um dos padrões de sinal mais difundidos na área de sistemas de controle de processos, preferiu-se adotar, neste trabalho, sensores com saídas 4-20mA [8][9]. O que torna o sinal 4-20mA tão atraente para este uso é a sua imunidade a ruído, muito superior aos outros tipos de sinal, definidos por voltagens.

Um detalhe crítico neste tipo de aplicação é o tipo de material utilizado na construção do sensor e como ele interage com a solução. Os riscos de contaminação da cultura são grandes e isso pode alterar completamente os resultados de um experimento. Outro detalhe, no caso dos dispositivos que entram em contato direto com os microorganismos, é que eles devem ser resistentes à autoclave possibilitando uma limpeza completa do mesmo para que nenhum resíduo seja transferido de um experimento a outro.

Por razão de dificuldades de compra em curto prazo os sensores serão substituídos por potenciômetros conectados às entradas dos módulos ADAM oferecendo, cada um, uma corrente capaz de variar de 4 a 20mA possibilitando a perfeita simulação do comportamento dos sensores.

7 ESTUDO DE CASO

Este trabalho foi desenvolvido em parceria com o LIKA-UFPE [33] e gerou como resultado um sistema capaz de controlar processos fermentativos. O objetivo do projeto é substituir um fermentador do modelo BioFlo2000, existente no LIKA que, atualmente, encontra-se fora de uso por dificuldade de manutenção e aquisição de peças para reposição.

Este mesmo resultado poderá ser aplicado futuramente em biofermentadores de larga escala, com volumes que chegam a milhares de litros.

7.1 O BioFlo 2000

Desenvolvido pela canadense New Brunswick, o BioFlo 2000[5], apresentado na figura 6, conta com arquitetura modular, de forma que cada parâmetro envolvido no processo é controlado por um módulo diferente. O módulo principal, a central de controle, que também leva o nome de BioFlo 2000, já vem equipada com controle de temperatura e agitador com opção de acionamento manual, com o mínimo de controle para uma fermentação.



Figura 6 - Imagem de um BioFlo 2000 da New Brunswick

Para a montagem de um fermentador básico é interessante adicionar o D.O. 2000 Controller, que auxilia o módulo principal na manutenção de oxigenação, controlando o acionamento do agitador e dando a opção do acréscimo de uma bomba capaz de injetar ar na biomassa quando o agitador não for suficiente. Outro módulo necessário é o pH 2000 *control module*, equipado com bombas peristálticas para o controle do pH.

Existe, ainda, o AF 2000 para controle de formação de espuma, o FP 2000 para controle de adição de nutrientes e outros componentes como display de cristal líquido monocromático para exibição de gráficos com opção de gravação de até seis variáveis.

7.2 Software Desenvolvido

O Software criado, durante este trabalho, para controlar o processo de biofermentação tendo como foco o experimento, permitindo ao usuário criar um novo, o que implica no controle de evolução dos parâmetros de acordo com valores fornecidos pelo pesquisador, ou abrir um experimento realizado em algum momento passado a fim de analisar detalhadamente os resultados obtidos. Estas duas opções são apresentadas ao usuário na tela inicial, mostrada na figura 7.

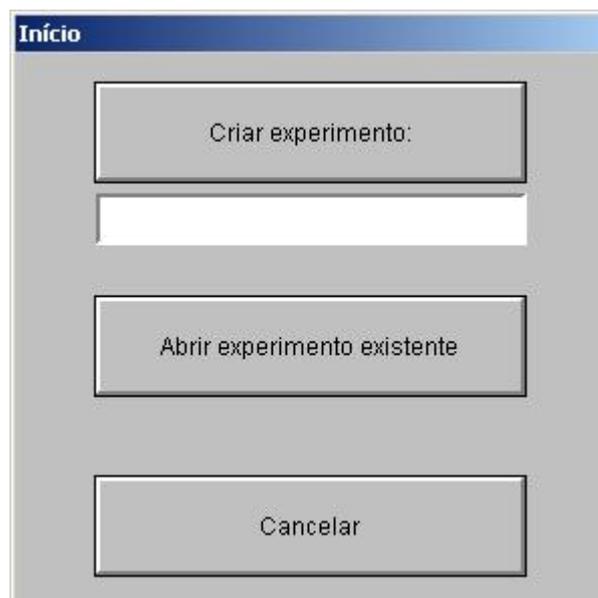


Figura 7 - Tela inicial do sistema

Ao optar pela criação de um novo, informando previamente o nome do mesmo, o usuário verá a tela principal do sistema, mostrada na figura 8, onde poderá preencher os valores desejados para as variáveis (temperatura, pH e Oxigênio Dissolvido e tempo de duração) e, com os parâmetros valorados, inicializar a aplicação, o que fará com que os dados de evolução comecem a ser armazenados e com que os atuadores comecem a funcionar para corrigir as variáveis de acordo com o desejado. Nesta mesma tela, enquanto o experimento está acontecendo, pode-se visualizar a situação do reator incluindo os valores atuais das variáveis e o estado de cada atuador. Outra informação disponível está presente em gráficos que apresentam o histórico de cada variável durante o experimento decorrente, relacionando com cada uma delas o seu conjunto de atuadores. Ao final do experimento, evento que pode ocorrer por comando do usuário ou automaticamente, de acordo com o tempo de duração oferecido, um arquivo de histórico é salvo com o nome indicado no início da aplicação possibilitando a análise futura dos resultados e a troca de informações a partir do envio deste histórico.

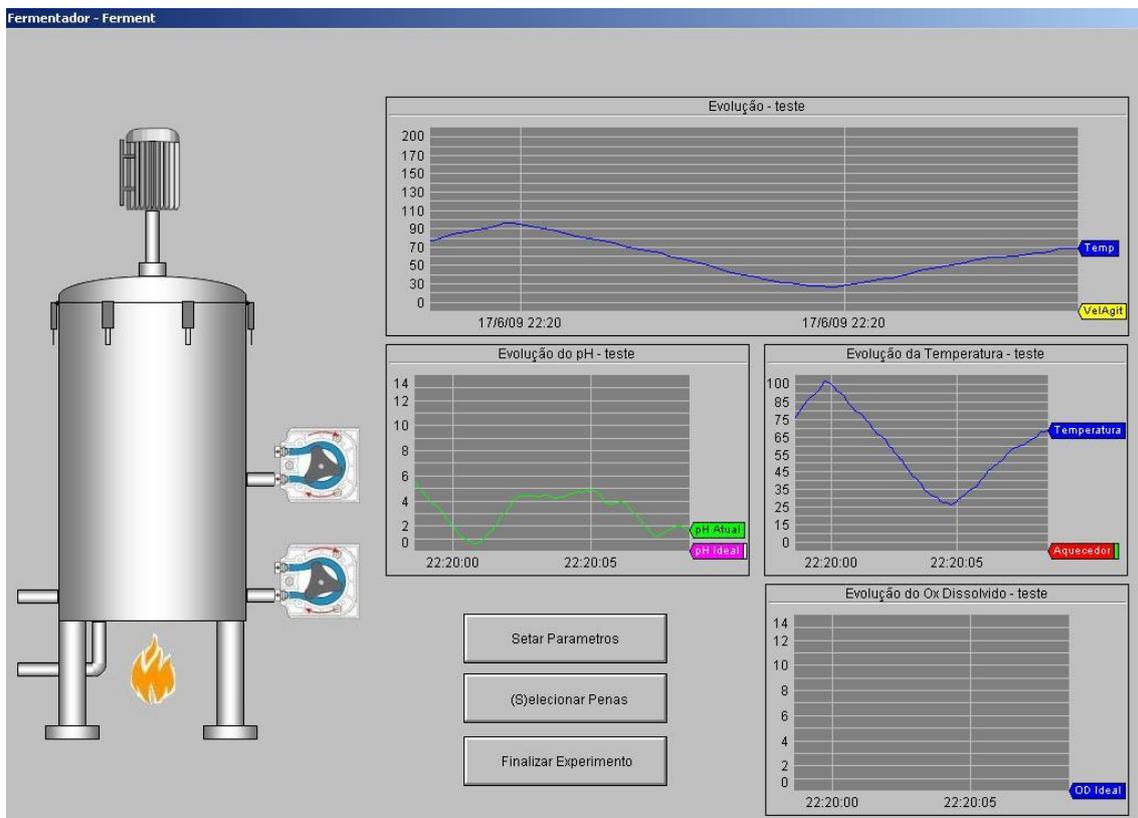


Figura 8 - Tela principal

Já na segunda opção, apresentada na figura 9, a de abrir um experimento existente, o usuário deve apontar um arquivo de histórico gerado durante um experimento anterior para que os seus dados sejam avaliados. A mesma tela irá aparecer, só que desta vez o sistema dará a opção de navegar no tempo permitindo a análise de cada momento do processo, bem como a sua evolução.

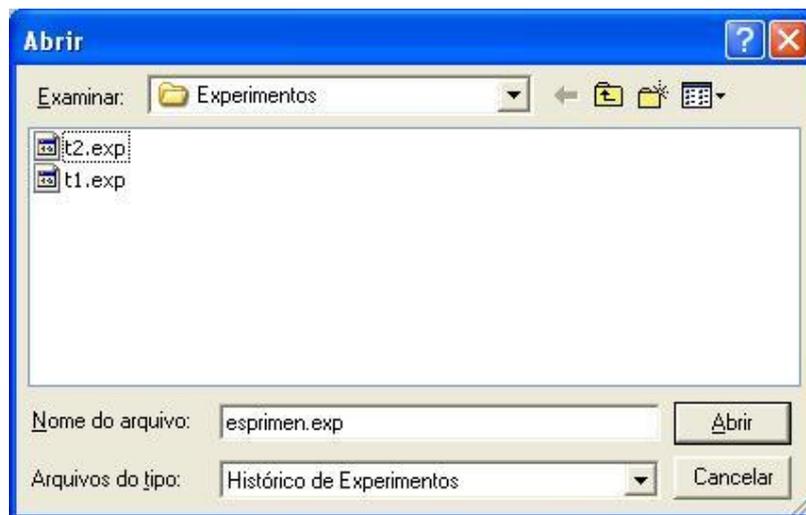


Figura 9 - Abrir experimento existente

Outra funcionalidade interessante do sistema é a visualização via web. No momento em que o software é executado, um Java applet é gerado e pode ser disponibilizado por um servidor HTTP. Isso permite que o pesquisador acompanhe o andamento do processo a distância, porém, não é possível, ainda, interagir com o sistema enviando comandos remotamente. A tela observada pelo usuário através de um navegador qualquer está apresentada na figura 10.

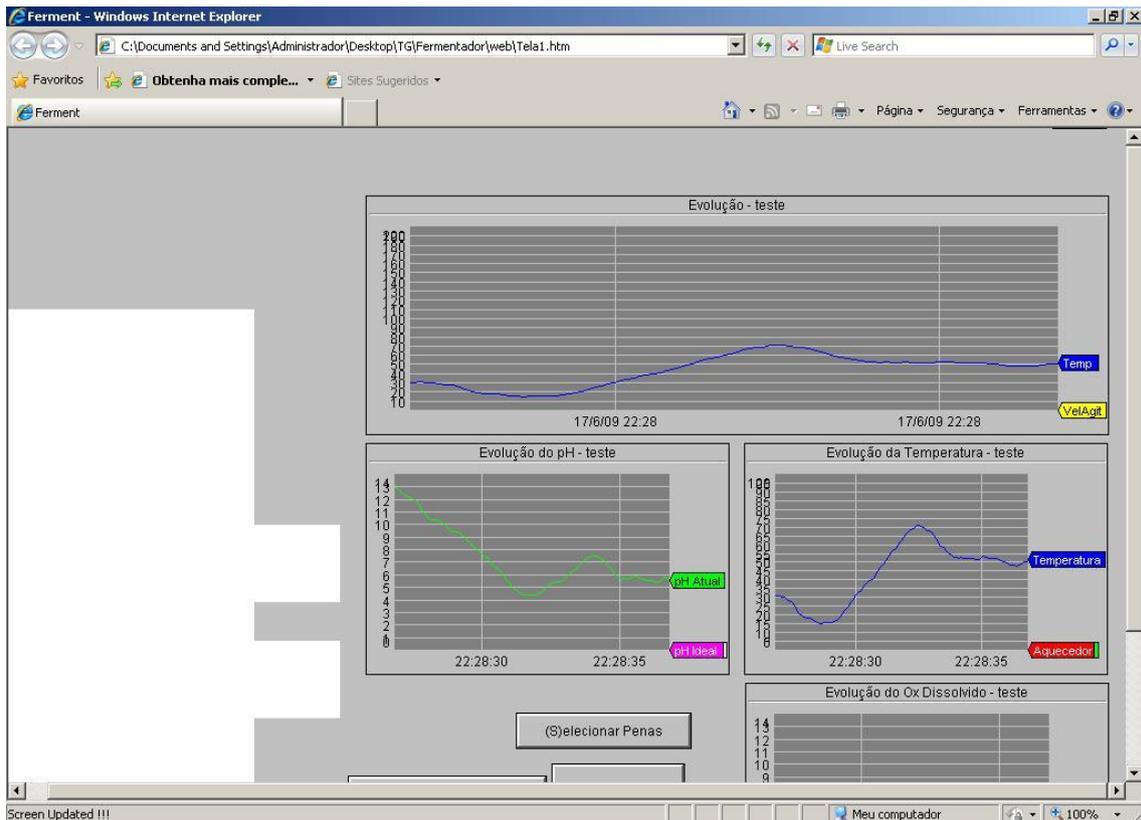


Figura 10 - Tela principal vista no Internet Explorer

7.3 Controle de Variáveis

A definição destes controles foi feita a partir da análise de alguns trabalhos com avaliação de diversos algoritmos propostos. Os fatores mais relevantes, neste estudo, foram complexidade e qualidade dos resultados apresentados por cada um deles.

7.3.1 Controle on-off

O mais simples dentre os estudados, proposto em “Design of Bio-fermentation Control System Based on the Embedded Microprocessor” [30] se limita a fazer o controle on-off de atuadores tomando atitudes corretivas sempre que a variável sair de uma margem pré-estabelecida.

Para este tipo de controle, o usuário deverá entrar com o valor máximo e o mínimo de cada variável. Quando estes valores forem extrapolados o algoritmo reage. O diagrama de controle é apresentado na figura 11.

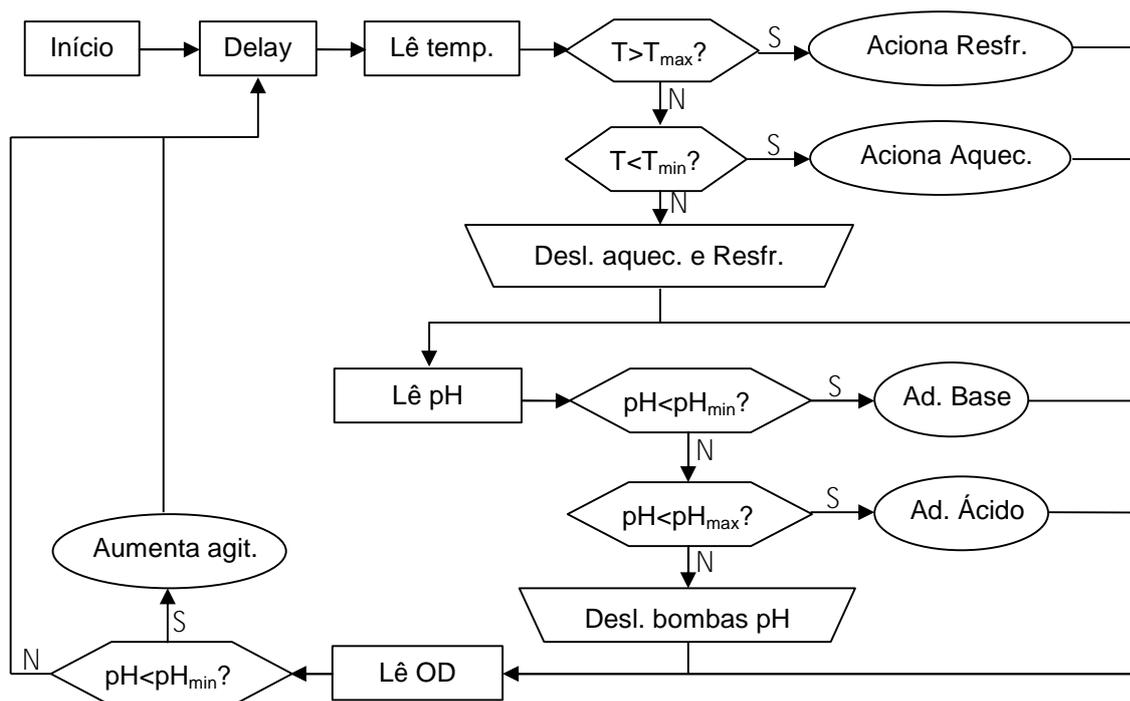


Figura 11 - Diagrama de controle on-off

Na fase inicial, o algoritmo solicita ao usuário que sejam informados os valores máximo e mínimo aceitáveis para cada uma das variáveis. Em seguida, o sistema entra em espera, para criar um ciclo respeitando um tempo predeterminado. A partir daí, a primeira variável é lida por meio do seu sensor, nesse caso a temperatura, se ela está dentro dos limites permitidos, o sistema envia comandos para desligar aquecedor e resfriamento, já que eles não são necessários neste caso. Porém se um dos limites, inferior ou superior, sair das margens pré estabelecidas, um dos atuadores relacionados à temperatura será acionado tentando fazer com que a variável volte ao interior dos limites.

Em seguida, o algoritmo passa para a próxima variável, o pH, o comportamento é similar ao anterior. Se o valor lido estiver fora dos limites, atuadores são acionados, desta vez adicionando à biomassa um ácido ou uma base, na tentativa de corrigir a acidez. Caso contrário comandos de desligamento são enviados às bombas peristálticas responsáveis por este trabalho.

No final, o valor de Oxigênio Dissolvido é testado. Se o nível está abaixo do especificado, significa que o agitador deve ser acionado para tentar reverter a situação. Depois disso o processo aguarda um instante para manter o período e recomeça pela leitura da primeira variável.

Esta simplicidade é necessária por se tratar de uma solução que deve rodar em um microprocessador simples com poucos recursos.

7.3.2 Controle por processo de decisão de Markov

Baseados no fato de não ser possível determinar o resultado exato de um ato realizado por um biofermentador, como acionamento de uma bomba ou do aquecedor, por exemplo, Saucedo e Karim [31] propuseram, em 1997, a aplicação de processos de decisão de Markov para enriquecer o processo fermentativo.

O algoritmo de alta complexidade age na tentativa de inferir os resultados futuros das ações tomadas no presente. Requer bom poder de processamento e pode consumir muito tempo de programação para funcionar de forma adequada. Em contrapartida os resultados são bem motivadores: nos testes realizados por Saucedo e Karim, em experimentos de geração de Etanol [31] o algoritmo de Markov foi capaz de gerar um aumento de 120% nos níveis de produção do álcool.

7.3.3 Controle on-off com PID temporizado

Uma proposta bem interessante é a de Restrepo, González e Orduz [32] em “Cost effective control strategy for small applications and pilot plants: on–off valves with temporized PID controller”. Neste trabalho um simples controle PID altera o tempo de um pulso PWM.

O algoritmo, extremamente simples, se limita a:

```
If s0>0{
  t2=t2+1;
  If t2<=s0
    {Abre válvula};
  Else
    {Fecha Válvula};
  t0=t1/s0;
  If t2>t0
    {t2=0};
}
```

Onde s_0 é a saída do PID, t_0 será o período do evento, t_1 , indicado pelo usuário, deve variar de acordo com características do experimento e faz o papel de calibração e t_2 funciona como relógio(clock).

A saída s_0 também pode ser calculada de forma simples, considerando o erro atual da variável e a sua evolução. Para tal, os valores da variável nos dois instantes de tempo anteriores são suficientes. Forma-se assim um controle proporcional-derivativo(PD).

O diagrama de bloco do sistema assume a seguinte forma, como pode ser visto na figura 12:

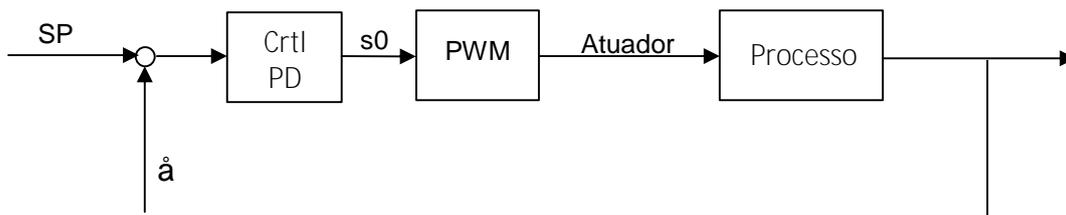


Figura 12 - Diagrama de bloco do sistema

Por ser uma proposta que combina simplicidade e funcionalidade, esta foi o padrão de controle aplicado neste projeto.

7.4 Hardware montado

Foi montada uma maleta, mostrada na figura 13, com alguns módulos ADAM a fim de realizar testes de comunicação e comportamento do software. Em lugar dos sensores e atuadores, que não puderam ser adquiridos a tempo de serem apresentados neste trabalho, foram utilizados potenciômetros e LEDs sendo necessário, para o perfeito funcionamento do biofermentador, a simples substituição dos potenciômetros por seus respectivos sensores (pH, temperatura e Oxigênio dissolvido) e dos LEDs pelos atuadores (bombas, aquecedores).



Figura 13 - Maleta de testes

Esta estrutura conta com duas fontes de corrente contínua, uma de 12V e outra de 24V alimentadas por corrente alternada de 110V ou 220V que podem ser vistas do lado direito da parte inferior da maleta, destacadas por suas carcaças metalizadas. Estas fontes alimentam os módulos ADAM e circuitos auxiliares.

Foi instalado, também, um módulo ADAM 4500 [11], conversor RS-485/RS-232, na parte superior direita, destacado pela conexão do cabo branco que é diretamente conectado à porta serial de um PC.

Percebe-se ainda, na parte superior esquerda, um ADAM 4017 [12], com oito entradas analógicas, equipado com três potenciômetros que simulam os sensores injetando nas portas do módulo correntes 4-20mA [8][9].

Outro módulo que merece destaque é o ADAM 4068 [15], o mais a direita na parte inferior. Com oito saídas digitais, envia os comandos para os

instrumentos e, afim de simulação, teve suas saídas ligadas a LEDs e coolers que são ligados em lugar dos atuadores.

Além disso, um detalhe que merece atenção é o par de fios caracterizado pelas cores verde e amarelo que passa por todos os módulos. Estes são os fios responsáveis pela comunicação RS-485 [10] ligados à porta específica para este fim presente em cada um dos ADAMs.

Os dispositivos não descritos têm importância secundária ou foram colocados para fins de testes, calibração e possíveis expansões.

8 ANÁLISE DE CUSTOS

Durante o levantamento dos custos aqui apresentados alguns valores não puderam ser confirmados por motivo de dificuldade de contato com os fornecedores.

Com o objetivo de se aproximar do pior caso – valor da solução proposta ser igual ou superior ao valor do fermentador importado – os valores obtidos para os equipamentos importados foram levemente amortecidos enquanto que para os equipamentos que compõem a solução foram considerados os valores mais altos percebidos no mercado durante o último ano.

Vale lembrar que: ainda que o valor do fermentador importado fosse um pouco inferior ao valor do reator montado, a solução aqui proposta ainda seria vantajosa por apresentar viabilidade de manutenção, o que garante um tempo de vida muito maior, e possibilidades de adaptação.

8.1 Estimativa de custos do BioFlo 2000

De acordo com pesquisa em sites de fornecedores estrangeiros, localizados na Europa e Estados Unidos, o preço de fermentadores parecidos com o BioFlo 2000 passa dos \$30.000,00 (trinta mil dólares). Considerando o valor do Dólar a R\$1,97 (um real e noventa e sete centavos), valor de câmbio praticado no dia 20/06/2009, que tem apresentado variações mínimas nos últimos meses, calcula-se o valor de compra, em reais, equivalente a $30.000 \times 1,97 = R\$59.100,00$ (cinquenta e nove mil e cem reais).

Considerando que na maioria das vezes a compra deste produto é realizada por instituições de ensino e pesquisa e que para elas os impostos de importação são bem menos onerosos, calculou-se algo em torno de R\$10.000,00 (dez mil reais).

Portanto o valor de importação de um biofermentador fica em torno de $59.100,00 + 10.000,00 = R\$69.100,00$ podendo ser considerado o valor de R\$70.000,00 (setenta mil reais).

8.2 Estimativa de custos para desenvolvimento da ferramenta

Os preços apresentados nos subitens seguintes estão todos em moeda nacional porque todos os itens são comercializados no mercado de automação industrial brasileiro.

8.2.1 Custos do Software Scada

O custo de licença do Elipse Scada, utilizado neste trabalho, pode variar de acordo com as necessidades do sistema. Atualmente a Elipse está comercializando três licenças:

- Elipse View – Licença básica que permite comunicação com dispositivos via drivers, criação de telas, visualização de alarmes, comunicação em blocos, edição de scripts, comunicação via Dynamic Data Exchange (DDE), controle de acesso e permissões de usuários.
- Elipse MMI – Traz todas as funcionalidades do View mais registro de históricos, receitas e relatórios, controle estatístico de processos, e objetos de controle/análise de históricos.
- Elipse Pro – Além das funcionalidades do MMI, esta versão permite comunicação via TCP/IP e conexão com Bancos de Dados através de ODBC e DAO.

O preço da versão mais cara manteve-se inalterado durante o último ano estando cotado em R\$10.000,00 (dez mil reais). Será este o preço considerado para este trabalho já que esta licença permite futuras expansões do sistema podendo incluir ferramentas como conexão remota, bancos de dados, entre outras.

8.2.2 Custos dos Módulos ADAM

Para este sistema são necessários:

- 1 Módulo ADAM 4500 para conexão com a porta serial[11]
- 1 Módulo ADAM 4017 com oito entradas analógicas[12]

- 1 Módulo ADAM 4024 com quatro saídas analógicas[13]
- 1 Módulo ADAM 4052 com oito entradas digitais[14]
- 1 Módulo ADAM 4068 com oito saídas digitais[15]

Cada módulo com Entradas/Saídas analógicas custa R\$1.000,00. Já os módulos digitais custam somente R\$600,00, cada e o conversor RS-485/RS-232 é vendido por R\$400,00. Desta forma totaliza-se, com investimentos em ADAMs, R\$3.600,00 (três mil e seiscentos reais).

É importante salientar que a aplicação, da forma que está sendo apresentada, poderia ser implementada com uma quantidade menor de módulos. Durante o projeto decidiu-se manter uma reserva de entradas e saídas de forma que futuras alterações não exigissem compra de novos módulos.

8.2.3 Custos de um MicroComputador

No ramo da automação industrial é muito comum o uso de computadores robustos, com arquitetura completamente diferente dos PCs, resistentes a ambientes adversos. No caso deste trabalho, já que o processo não é considerado crítico e o ambiente não apresenta grandes ameaças, pode ser aplicado um computador comum que, graças à difusão tecnológica dos últimos anos, teve seu preço bastante reduzido podendo ser adquirido, nos dias de hoje, por um valor médio de R\$2.000,00 (dois mil reais) para uma boa configuração.

8.2.4 Custos com desenvolvimento

O Elipse Scada traz um recurso muito interessante para auxiliar na medida deste tipo de custos. Uma tela com estatísticas mostra, entre outros dados, o tempo investido na criação da aplicação aberta. O último acesso a esta tela, mostrado pela figura 13, revelou que foram dedicadas um pouco mais que vinte horas de trabalho para o fermentador se tornar operacional.



Figura 14 - Estatísticas da aplicação

Considerando que, além destas vinte horas, foram empregadas cerca de quinze horas com montagem de equipamentos, testes, elaboração de projetos, totalizam-se 35 horas trabalhadas. Sabendo que os melhores profissionais deste ramo chegam a cobrar R\$100,00 (cem reais) por hora trabalhada, chega-se ao total de $100,00 \times 35 = \text{R\$ } 3.500,00$ (três mil e quinhentos reais) investidos em mão de obra.

8.2.5 Custos com estrutura física

Um dos pontos cruciais deste projeto é a especificação da cuba de fermentação. Foi desenvolvido um modelo com capacidade de oito litros a ser confeccionado por uma empresa local, de forma a atender as especificações do ponto de vista dos recursos necessários além de possibilitar esterilização adequada. Foi elaborado um projeto em AutoCAD com detalhes mecânicos do recipiente a ser confeccionado em aço inox 316, bem como da tampa, no mesmo material, com a furação necessária para toda a parte de instrumentação. Foi incluído ainda um visor em vidro temperado com vedação adequada ao processo de esterilização para possibilitar a visualização do meio durante os processos de fermentação.

O custo ficou em torno de R\$ 10.000,00 (dez mil reais) incluindo um motor e sistema de controle de velocidade para o agitador.

8.2.6 Custos com sensores

São necessários, para o funcionamento do biofermentador, sensores de temperatura, pH e oxigênio dissolvido. É possível encontrar no mercado estes sensores com preços bem baixos, mas para esta aplicação, deve-se atentar para o fato de que os sensores não podem contaminar a biomassa e devem ser autoclaváveis. Estas exigências elevam um pouco os preços.

Fornecedores locais cotaram este conjunto de sensores a R\$2.000,00 (dois mil reais).

8.3 Comparativo financeiro

Depois da análise detalhada do custo de automação de um biofermentador chega-se a um valor aproximado de $10.000,00 + 3.600,00 + 2.000,00 + 3.500,00 + 10.000,00 + 2.000,00$ totalizando R\$31.100,00 (trinta e um mil e cem reais) que comparados aos R\$ 70.000,00 (setenta mil reais) da compra do BioFlo pode ser considerado como metade do valor de importação.

Somada a essa enorme vantagem financeira pesa a vantagem da facilidade de manutenção, baixíssimo custo de manutenção, maior número de funcionalidades e a infinitude de possibilidades de expansão podendo, este projeto, se adequar aos mais diversos cenários que possam surgir a curto, médio ou longo prazo.

9 CONCLUSÕES

Apesar de ser uma ferramenta com anos de mercado, apresentando garantias de bom desempenho no controle de processos fermentativos, os biofermentadores ainda deixam a desejar trazendo poucas possibilidades de manutenção e raras evoluções tecnológicas.

A automação industrial, caracterizada por um mercado extremamente agressivo que força uma evolução acelerada com quedas acentuadas de preço, tem se mostrado uma alternativa atraente nas mais diversas áreas de controle. Devendo ser considerada como ótima candidata na substituição dos fermentadores atuais.

Este trabalho de graduação, através da aplicação de elementos simples da automação, trouxe para o ambiente laboratorial promessas que, quando confirmadas, serão capazes de mudar a forma como é feita a pesquisa no âmbito da fermentação, disponibilizando uma gama de possibilidades e resolvendo problemas simples do dia-a-dia que encontravam-se, até então, sem solução.

10 TRABALHOS FUTUROS

Uma das grandes promessas deste trabalho é permitir alterações futuras, que se mostram tão necessárias, uma vez que a ferramenta deve evoluir de acordo com necessidades determinadas pela evolução biológica que, no caso dos microorganismos, tem se mostrado acelerada.

Novas funcionalidades já foram discutidas com os usuários do sistema e, dentre tantas, algumas foram colocadas como prioridades para um futuro próximo. Merecendo destaque:

- Evoluir o módulo WEB para promover maior interação do usuário remoto que, até então, só tem condições de visualizar as informações do reator. Com isto será possível, via internet, controle total do reator e suas funcionalidades.
- Aplicar controle Proporcional Integral Derivativo (PID) às variáveis de forma a melhorar a evolução dos parâmetros extinguindo oscilações provocadas pela inércia do processo.
- Alterar a arquitetura da aplicação para tornar possível o controle de mais de um fermentador a partir de uma única interface com o usuário possibilitando a centralização do comando de um laboratório com vários fermentadores como

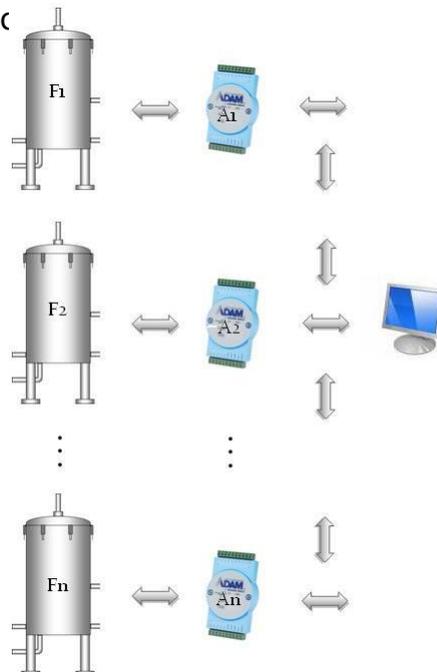


Figura 15 -Controle centralizado

Referências

- [1] "Biorreatores: produção de mudas com mais segurança e economia"
<http://www.cenargen.embrapa.br/folders/fold2005-012.pdf>, acessado em 10 de Junho de 2009.
- [2] "Principais etapas de um processo biotecnológico",
<http://qaonline.iqsc.usp.br:8180/FCKeditor/UserFiles/File/Campana/bioreatores.pdf>, acessado em 10 de Junho de 2009.
- [3] Kalil, Erika M., e Aldo JF Costa. "Desinfecção e esterilização." Acta Ortopedica brasileira, (Outubro/Dezembro 1998).
<http://people.ufpr.br/~microgeral/arquivos/pdf/pdf/Esterilizacao.pdf>, ultimo acesso em 11 de Junho de 2009
- [4] Scott Sutton, "Quality Control of Microbiological Culture Media", Pharmaceutical Microbiology Forum, Janeiro de 2006
- [5] "BioFlo 2000 Modular Benchtop Fermentor", Manual No. M1230-0050 Revision M, 3 de Maio de 2000
- [6] "pH 2000 Control Module", Manual No. M1230-0052 Revision E, 6 de Fevereiro de 1998
- [7] "D.O. 2000 Control Module", Manual No: M1230-0051 Revision E, 4 de Março de 1998
- [8] "4-20 mA Transmitters", <http://dataforth.com/catalog/pdf/an104.pdf>, ultimo acesso em 5 de Julho de 2009
- [9] "Understanding 4-20 mA Current Loops",
http://www.bapihvac.com/CatalogPDFs/I_App_Notes/Understanding_Curr_Loops.pdf, ultimo acesso em 5 de Julho de 2009
- [10] "EIA/TIA-485-A an Overview",
http://www.rs-485.com/documentation/appnotes_release1.pdf, ultimo acesso em 13 de Junho de 2009
- [11] "Datasheet of ADAM-4500",
http://download.advantech.com/ProductFile/1-1L27E/ADAM-4500_DS.PDF, ultimo acesso em 12 de Junho 2009
- [12] "Datasheet of ADAM-4017",
http://download.advantech.com/ProductFile/1-35KC1Q/ADAM-4017%20_DS.pdf, ultimo acesso em 12 de Junho de 2009
- [13] "Datasheet of ADAM-4024",
http://download.advantech.com/ProductFile/1-35KCJ1/ADAM-4024_DS.pdf, ultimo acesso em 12 de Junho de 2009

- [14] “Datasheet of ADAM-4052”,
http://download.advantech.com/ProductFile/1-35KCIT/ADAM-4052_DS.pdf, ultimo acesso em 12 de Junho de 2009
- [15] “Datasheet of ADAM-4068”,
http://download.advantech.com/ProductFile/1-35KCIT/ADAM-4052_DS.pdf, ultimo acesso em 12 de Junho de 2009
- [16] “Tecnologia das Fermentações Processos Fermentativos”
<http://dgta.fca.unesp.br/docentes/waldemar/antigos/tecfer/processosfermentativo.PDF>, ultimo acesso em 14 de Julho de 2009
- [17] “Sistema de Produção de Vinho Tinto: Fermentação”
<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Vinho/SistemaProducaoVinh/fermentacao.htm>, ultimo acesso em 14 de Julho de 2009
- [18] “A Ethernet na Automação Industrial”
<http://www.dei.uminho.pt/mei/sistreal/RT11.pdf>
- [19] “Guia do usuário de Ethernet Industrial”
http://www.belden.com.br/pdf/guia_ethernet_industrial.pdf, ultimo acesso em 14 de Junho de 2009
- [21] “The RS-232 Standard”
<http://www.omega.com/TechRef/pdf/RS-232.pdf>, ultimo acesso em 14 de Julho de 2009
- [22] M. Soltero, J. Zhang e C. Cockrill. “422 and 485 Standards Overview and System Configurations”. <http://focus.ti.com/lit/an/slla070c/slla070c.pdf>, ultimo acesso em 14 de Julho de 2009
- [23] “Profibus – Descrição técnica”.
<http://pessoal.pb.cefetpr.br/gustavo/Profibus.pdf>, ultimo acesso em 14 de Julho de 2009
- [24] “Profibus-PA Technical Information”.
http://www.samson.de/pdf_en/l453en.pdf, ultimo acesso em 14 de Julho de 2009
- [25] “A rede Bitbus”.
http://paginas.fe.up.pt/~jcard/publicacoes/provas_cientificas_jc/bitbus.html, ultimo acesso em 14 de Julho de 2009
- [26] “CAN Specification”.
<http://www.semiconductors.bosch.de/pdf/can2spec.pdf>, ultimo acesso em 14 de julho de 2009
- [27] <http://www.elipse.com.br>, ultimo acesso em 14 de Julho de 2009
- [28] <http://www.advantech.com/eautomation/remote-io/>, ultimo acesso em 14 de Julho de 2009

- [29] <http://www.opcfoudation.org>, ultimo acesso em 14 de Julho de 2009
- [30] <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=04120405>, ultimo acesso em 14 de Julho de 2009
- [31] V. Saucedo e M. Karim. " Real time optimal feeding in a fermentor using a Markov decision algorithm."
- [32] Restrepo, Alexandre, Andres González, and Sergio Orduz. "Cost effective control strategy for small applications and pilot plants: on–off valves with temporized PID controller." *Chemical Engineering Journal* 89 (2002): 101-07.
- [33] <http://www.lika.ufpe.br/>, ultimo acesso em 21 de Hulho de 2009