

Automação Laboratorial



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Informática Agropecuária
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 121

Automação Laboratorial

Jayme Garcia Arnal Barbedo

Embrapa Informática Agropecuária

Av. André Tosello, 209 - Barão Geraldo
Caixa Postal 6041 - 13083-886 - Campinas, SP
Fone: (19) 3211-5700 - Fax: (19) 3211-5754
www.cnptia.embrapa.br
sac@cnptia.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *Silvia Maria Fonseca Silveira Massruhá*

Membros: *Poliana Fernanda Giachetto, Roberto Hiroshi Higa, Stanley Robson de Medeiros Oliveira, Maria Goretti Gurgel Praxedes, Adriana Farah Gonzalez, Neide Makiko Furukawa*

Membros suplentes: *Alexandre de Castro, Fernando Attique Máximo, Paula Regina Kuser Falcão*

Supervisor editorial: *Stanley Robson de Medeiros Oliveira, Neide Makiko Furukawa*

Revisor de texto: *Adriana Farah Gonzalez*

Normalização bibliográfica: *Maria Goretti Gurgel Praxedes*

Editoração eletrônica/Capa: *Rebeca Freitas da Silva*

Imagem da capa: <https://www.google.com.br/imghp>

Secretária: *Carla Cristiane Osawa*

1ª edição on-line 2012

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Embrapa Informática Agropecuária

Barbedo, Jayme Garcia Arnal.

Automação laboratorial / Jayme Garcia Arnal Barbedo. -

Campinas : Embrapa Informática Agropecuária, 2012.

34 p. : il. ; (Documentos / Embrapa Informática Agropecuária, ISSN 1677-9274; 121)

1. Gestão laboratorial. 2. Sistema de informação laboratorial. I. Embrapa Informática Agropecuária. Título. II. Série.

CDD 004.1 (21.ed.)

Autor

Jayme Garcia Arnal Barbedo

Doutor em Engenharia Elétrica

Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária

Av. André Tosello, 209, Barão Geraldo

Caixa postal 6041 - 13083-886 - Campinas, SP

Telefone: (19) 3211-5880

e-mail: jayme@cnptia.embrapa.br

Apresentação

Os desafios envolvidos no processo de automação de um laboratório podem variar significativamente, dependendo do tipo de automação que se deseja realizar. Por exemplo, a automação pode ser pontual, por meio da inserção de ferramentas automáticas em certas etapas do processo laboratorial (por exemplo, substituindo a contagem manual de objetos pela contagem por um programa de computador), ou pode ser mais geral, o que normalmente envolve a aquisição de um dentre os muitos sistemas de automação existentes no mercado. No primeiro caso, o impacto nas atividades cotidianas do laboratório tende a ser limitado, levando a desafios proporcionalmente menores. No segundo caso, o impacto sobre a maneira como as coisas são feitas no laboratório tende a ser maior, levando a um número e a uma complexidade de problemas proporcionalmente maior. O grau ótimo de automação depende das configurações do laboratório e considerações de custo, volume de atividades, flexibilidade, tempo para instalação, espaço disponível, disponibilidade de pessoal técnico especializado, segurança e confiabilidade.

Outro fator que influencia os desafios envolvidos no processo de automação é se este é físico ou virtual. Se a automação é realizada exclusivamente pelas ferramentas computacionais, as mudanças no arranjo físico do laboratório serão pequenas ou inexistentes. No caso da automação envolver a aquisição de novos equipamentos, isso poderá ter um impacto significativo no arranjo físico existente, o que pode até mesmo inviabilizar o processo caso o espaço físico disponível seja exíguo.

Com tal grau de variação nas condições sob as quais o processo de automação deve ser realizado, é muito difícil encontrar um conjunto único de regras a serem seguidas. No contexto da Embrapa, em particular, esse problema se torna ainda mais complexo, dada a heterogeneidade dos laboratórios existentes nas diversas unidades. Nesse contexto, o objetivo deste texto é o de fornecer um guia geral para a automação de laborató-

rios, onde procurou-se fazer com que as informações e as recomendações apresentadas sejam aplicáveis ao maior número possível de casos. Sendo um texto geral, problemas específicos não são tratados, ou então são tratados de maneira superficial para exemplificar os conceitos apresentados. Portanto, é importante ter em mente que laboratórios com certas características particulares poderão necessitar de estudos específicos e utilizar uma metodologia própria para a automação. É importante notar ainda que algumas das informações e recomendações apresentadas no texto são específicas de um determinado tipo de automação (por exemplo recomendações com relação ao arranjo físico). O contexto no qual essas informações são colocadas normalmente será suficiente para que o leitor identifique a situação a que elas se referem. Nos casos em que isso não ocorre, a situação na qual as informações se aplicam será indicada explicitamente.

Kleber Xavier Sampaio de Souza

Chefe-Geral

Embrapa Informática Agropecuária

Sumário

| | |
|---|-----------|
| Introdução | 9 |
| Sistemas de Gerenciamento de Informações Laboratoriais | 11 |
| Armazenagem | 14 |
| Preparação | 15 |
| Transporte | 15 |
| Análise..... | 16 |
| Tendências da automação laboratorial | 17 |
| Inteligência | 17 |
| Garantia de Qualidade | 17 |
| Padronização | 17 |
| Miniaturização | 18 |
| Automação Modular | 18 |
| Imageamento | 19 |
| Análise de Dados | 19 |
| Benefícios da Automação..... | 20 |
| Implantação..... | 23 |
| Fatores a Serem Considerados | 23 |
| Avaliação das Alternativas | 26 |
| Fatores chave para o sucesso do processo de automação..... | 29 |
| Conclusões | 33 |
| Referências | 34 |
| Literatura recomendada..... | 34 |

AUTOMAÇÃO LABORATORIAL

Jayme Garcia Arnal Barbedo

Introdução

Qualquer laboratório pode se beneficiar da automação, mas determinar o que deve ser automatizado e qual o grau dessa automação deve ser feito caso a caso, e nem sempre é uma tarefa simples. Como comentado anteriormente, as opções variam desde a automação pontual de um ou alguns poucos processos, até a adoção de sistemas completamente integrados (GUREVITCH, 2004).

O grau de automação mais adequado para cada laboratório depende de três fatores fundamentais: custo, quantidade de amostras processadas (throughput) e flexibilidade. O custo sempre será um ponto central, independentemente do tipo de laboratório. Os outros dois fatores são, normalmente inversamente proporcionais, então é conveniente que se escolha um deles como prioritário. No caso de laboratórios de pesquisa, como os da Embrapa, flexibilidade tende a ser mais importante que velocidade de processamento. Além desses três fatores, existem outros que podem assumir diferentes graus de importância dependendo do tipo de laboratório, como segurança, confiabilidade, espaço físico requerido, proporção de testes de rotina, etc.

Embora as atividades de cada laboratório possam variar significativamente, é possível resumi-las num esquema genérico, como mostrado na Figura 1.

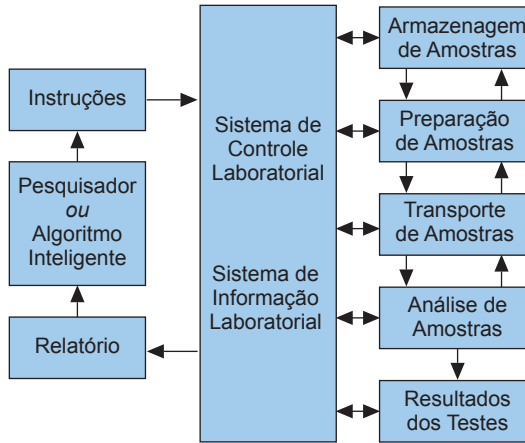


Figura 1. Esquema de funcionamento de um laboratório.

Fonte: adaptado de Precarn (2005).

Cada uma das caixas na figura representa uma etapa na qual automação pode ser introduzida. O lado esquerdo da Figura 1 mostra as fontes de instruções para realização dos testes, no caso de laboratórios de pesquisa, esse papel normalmente fica a cargo do pesquisador. Nesse contexto, os relatórios têm como objetivo subsidiar as decisões. Com a sofisticação dos sistemas de automação, existe a possibilidade de se automatizar parcialmente a geração das instruções, nessa situação, o papel do pesquisador seria o de revisar a lista de instruções geradas, gerando ele mesmo as instruções apenas em situações mais complexas ou no caso de mudanças mais radicais nas operações a serem realizadas.

O grande retângulo central representa o programa que controla as operações dos equipamentos automáticos e que mantém o fluxo e armazenamento de informações. Dada a crescente sofisticação dos equipamentos e o aumento do volume de informação a ser processado e armazenado, esse programa tem se tornado cada vez mais importante.

No lado direito da Figura 1 estão as etapas de processamento das amostras, cada uma dessas etapas pode ser automatizada separadamente ou em conjunto com as demais, dependendo do grau de automação adotado.

As subseções a seguir apresentam algumas das diferentes tecnologias que podem compor um sistema de automação laboratorial.

Sistemas de Gerenciamento de Informações Laboratoriais

Muitas pessoas, ao falar de automação laboratorial, estão na verdade se referindo aos sistemas de gerenciamento de informações laboratoriais também conhecidos como laboratório de sistema de gestão da informação – Laboratory Information Management System (LIMS). Esses sistemas são baseados em programas de computador e oferecem um conjunto de características-chave que apoiam as operações de um laboratório moderno. Essas características incluem suporte a rastreamento de dados e fluxo de trabalho, arquitetura flexível, interfaces de trocas de dados, entre outros. As características e usos dos LIMS vêm evoluindo ao longo dos anos, de simples sistemas para rastreamento de amostras, a uma ferramenta de planejamento de recursos que gerencia múltiplos aspectos da informática laboratorial.

Embora haja algumas diferenças conceituais entre os LIMS e os sistemas de informação laboratorial - Laboratory Information System (LIS), a evolução dessas tecnologias tem reduzido consideravelmente a diferença entre elas, a ponto de ser possível usar esses termos de maneira intercambiável. Por esse motivo, não será feita aqui uma distinção entre eles.

Devido às profundas diferenças entre laboratórios, as funcionalidades que um LIMS deve possuir variam significativamente. Algumas funções básicas estão sempre presentes, mas ferramentas mais específicas devem ser determinadas e configuradas tendo como base as características particulares de cada laboratório. É importante observar também que a percepção do que é o LIMS e do que ele deve conter varia muito de pessoa para pessoa, especialmente se estas possuem diferentes formações e funções dentro do laboratório. Por esse motivo, é importante que todos os membros da equipe sejam envolvidos no processo de escolha e implantação do LIMS, sendo também desejável que haja ao menos uma pessoa com uma visão mais global, que seja capaz de considerar todas as diferentes visões e transformá-las num conjunto único de necessidades.

Os LIMS da atualidade incluem muito mais funcionalidades do que os pioneiros desenvolvidos na década de 1970, os quais se ocupavam mais do gerenciamento de amostras. Hoje, pode-se encontrar funcionalidades

como gerenciamento de dados de ensaios, mineração de dados, análise de dados, entre outros, bem como a integração entre eles. Assim, em muitos casos é possível realizar todo o gerenciamento laboratorial usando um único pacote computacional.

Funcionalidades

- Gerenciamento de amostras: esta tem sido a função central dos LIMS desde seu surgimento. O processo normalmente é iniciado quando uma amostra é recebida pelo laboratório, momento no qual esta é registrada. Do ponto de registro em diante, o processo de rastreamento varia significativamente de acordo com as atividades centrais de cada laboratório. Por esse motivo, os LIMS normalmente oferecem um alto grau de configurabilidade, a fim de poderem se adaptar a cada ambiente individual.
- Integração de instrumentos e aplicações: muitos dos LIMS atuais incluem formas de integração com os instrumentos e aplicações laboratoriais. Por exemplo, eles podem criar arquivos de controle que são enviados aos instrumentos, direcionando sua operação sobre algum item físico (por exemplo, uma placa contendo amostras). O LIMS pode também importar os resultados, a fim de extrair dados para controle de qualidade da operação realizada sobre a amostra. Alguns LIMS já oferecem a habilidade de importar e gerenciar dados relativos a resultados de ensaios.
- Troca de dados eletrônicos: a quantidade cada vez maior de dados gerados em laboratórios tem levado a aperfeiçoamentos da maneira como os LIMS lidam com trocas de dados eletrônicos. Especial atenção tem sido dispensada ao gerenciamento dos dados de entrada e saída, à importação e exportação de dados coletados remotamente e à integração com os novos dispositivos computacionais. Uma das características mais importantes dos LIMS mais recentes é a capacidade de transferir arquivos de dados em formatos largamente utilizados, como Microsoft Excel, além de serem compatíveis com bases de dados padronizadas como Oracle, SQL e Microsoft Access.
- Outras funções: existe um grande número de outras operações que podem ser gerenciadas pelos LIMS, dentre as quais pode-se citar: relatórios, rastreamento de tempo, gerenciamento de auditoria, controle de qualidade, gerenciamento de pessoal e carga de trabalho, gerenciamento de metodologia, gerenciamento de equipamentos e estoques, calibração e manuten-

ção de instrumentos, gerenciamento de documentos, cadeia de custódia, geração e aplicação de códigos de barras, etc.

Arquiteturas

Existem quatro tipos de arquiteturas principais pelas quais as funcionalidades dos LIMS podem ser entregues:

- Arquitetura “Thick-Client”: esta é uma arquitetura cliente/servidor mais tradicional, com parte do sistema residindo no computador ou estação de trabalho do usuário, e o resto em um servidor. O programa LIMS é instalado no computador cliente, o qual realiza o processamento dos dados. Esse, por sua vez, passa as informações ao servidor, o qual tem como propósito primário armazenar dados. A maior parte das mudanças e atualizações acontecem no lado do cliente. As principais vantagens deste tipo de arquitetura é a maior velocidade de processamento (o processamento é realizado no lado do cliente, não do servidor), maior segurança (só podem acessar o servidor aqueles que possuem o programa cliente instalado) e maior possibilidade de interatividade e personalização (à custa de uma curva de aprendizado mais longa). Como desvantagens, pode-se citar a necessidade de computadores mais robustos do lado do cliente, atualizações demoradas e ausência de funcionalidades acessadas por meio de um navegador de Internet – este último problema pode ser contornado pela instalação de “add-ons”.

- Arquitetura “Thin-Client”: esta é uma arquitetura mais moderna, oferecendo acesso a todas as funcionalidades do sistema pelos navegadores de internet. O programa LIMS propriamente dito reside em um servidor, o qual alimenta e processa informação sem salvá-la no disco rígido do usuário. Quaisquer mudanças e atualizações são realizadas no lado do servidor, de modo que todos os usuários finais veem e são afetados pelas mudanças realizadas. Assim, um LIMS do tipo “thin-client” não deixará nenhuma “pegada” no computador cliente, sendo que a única responsabilidade do usuário é a de manter a integridade do navegador. A maior vantagem deste sistema é o custo comparativamente mais baixo em termos de propriedade e manutenção. As principais desvantagens são a necessidade de se acessar o servidor em tempo real, aumento do tráfego de rede e um número um pouco menor de funcionalidades. Estão começando a surgir soluções “thin-client” oferecidas como serviço software-as-service (SaaS). Essa

abordagem implica em menos custos e menos pressão sobre a infraestrutura, porém são menos configuráveis, sendo portanto adequadas apenas em situações menos exigentes.

- Arquitetura habilitada para internet (web-enabled): esta nada mais é que uma arquitetura “thick-client” habilitada para uso com navegador de internet. Neste caso, o programa instalado no lado do cliente tem a funcionalidade adicional de permitir ao usuário acessá-lo através do navegador. A principal vantagem deste tipo de sistema é que o usuário final pode acessar os dados tanto no lado do cliente quanto no lado do servidor. Como no caso “thick-client”, atualizações no programa devem ser propagadas a todas as máquinas clientes. A principal desvantagem é o aumento de custos associado às funcionalidades adicionais e à necessidade de se ter um servidor sempre aberto a acesso.

- Arquitetura baseada na Internet (web-based): este é um híbrido entre as arquiteturas “thick-client” e “thin-client”. Apesar de a maior parte do trabalho no lado do cliente ser feita por um navegador, o LIMS também requer suporte adicional por parte da tecnologia “.NET Framework” instalada na máquina cliente. O resultado final é um processo que é visível ao usuário final pelo navegador, porém essa visibilidade é limitada, já que um processamento do tipo “thick-client” deve ser executado ao fundo. Neste caso, a arquitetura baseada na internet tem a vantagem de fornecer mais funcionalidades por uma interface mais amigável. Como desvantagens, têm-se os custos adicionais relacionados à administração e ao suporte, bem como funcionalidade reduzida em dispositivos computacionais móveis, como “tablets” e “PDAs”.

Armazenagem

Em laboratórios de pesquisa, os testes são conduzidos em amostras armazenadas em bibliotecas de amostras e recuperadas conforme necessário. Essas bibliotecas podem conter um número enorme de amostras e, à medida que esse número cresce, o sistema de ensaios vai se tornando mais complexo. Além disso, vem aumentando a necessidade de se armazenar os mais diferentes tipos de materiais em recipientes com as mais variadas dimensões, formatos e funções.

Portanto, armazenamento e recuperação sistemáticos de amostras vem se tornando cada vez mais complexo, o que aumenta consideravelmente a probabilidade de que erros ocorram. Num contexto como esse, o laboratório pode se beneficiar significativamente com a implantação de um sistema automático para realizar essas tarefas. As tarefas relacionadas ao armazenamento incluem:

Coleta de amostras: aquisição de amostras, diversidade estrutural, armazenamento físico, manipulação física, pureza das amostras e estabilidade das amostras.

Gerenciamento de materiais: logística, tecnologia de informação, controle de qualidade e sistemas de integração.

Instrumentação e automação laboratorial: preparação, recuperação e seleção das amostras.

Preparação

O estágio de preparação é, normalmente, o que apresenta maior grau de automação. As tarefas que podem ser automatizadas incluem: identificação e classificação de amostras, gravação de dados no LIMS, centrifugação, remoção de tampa e disposição das amostras nos dispositivos de análise. As tarefas de preparação devem garantir:

Rastreabilidade - registro de tarefas, tempos e condições ambientais.

Segurança - isolamento de materiais perigosos, proteção contra quebra.

Manuseio de materiais - detecção de volume, habilidade de usar tubos de diferentes tamanhos, compatibilidade com o armazenamento das amostras.

Transporte

O transporte consiste no carregamento e descarregamento das amostras entre as etapas de armazenamento, preparação e análise. Isso pode ser

alcançado por meio do uso de trilhos lineares, empilhadeiras e braços robóticos cilíndricos. A escolha por um ou outro sistema de transporte depende do compromisso entre volume processado e flexibilidade na adaptação a mudanças na configuração do sistema.

Análise

Após a seleção e preparação, as investigações podem ser realizadas através de sistemas automáticos ou por métodos com baixos níveis de automação. Dentre os equipamentos automáticos que podem ser utilizados nesta etapa, pode-se citar:

Estação de trabalho para pipetagem.

Detector de resultado - fluorescência, bioluminescência, radioatividade, etc.

Lavadores: para lavagem rápida das placas usando as substâncias apropriadas.

Dispenser - para pipetagem em massa.

Seladores - selagem automática de microplacas com uma camada protetora.

Rotuladores e leitores de códigos de barras.

Incubadoras - fornecem um ambiente com temperatura e umidades adequados.

Autoamostradores - injetam amostras nos instrumentos de análise.

A cultura de células é uma tarefa comum em laboratórios e pesquisa. Uma incubadora de culturas celulares deve incluir controle atmosférico, avaliação de pH, nutrientes e concentração de dejetos, e um sistema de informação capaz de gerenciar operações, especialmente o manuseio de recipientes (TRIAUD et al., 2003).

Tendências da automação laboratorial

Inteligência

Nos últimos tempos, o foco da automação laboratorial tem se deslocado do movimento físico de amostras entre dispositivos em direção ao controle e interpretação das grandes quantidades de dados envolvidos. Em laboratórios de pesquisa, cada vez mais se observa que o principal gargalo nas atividades é a análise dos dados. Alguns sistemas inteligentes já começam a emular o processo realizado por especialistas humanos, tornando-os capazes de inspecionar resultados, avaliar a qualidade e potencialidade dos dados e identificar possíveis direções a serem tomadas na condução das pesquisas (NICOLAOU, 2001). Embora este tipo de tecnologia ainda esteja em sua infância, os potenciais ganhos que ela pode proporcionar fazem com que essa seja, provavelmente, uma tendência a ser incorporada por um número cada vez maior de laboratórios.

Garantia de Qualidade

A automação deve visar não somente o aumento da produtividade e diminuição dos custos, mas também a qualidade é fator fundamental para que a pesquisa realizada possa ser considerada de excelente qualidade que é composta por diversos aspectos:

Equipamentos devem ser ajustados de maneira apropriada.

Amostras devem ser protegidas de contaminação e degradação.

Amostras devem ser identificadas e rotuladas de maneira confiável.

Resultados devem ser registrados, gravados e protegidos de maneira adequada.

Padronização

O sistema de automação laboratorial ideal deveria combinar os melhores componentes de sistemas oferecidos por diferentes fornecedores. Em

muitos casos, isso não somente é desejável como necessário, já que muitos fornecedores se especializam em certos aspectos particulares da automação, não havendo uma solução mais geral. Contudo, tornar isso possível é uma tarefa complicada dada a ausência de normas e padrões voltados à operação e à comunicação de componentes.

Está em andamento uma mobilização por parte da comunidade de automação laboratorial no sentido de desenvolver padrões abertos em linguagens de programação e protocolos de comunicação, a fim de melhorar a interoperabilidade de dispositivos e programas dentro do sistema.

Miniaturização

A tendência de miniaturização está presente nas mais diversas áreas científicas e tecnológicas, e dentro do laboratório não é diferente. A miniaturização tem resultado em novas tecnologias, como configurações de microplacas mais densas, o que possibilita a manipulação mais adequada de materiais em nível molecular (proteínas, DNA, peptídeos, nucleotídeos, etc.) e o transporte de volumes de fluidos da ordem de nano e picolitros.

Com o desenvolvimento dessas tecnologias, a automação laboratorial poderá ser condensada em algumas poucas peças de equipamentos, reduzindo a necessidade de transporte das amostras entre estações de trabalho.

Automação Modular

Sistemas modulares de automação laboratorial (células de trabalho) vêm sendo desenvolvidos nos últimos anos como uma alternativa aos sistemas de automação laboratorial totalmente integrados. Eles permitem um uso mais flexível do espaço e maior liberdade de posicionamento das funções. Dentre os motivos pelos quais este tipo de abordagem vem sendo preferido, pode-se citar:

Tempo de implantação: células de trabalho podem, em geral, ser configuradas, instaladas e operacionalizadas numa fração do tempo que seria gasto num sistema completo.

Flexibilidade: sistemas integrados de larga escala podem ser altamente efetivos na execução de determinadas tarefas, mas sua reconfiguração para lidar com diferentes tipos de ensaio é, em geral, proibitivamente cara ou, em alguns casos, até mesmo impossível. Células de trabalho podem ser reconfiguradas com muito mais facilidade.

Valor do investimento: sistemas completos podem ter custo muito elevado, não só pelo sistema em si, mas pelas exigências em termos da configuração laboratorial que eles representam. Células de trabalho são menos exigentes, possuem custo de manutenção mais baixo e podem ser implantadas em etapas, distribuindo os custos por um tempo mais longo.

De uma maneira geral, a opção por sistemas completos é mais adequada para grandes laboratórios, onde o volume de testes e material processado é muito grande. Em particular, se tempo é considerado o principal fator, esta é provavelmente a melhor opção. No caso de laboratórios menores e da maioria dos laboratórios de pesquisa, a opção modular possui grande probabilidade de ser a mais efetiva.

Imageamento

O uso de imagens digitais vem adquirindo cada vez mais importância nos trabalhos laboratoriais, especialmente com o crescimento do uso de imagens em alta resolução. Assim, a demanda por novas ferramentas para captura inteligente das imagens e para a análise automática das imagens capturadas tende a crescer rapidamente. Além disso, imagens com resoluções cada vez maiores exercerão crescente pressão em termos de capacidade de armazenamento, o que não deve representar um problema sério dada a rápida evolução e a queda no custo dos dispositivos de armazenamento de dados.

Análise de Dados

Com o crescimento da quantidade e da variedade de dados coletados, os bancos de dados vêm adquirindo dimensões gigantescas. Por esse motivo,

a análise e o cruzamento de dados vêm se tornando cada vez mais complexos. Embora estejam disponíveis ferramentas computacionais capazes de auxiliar nessa tarefa, elas estão se tornando defasadas muito rapidamente, especialmente pelo fato destas serem, em geral, projetadas para lidar com problemas genéricos, não sendo capazes de tratar adequadamente muitas das especificidades encontradas em pesquisas laboratoriais. Espera-se, num primeiro momento, que ferramentas mais especializadas sejam desenvolvidas e disponibilizadas. Num futuro mais distante, há a expectativa de que surjam programas inteligentes capazes de informar novas situações e que haja uma adaptação a elas.

Benefícios da Automação

Existem diversos motivos pelos quais pode ser interessante investir na automação de processos laboratoriais. Alguns exemplos:

Melhoria da qualidade: em muitos casos, os sistemas automáticos podem oferecer resultados mais confiáveis do que aqueles obtidos por meio de processos manuais. Em particular, computadores e sistemas robóticos não estão sujeitos a fatores que sabidamente levam a erros em processos realizados por humanos, como distrações externas e fadiga.

Segurança dos empregados: muitos processos laboratoriais demandam o manuseio e manipulação de substâncias tóxicas, infecciosas, radioativas, etc. O risco potencial de se lidar com tais substâncias pode ser significativamente minimizado se ao menos parte do processo manual for substituído por um processo automático.

Melhoria da eficiência do laboratório: sistemas automáticos de gerenciamento laboratorial podem ser muito úteis para reduzir redundâncias e evitar falhas de comunicação, especialmente em casos em que muitas pessoas estão envolvidas e as atividades são altamente interconectadas – quanto mais complexas (do ponto de vista gerencial) são as atividades desenvolvidas em um laboratório, mais evidente é a necessidade do uso de algum tipo de ferramenta de gerenciamento.

Aumento da velocidade com que as atividades são completadas: enquan-

to alguns processos não podem ser acelerados, como o crescimento de uma colônia de bactérias numa placa, outros podem ser significativamente acelerados pelo uso de ferramentas de automação, como por exemplo a contagem do número de colônias de bactérias numa placa. Em particular, atividades tediosas e/ou repetitivas, as quais levam à fadiga e queda de rendimento das pessoas envolvidas, muitas vezes podem ser realizadas automaticamente de maneira rápida e sem esforço.

A Figura 2 apresenta uma visão mais geral dos benefícios da automação. Uma breve explicação a respeito de cada quadro é apresentada na sequência.

Começando pelo quadrante superior direito da Figura 2, pode-se observar que o processo de investigação científica pode se beneficiar da automação principalmente pelo aumento da velocidade do processo: como cada experimento leva menos tempo para ser processado, mais combinações podem ser testadas dentro do prazo disponível; com isso, novos “insights”, ideias e abordagens podem surgir. Adicionalmente, a redução da quantidade de tarefas repetitivas e tediosas faz com que haja mais tempo disponível para tarefas intelectualmente mais desafiadoras, como a análise de dados e a elaboração de novas ideias e linhas de pesquisa.

O quadrante inferior direito está intimamente ligado ao anterior, já que ele identifica os pontos onde tempo pode ser ganho: a) a automação pode permitir a paralelização de experimentos, ou seja, ao invés dos experimentos serem conduzidos numa sequência temporal, eles podem ser realizados em paralelo, sem com isso aumentar a probabilidade de erros; b) as amostras podem ser analisadas muito mais rapidamente, sem riscos de estafa e aumento de erros; c) múltiplas medidas podem ser coletadas simultaneamente; d) a combinação de todos esses fatores leva à obtenção mais rápida de respostas.

O quadrante superior esquerdo indica, basicamente, que várias partes do fluxo de trabalho podem ser controladas por uma única ferramenta ou aparelho, melhorando sua eficiência. Por exemplo, existem equipamentos para sequenciamento genético que fazem, automaticamente, a quantificação e controle de qualidade das amostras e a amplificação, quantificação e controle de qualidade da biblioteca, levando a um sequenciamento de melhor qualidade.

Por fim, o quadrante inferior esquerdo, basicamente, ilustra os ganhos que se pode obter com a eliminação da possibilidade de erros humanos. Isso

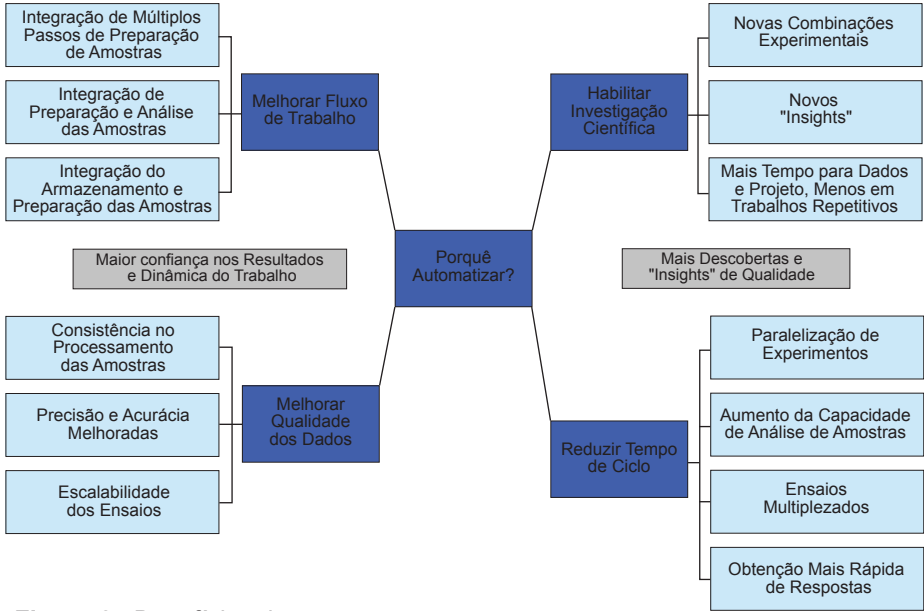


Figura 2. Benefícios da automação.

não significa que um sistema automático não possa cometer erros, porém, se calibrados corretamente, tais sistemas resultarão em menos erros e, mais importante, a distribuição de tais erros pode ser modelada através de métodos estatísticos, o que pode diminuir significativamente seu impacto.

Muitas vezes a adoção da automação é vista como uma ameaça ao trabalho das pessoas. Embora essa ameaça seja, em alguns casos, real, os benefícios que a automação pode trazer aos trabalhadores são significativos. No caso de laboratórios, em particular, uma implantação criteriosa da automação pode levar a uma melhoria significativa das condições de trabalho: mais segurança, menos tarefas repetitivas e tediosas, e mais tempo para o desenvolvimento de atividades intelectuais como análise de dados, geração de novas pesquisas, e publicação dos trabalhos realizados.

Por outro lado, se o processo de automação não for bem pensado e gerido, ele pode, além de não trazer benefícios, gerar insatisfação e perda de eficiência. As seções a seguir apresentam informações cujo objetivo é o de subsidiar o processo de decisão do que automatizar e de como conduzir o processo.

Implantação

Fatores a Serem Considerados

Como comentado anteriormente, o processo de automação laboratorial exige certos cuidados a fim de evitar o surgimento de problemas e a perda de eficiência do laboratório. A profundidade da análise e a seriedade dos cuidados a serem tomados dependem fortemente do grau e tipo de automação que se pretende adotar. Se a intenção é automatizar um processo pontual, a fim de eliminar um gargalo local ou eliminar alguma tarefa manual tediosa, a possibilidade de se ter algum efeito adverso é baixa, especialmente se poucas pessoas forem afetadas pela mudança e a implantação tiver baixo custo. Neste caso, uma breve análise e uma reunião entre as pessoas potencialmente afetadas pela mudança é, na maior parte dos casos, suficiente. Por outro lado, mudanças mais profundas, que envolvam maior número de pessoas e/ou possuam alto custo de implantação, exigem estudos mais profundos e um processo de decisão mais cuidadoso.

Existem diversos fatores a serem considerados na decisão do que deve ou não ser automatizado, e qual sistema de automação deve ser utilizado. Alguns desses fatores são apresentados a seguir.

Avaliação das necessidades e definição das metas

Este é, provavelmente, o fator mais importante a ser considerado. Se o laboratório funciona adequadamente, a carga de trabalho por indivíduo não é excessiva, a quantidade de erros é pequena e não se prevê nenhuma expansão significativa na quantidade de processos ou no escopo do laboratório, então é possível que a automação não seja realmente necessária. Por outro lado, se os membros do laboratório estão sobrecarregados, a quantidade de tarefas repetitivas e tediosas é grande e a quantidade de erros cometidos está acima dos limiares aceitáveis, então a automação de ao menos algumas das atividades e processos pode ser recomendável.

Muitas referências na literatura apontam o compromisso qualidade versus número de amostras a serem processadas como um dos principais fatores a serem considerados durante a tomada de decisão. A Figura 3 ilustra tal compromisso.

A Figura 3 indica que, ao se chegar a um certo número de amostras a serem processadas, o processo manual deixa de atender aos critérios de qualidade, fazendo com que a automação se torne necessária. Em outras palavras, a automação permite que se mantenha a qualidade dos resultados obtidos pelo laboratório, ao mesmo tempo que se aumenta sua capacidade de processamento.

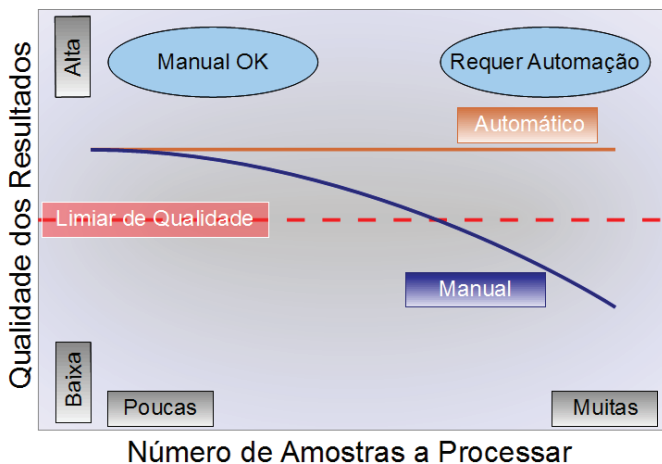


Figura 3. Ilustração do compromisso qualidade versus número de amostras.

Custos

A relação custo/benefício da automação é muito importante na tomada de decisão. Numa empresa privada, esse custo/benefício normalmente é traduzido pelo tempo de retorno de investimento. Numa empresa pública de pesquisa, como a Embrapa, essa relação é mais subjetiva, onde devem ser analisados fatores como o custo absoluto de se implementar a automação, a melhora de produtividade esperada, o aumento da segurança, a melhora da satisfação, etc, de forma a se construir uma visão mais global e se tomar uma decisão mais embasada.

Problemas de manuseio e logística dos equipamentos e materiais

As atividades de um laboratório normalmente estão atreladas a uma certa logística e a um protocolo de manuseio dos materiais que pode mudar significativamente com a automação. Deve-se observar se essas mudanças não serão prejudiciais. Deve-se também observar que os novos equipamentos exigirão a adoção de uma logística que pode, sob certas condições, ser impraticável.

Limitação de espaço e instalações

Se o processo de automação envolve apenas a instalação de novos programas computacionais, o impacto no arranjo físico do laboratório é mínimo. Contudo, se a automação envolve a instalação de novos equipamentos, é necessário conhecer todas as informações a respeito das dimensões desses equipamentos e do espaço físico disponível no laboratório. Em muitos casos, faz-se necessária a ampliação do laboratório, ampliação esta que pode ser arquitetonicamente impossível, ou de custo tão elevado a ponto de tornar todo o processo impraticável.

Fator humano

A implantação de um sistema de automação depende de sua integração adequada ao dia a dia e à realidade da equipe do laboratório. Esse processo de integração não é simples, leva tempo, e pode fracassar caso os potenciais problemas não sejam identificados a priori. Portanto, convém determinar se a automação ainda é vantajosa frente ao esforço que será necessário para que a integração entre o sistema automático e as pessoas envolvidas se complete de maneira satisfatória. Vale ressaltar novamente que a automação pontual de processos isolados normalmente tem impacto limitado, de modo que os problemas aqui apontados estão mais relacionados à implantação de sistemas automáticos mais amplos. Mais detalhes a respeito dos desafios envolvidos no processo e possíveis soluções são apresentados na seção sobre a implantação.

Presença de gargalos e fatores que causam perda de tempo

A eficiência de um laboratório muitas vezes é comprometida pela presença de um ou mais gargalos que acabam por atrasar todo o trabalho. A auto-

mação pode ser, em muitos casos, a solução mais adequada para eliminação desses gargalos. Na maioria das vezes, a automação de um ou alguns poucos dos processos que causam o gargalo (automação pontual) resolve o problema. Porém, em alguns casos pode-se chegar à conclusão de que o problema é sistêmico, o que demandaria uma solução mais radical. Por esse motivo, é importante conduzir uma análise cuidadosa sobre as causas do gargalo, a fim de evitar a adoção de uma solução inadequada.

Existência de alternativas: reengenharia de processos manuais

Às vezes os problemas que acometem um laboratório podem ser resolvidos pela reengenharia dos processos, simples mudanças na maneira como as coisas são feitas podem ter um impacto considerável. Na verdade, a otimização dos processos é recomendável até mesmo nos casos em que a automação será implementada, uma vez que a automação de um processo ruim resulta simplesmente em um processo ruim automatizado.

Avaliação das Alternativas

Uma vez que se decida pela automação, deve-se escolher qual sistema será implantado e/ou quais equipamentos serão adquiridos. Existem três fatores básicos a serem considerados no momento de se determinar a melhor escolha: qualidade, custo e tempo (de implantação e aprendizado). Deve-se escolher um desses como o mais importante, porque isso determinará os outros dois fatores:

Alta qualidade quase sempre acarretará em aumento do custo e do tempo de implantação e aprendizado.

Baixo custo quase sempre acarretará perda de qualidade e aumento do tempo.

Tempo de implantação e aprendizado curto quase sempre acarretará perda de qualidade e aumento dos custos.

Além desses fatores gerais, existem outros mais específicos que devem também ser levados em conta no momento de decidir pelo sistema mais adequado. Alguns fatores importantes:

Integração com o restante do fluxo de trabalho: quando se deseja substituir um certo processo manual por um automático, é importante observar não apenas se a ferramenta automática realiza a tarefa satisfatoriamente, mas também se sua integração com os processos anteriores e posteriores dentro do fluxo de trabalho pode enfrentar algum problema. Em outras palavras, mesmo no caso da implantação de um processo automático pontual limitado, é importante que se tenha uma visão sistêmica a fim de evitar o surgimento de gargalos relacionados à sua interface com as demais tarefas realizadas no laboratório.

Evolução futura do laboratório: laboratórios de pesquisa frequentemente operam nas fronteiras do conhecimento. Como resultado, novas linhas de pesquisa e novas atividades podem ser iniciadas dentro de um espaço de tempo relativamente curto. Nesse contexto, é desejável que um sistema de automação tenha uma capacidade inerente de se adaptar a novas situações, a fim de se evitar que este tenha que ser trocado pouco depois de ter sido implantado, simplesmente pelo surgimento de uma nova situação. É importante saber também se, no caso de um aumento considerável do volume de atividades realizadas pelo laboratório, o equipamento será capaz de operar em paralelo com outros equipamentos similares, ao invés de ter que ser trocado por um de maior capacidade.

Confiabilidade do sistema automático: existem várias maneiras de se medir a confiabilidade de um sistema de automação. Por exemplo, tem-se o “uptime” (período em que uma máquina fica operacional), tempo médio entre falhas, número médio de operações entre falhas, número médio de amostras analisadas entre falhas, etc. É importante observar que não existem sistemas 100% confiáveis. É importante ainda perceber que vários fatores podem influenciar a confiabilidade, como características ambientais do laboratório, habilidade e experiência do usuário, tipo de aplicação, etc.

Flexibilidade do sistema: este fator está intimamente ligado aos demais, e diz respeito à capacidade do sistema automático de se adaptar a variações nas demandas do laboratório. Um erro comum cometido na automação laboratorial é a implantação de um sistema tão rígido, que todo o processo laboratorial deve se amoldar a ele – na verdade, é o sistema que deve se adaptar ao processo.

Versatilidade do sistema: a versatilidade diz respeito à capacidade do sistema de realizar diversos tipos de tarefas e se adaptar a diferentes configurações das tarefas a ele submetidas. É importante ressaltar que

frequentemente é possível encontrar sistemas altamente flexíveis e versáteis. Contudo, estas características são quase sempre associadas a custos mais altos, tempos de entrega mais elevados e menor confiabilidade. Novamente, é necessário determinar o que é mais importante no contexto do laboratório, a fim de se realizar uma escolha adequada.

Usabilidade do sistema: este fator diz respeito à facilidade de aprendizagem e uso do sistema. Este é um dos fatores mais difíceis de se avaliar, já que cada usuário tem suas preferências pessoais, diferentes formações e expectativas, etc. Portanto, é conveniente que os potenciais usuários estejam envolvidos em todas as etapas do processo, a fim de determinar quais características de usabilidade são mais importantes naquele contexto particular. Dentre os fatores que influenciam a usabilidade do sistema, pode-se citar: segurança, ergonomia, facilidade de limpeza, facilidade de manutenção, configurabilidade, interface com o usuário, existência de tutoriais amigáveis, etc. Por fim, tem-se observado que, se ao menos um dos integrantes da equipe tem conhecimento prévio da operação do sistema, sua integração ao dia a dia do laboratório é significativamente facilitada.

Uma vez que o conjunto de possíveis sistemas a serem implantados tenha sido delimitado, uma comparação mais fina deve ser realizada. O que se recomenda nesses casos é o uso de uma matriz de decisão onde, para cada alternativa, os fatores envolvidos são pontuados e ponderados de acordo com sua importância. Um modelo de matriz de decisão é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Exemplo de matriz de decisão.

| Fator | Peso | Solução1 | Nota | Solução2 | Nota |
|--------------------------|------|--|------|----------------------|------|
| Facilidade manutenção | 2 | Fácil | 9 | Média | 7 |
| Facilidade de uso | 5 | Aprendizado demorado, após uso simples | 8 | Fácil | 9 |
| Rapidez de resultados | 4 | Média | 6 | Rápida | 8 |
| Flexibilidade do sistema | 2 | Sistema aberto | 10 | Sistema proprietário | 5 |
| Custo | 5 | Baixo | 9 | Alto | 4 |
| Nota total | | 147 | | 121 | |

O que essa matriz de decisão faz é tentar casar características-chave de cada alternativa às necessidades mais importantes do laboratório. Recomenda-se que a ênfase da solução escolhida deva ser no controle e melhoria de processo. Tem-se observado, ainda, que soluções compostas por vários pequenos passos muitas vezes funcionam melhor que uma única grande implantação.

Fatores chave para o sucesso do processo de automação

Existem diversos fatores essenciais ao sucesso na implantação do processo de automação. Dentre estes, pode-se citar:

a) **Compreensão do ambiente laboratorial:** como comentado anteriormente, é de vital importância que se tenha uma visão sistêmica do laboratório, o que inclui conhecer as peculiaridades de cada processo, os custos envolvidos, o que se espera dos resultados, etc. Se esse requisito não é atendido, há sério risco de se optar por um sistema de automação que não estará perfeitamente casado com as características operacionais do laboratório, levando a dificuldades de ajuste, o que, por sua vez, pode forçar o abandono do sistema.

b) **Flexibilidade:** seres humanos são sabidamente flexíveis, sendo capazes de se adaptar a novas situações e condições inesperadas. Máquinas podem ter diferentes graus de flexibilidade, mas mesmo as mais flexíveis ainda não são capazes de alcançar níveis humanos. Além disso, quanto maior o grau de flexibilidade de um sistema, mais caro ele será. Portanto, é importante que se conheça a fundo as operações do laboratório, a fim de que se saiba a que tipo de flutuações de demanda o sistema será submetido, e também para que se saiba a evolução futura das atividades e o grau de impacto que isso terá nos sistemas automáticos. Após esse estudo, é possível identificar quais sistemas atendem às demandas previstas e eventuais custos associados. Se os custos de tais sistemas forem muito elevados, pode ser mais conveniente manter as operações manuais.

c) **Expectativas realistas a respeito do sistema:** a automação de atividades e processos não é uma panaceia capaz de resolver todos os problemas do laboratório. Contudo, é comum que algumas pessoas ligadas ao laboratório tenham expectativas irreais a respeito dos benefícios que a auto-

mação trará, especialmente se tais pessoas não estiveram envolvidas no processo desde o início. Como consequência, cria-se um estado de tensão desnecessário entre os membros da equipe, já que estes serão avaliados tendo como meta um desempenho incompatível com a capacidade da equipe e do sistema. Por esse motivo, é de fundamental importância que duas informações básicas sejam disseminadas entre todos aqueles envolvidos nas atividades do laboratório: a) o tempo necessário para que a equipe se adapte ao novo sistema; b) uma estimativa realista dos ganhos obtidos uma vez que se tenha atingido um regime normal de operação.

d) Evitar o imprevisto: como comentado anteriormente, é muito importante saber como será feita a integração do novo sistema ao fluxo de trabalho do laboratório, ou seja, como esse sistema se conectará às atividades imediatamente anteriores e posteriores. Caso esse estudo não seja realizado adequadamente, pode ser necessário recorrer ao imprevisto, o que frequentemente leva a perdas que podem até mesmo anular os benefícios oferecidos pelo sistema. É importante destacar, contudo, que nem sempre é possível evitar que certos problemas de interface aconteçam. Nesses casos, deve-se fazer um esforço para se chegar a uma solução que não comprometa o funcionamento do sistema e do laboratório.

e) Adequação da complexidade e dimensão do sistema: uma vez que se conheça a realidade e as necessidades do laboratório, deve-se optar por um sistema que ofereça exatamente o que se deseja: se o sistema oferecer menos, as atividades manuais não serão adequadamente substituídas e nenhum ganho será alcançado; se o sistema for mais complexo que o necessário, estar-se-á adicionando custos desnecessários, além de tornar mais complicados o treinamento e a operação do sistema.

f) Conhecer o que o sistema tem a oferecer: em processos de automação em geral, é comum a implantação de sistemas capazes de realizar uma miríade de funções úteis dentro do contexto onde ele está inserido, porém tais funcionalidades não são exploradas em sua totalidade. Isto pode ocorrer por falhas no treinamento do pessoal, falhas no suporte técnico, resistência por parte dos operadores à nova tecnologia, etc. Isso não leva necessariamente ao fracasso do projeto de automação, porém sua relação custo/benefício é prejudicada. Portanto, é importante que haja pessoas que não apenas conheçam a fundo as funcionalidades do sistema, mas que sejam capazes de transmitir esse conhecimento e a importância de se explorar ao máximo aquilo que o sistema tem a oferecer.

g) Suporte técnico adequado: o suporte técnico ao sistema de automação é muito importante, especialmente no caso de sistemas maiores e mais complexos. Um suporte técnico inadequado pode levar a problemas de operação e manutenção capazes de prejudicar seriamente o funcionamento do laboratório. Infelizmente, a qualidade do suporte técnico foge ao controle dos responsáveis pelo laboratório. Por esse motivo, é aconselhável que se pesquise a respeito do serviço de suporte oferecido pelos fornecedores dos sistemas antes de sua aquisição.

h) Custos ocultos: os custos envolvidos na aquisição e implantação do sistema de automação podem não ser os únicos a serem considerados. Em alguns casos, a manutenção e os suprimentos demandados pelos equipamentos podem representar um custo significativamente elevado, e esses são custos permanentes. É importante levar isso em consideração para evitar problemas orçamentários e interrupção dos serviços.

i) Otimizar processos ineficientes: antes de se adotar um sistema automático, é importante entender os processos atuais e identificar oportunidades de melhorias. Isso é importante porque a automação só trará bons resultados se aplicada dentro de um contexto já otimizado. Uma frase muito utilizada no meio é: “A automação de um processo ruim resulta simplesmente em um processo ruim automatizado”.

j) Levar em consideração o fator humano: as pessoas têm uma resistência natural à mudança de rotina, afinal isso representa trabalho adicional. Além disso, a palavra automação é por muitos associada à completa substituição dos seres humanos por máquinas. Esses fatores devem ser levados em consideração e medidas devem ser adotadas para evitar efeitos adversos. É importante deixar claro para todos os envolvidos que o novo sistema não acarretará na perda de empregos, e que a carga inicial de trabalho adicional rapidamente se converterá numa operação laboratorial mais eficiente, segura e robusta.

k) Envolver todos da equipe. Um requerimento importante para que o processo de automação dê certo, especialmente se as mudanças no laboratório são significativas, é envolver todos aqueles que serão afetados pelas mudanças desde o início do processo, e incentivá-los a expor suas dúvidas, temores e opiniões. Dessa maneira, diminui-se a probabilidade de que haja rejeições e queda de rendimento por parte dos funcionários após a implantação da automação, acelerando dessa maneira o processo de adaptação à nova tecnologia.

l) Dividir o processo de automação em etapas. No caso de se pretender realizar uma automação mais radical, em que vários processos serão modificados e muitas pessoas serão afetadas, pode ser conveniente dividir a implantação da automação em etapas, a fim de que as pessoas possam se adaptar às mudanças de maneira progressiva, prevenindo assim que as atividades do laboratório sejam excessivamente evitadas. Isto é particularmente importante em laboratórios cuja redução ou interrupção das atividades possa levar à perda de dados e experimentos.

Conclusões

O uso de sistemas automáticos é uma realidade cada vez mais presente no dia a dia dos laboratórios de pesquisa. Apesar disso, esse não é um processo simples – as profundas diferenças nas características de diferentes laboratórios faz com que a confecção de um guia único para o processo de automação laboratorial seja impraticável. Apesar disso, é possível estabelecer alguns pontos fundamentais comuns a todas as situações, os quais podem fornecer subsídios importantes para que as pessoas responsáveis pela configuração e implantação dos sistemas de automação possam tomar as decisões mais adequadas à sua realidade. O presente texto foi escrito exatamente com esse objetivo.

É importante observar que a adoção de sistemas automáticos não é uma solução definitiva para todos os problemas do laboratório, um sistema cuidadosamente projetado e dimensionado pode trazer enormes benefícios, mas certas deficiências só podem ser corrigidas através de uma reestruturação das atividades e uma reengenharia dos processos laboratoriais.

É importante observar ainda que nem sempre é necessária a adoção de um sistema de automação completo, envolvendo todas as atividades do laboratório. Na verdade, há fortes evidências de que em laboratórios de pesquisa, como é o caso da Embrapa, a adoção de sistemas de automação modulares, em que cada parte do processo pode ser automatizada separadamente, é a melhor opção devido à maior flexibilidade e menores custos associados. Dependendo do caso, a automação de uma única atividade pode ser suficiente para melhorar dramaticamente o desempenho do laboratório e as condições de trabalho de sua equipe. Novamente, isto pode variar de caso para caso, sendo necessários estudos específicos para determinar a melhor opção.

Referências

GUREVITCH, D. Economic justification of Laboratory Automation. *Journal of the Association for Laboratory Automation*, New York, v. 9, n. 1, p. 33-43, Feb. 2004.

NICOLAOU, C. Automated lead discovery and development in HTS datasets. *Journal of the Association for Laboratory Automation*, New York, v. 6, n. 2, p. 60-62, May 2001.

PRECARN. Laboratory Automation. *Report*, Canada, Feb. 2005. 35 p.

TRIAUD, F.; CLENET, D. H.; CARIOU, Y.; NEEL, T. L. Evaluation of automated cell culture incubators. *Journal of the Association for Laboratory Automation*, New York, v. 8, n. 6, p. 82-86, Dec. 2003.

Literatura recomendada

HUDSON ROBOTICS. *Hudson Robotics Inforamtion: Library*. Disponível em: <<http://www.hudsonrobotics.com/library/>>. Acesso em: 8 ago. 2011.

HYND, B. A. Maximizing the benefits of automation technologies in the world of high throughput screening, In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM FOR LABORATORY AUTOMATION AND ROBOTICS, 19., 2000, Boston. *Proceedings...* London: Taylor & Franci, 2000. 6 p.



Informática Agropecuária

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**



CGPE 9975