

Motores lineares - Aterramento elétrico - RS-485 - Interferência RF

# MECATRÔNICA

Atual

AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL DE PROCESSOS E MANUFATURA

Ano 2 - nº10 - Junho-Julho/2003 - Brasil: R\$ 10,90 - Europa: € 4,30



## Visão Artificial

nas aplicações industriais

## Manutenção de Servomotores

Como solucionar os principais problemas

## Arquiteturas de Sistemas

de Automação Industrial utilizando CLPs

Motor de passo X Servomotor: Faça a escolha certa

ISSN 1676-0972



9 771676 097007 10

## Seção do Leitor

4

## Notícias

5

## Problemas e Soluções

9

## Evoluções da Eletropneumática

Entenda como a eletropneumática está se adequando às novas formas de comunicação em chão-de-fábrica que, em cada novo produto, procura acompanhar os avanços que rondam o mundo da Automação Industrial.

12

## Manutenção de servomotores

São inúmeras as razões pelas quais se tem adotado a utilização dos servomotores síncronos e assíncronos trifásicos na indústria nacional. Neste artigo são levantadas algumas das dúvidas mais frequentes com que os profissionais de manutenção se deparam em seu dia-a-dia no campo.

14

## Desmitificando a visão artificial nas aplicações industriais

Entenda como funcionam os sistemas de visão que, devido à grande redução de custo que sofreram nos últimos tempos, tiveram um grande aumento no número de aplicações na indústria.

17

## Comparação de sistemas com motores de passo e servomotores

Com motores de passo e servomotores competindo nas aplicações industriais, como decidir qual é o melhor? Veja neste artigo o que é necessário levar em conta para fazer uma escolha inteligente.

20

## Imunidade a interferência por radiofrequência

A RFI (Radio Frequency Interference) é um sério problema de EMI (Electromagnetic Interference) para os equipamentos eletrônicos modernos. Conheça os níveis e modos de falhas e as principais técnicas de proteção contra este problema.

27

## Arquiteturas de sistemas de Automação Industrial utilizando CLPs

Este artigo faz uma abordagem sobre os aspectos de comunicação de dados para arquiteturas comumente utilizadas em automação de plantas de processos industriais empregando CLPs.

32

## Controladores de movimento

O crescente aumento do uso de servo-acionamentos e inversores de frequência em máquinas de processos dedicados, fizeram surgir os controladores de movimentos, que são equipamentos desenvolvidos para automação de máquinas que necessitam de controle de posição, de trajetória, de velocidade ou torque.

37

## Princípios dos motores lineares

O motor linear nada mais é do que uma massa com propriedades magnéticas que é atraída ou repelida por outra e restringida a andar em trilhos. Veja por que, apesar de simples no seu funcionamento, os motores lineares vêm ganhando destaque nas aplicações industriais.

40

## Aterramento Elétrico

Este artigo mostra os aspectos básicos das normas, problemas e soluções, bem como o processo de tratamento químico do solo.

43

## Analísadores por condutibilidade térmica

A análise por condutibilidade térmica consiste em medir a condutibilidade térmica de uma amostra, relacionando-a com a concentração de um determinado componente no gás em análise. Conheça os dispositivos capazes de realizar esta análise.

46

## Aplicações de redes RS-485

Descubra qual o segredo da popularidade da rede de comunicação RS-485, cujas aplicações se estendem desde a integração de pontos de venda e terminais de coleta de dados até aplicações de alto desempenho em Automação Industrial.

50

## Medidores de deformação

O medidor de deformação (strain gauge) é muito utilizado para medições de grandes massas ou monitoramento de estruturas em construção ou em restauração, face a sua confiabilidade, precisão e sensibilidade. Entenda seu princípio de funcionamento, suas aplicações e os critérios para escolha do melhor sensor.

54

## Como aplicar inversores de frequência

Conheça os aspectos mais importantes a serem considerados na utilização de inversores de frequência, tais como quando utilizar sistemas escalares e vetoriais, características gerais e parâmetros que devem ser considerados no efetivo emprego de inversores.

58



**Editora Saber Ltda.**

**Diretores**

Hélio Fittipaldi

Thereza M. Ciampi Fittipaldi

**MECATRÔNICA**

www.mecatronicaatual.com.br

**Mecatrônica Atual**

**Editor e Diretor Responsável**

Hélio Fittipaldi

**Editor Assistente**

Paulo Gomes dos Santos

**Publicidade**

Eduardo Anion - Gerente

Ricardo Nunes Souza

Carla de Castro Assis

Melissa Rigo Peixoto

**Conselho Editorial**

Alexandre Capelli

Juliano Matias

Newton C. Braga

**Colaboradores**

Alaor Mousa Saccomano

Augusto Ottoboni

Carlos Henrique C. Ralize

Gilberto Abrão Jana Filho

Gilberto Branco

Jeff Kordik

José Ricardo da Silva

Mário Sérgio Di Grazia

Osmar Brune

Paulo Cesar de Carvalho

Paulo Eduardo Pansiera

Ronei Rosseti

Sérgio Vieira

Wendell de Queiróz Lamas

Foto da capa: sala de controle da PQU

## ASSINATURAS

www.mecatronicaatual.com.br

Fone/Fax: (11) 6195-5335

Atendimento das 8:30 às 17:30 h

**Impressão**

W.Roth

**Distribuição**

Brasil: DINAP

Portugal: Midesa

**MECATRÔNICA ATUAL**

(ISSN - 1676-0972) é uma publicação da Editora Saber Ltda.

Redação, administração, edições anteriores, publicidade e correspondência:

R. Jacinto José de Araújo, 315

CEP: 03087-020 - São Paulo

SP - Brasil

Tel.: (11) 6195-5333

Empresa proprietária dos direitos de reprodução:

**EDITORA SABER LTDA.**

Associado à:

**ANER** - Associação Nacional dos Editores de Revistas

**ANER**

**ANATEC** - Associação Nacional das Editoras de Publicações Técnicas, Dirigidas e Especializadas.

**ANATEC**  
PUBLICAÇÕES TÉCNICAS

www.anatec.org.br

# Editorial

## Aberta a temporada de eventos

Começou a temporada de feiras e eventos no Brasil sobre automação industrial. Há encontros para todo o tipo de público, desde os engenheiros mais experientes até aqueles que estão começando a carreira agora. Uma característica similar nesses eventos, que cada vez mais toma corpo, são os encontros promovidos por fabricantes junto com seus parceiros de projeto. Foi o que já fizeram nesse ano empresas como Rockwell, Altus e Advantech. Esse tipo de reunião parece que está se tornando uma boa alternativa para as empresas, ao invés de participar de várias feiras durante o ano.

Uma das notícias que está sendo aguardada com muita expectativa pelo setor é a compra da Intellution pela GE Fanuc. Quase todo o setor de automação já sabe da compra da empresa pelos bastidores, mas, por enquanto, todos os detalhes estão sendo guardados pela matriz norte-americana que deixou a América do Sul como último lugar para o anúncio oficial. Nesse campo da automação também há a expectativa quanto a atuação da Wonderware no Brasil.

Dentro da proposta de contemplar, na revista, a automação de processos, nesta edição você vai conferir os artigos “Analisadores por condutibilidade térmica” e “Arquiteturas de sistemas de automação industrial utilizando CLPs”, (o sucesso ou fracasso de um processo de automação, na maioria das vezes, é definido já na elaboração de sua arquitetura.)

Como foi dito na edição passada, estamos trabalhando numa revista que seja a cara da automação industrial brasileira. Cada detalhe na revista está sendo estudado para criarmos um veículo que seja o palco de discussão de engenheiros, técnicos, gerentes e diretores.

E para continuar melhorando, é importante que continuemos contando com a participação dos leitores com críticas, sugestões e até mesmo artigos técnicos. A idéia é que a revista não seja um “clubinho fechado”, mas que tenha a participação do maior número possível de profissionais da área dispostos a compartilhar idéias e informações. Portanto não fique parado e participe!

Atendimento ao leitor: a.leitor.mecatronicaatual@editorasaber.com.br

Os artigos assinados são de exclusiva responsabilidade de seus autores. É vedada a reprodução total ou parcial dos textos e ilustrações desta Revista, sob pena de sanções legais. São tomados todos os cuidados razoáveis na preparação do conteúdo desta Revista. Caso haja enganos em texto ou desenho, será publicada errata na primeira oportunidade. Preços e dados publicados em anúncios são por nós aceitos de boa fé, como corretos na data do fechamento da edição. Não assumimos a responsabilidade por alterações nos preços e na disponibilidade dos produtos ocorridas após o fechamento.

# Mecatrônica Notícias

Sérgio Vieira

## A GE Fanuc **compra** a Intellution e **segura** divulgação

A GE Fanuc, braço de automação industrial do Grupo GE, completou a aquisição da Intellution, uma das maiores empresas do mundo em softwares para automação industrial. A notícia da aquisição está sendo tratada com cautela pelas duas partes envolvidas na operação.

A América do Sul será o último país a saber os detalhes oficiais da aquisição. De acordo com um engenheiro da GE, a estratégia é divulgar os detalhes da operação nos Estados Unidos, depois na Europa, em seguida será a vez da Ásia e, em meados de julho ou Agosto deste ano será a vez da América do Sul. Por esse motivo, ninguém

comenta nada a respeito da aquisição para a imprensa brasileira.

Ex-divisão do Grupo Emerson Process, a Intellution possui mais de 185 mil instalações de sistemas supervisórios em todo o mundo. No Brasil, seu principal produto, o iFix, está presente nos mais variados segmentos industriais e, muitas vezes, é escolhido como sistema preferencial mesmo em fornecimento de projetos *turnkey* de automação, onde concorre com sistemas de outros fabricantes. Nos Estados Unidos suspeita-se que o nome Intellution será mantido. Fala-se em uma nova empresa chamada: GE Fanuc Intellution.

“A aquisição da Intellution é parte da estratégia global do crescimento da

GE e combina as tecnologias que aumentam benefícios aos clientes em torno do mundo. A comunidade *worldwide* do *manufacturing* pode esperar as novas tecnologias que mudarão e melhorarão a maneira como nós fazemos o negócio”, disse Charlene Begley, presidente da GE Fanuc, em entrevista nos Estados Unidos.

Na mesma reportagem, usuários americanos de automação acreditam que a compra da Intellution pela GE possibilita oportunidades sem precedentes no ambiente industrial. Eles vislumbram a oportunidade de comprar sistemas de supervisão completos dentro de um pacote de fornecimento global pela GE.

## A Astrein **investe** em **atualização** tecnológica

Após investir R\$ 1,5 milhão em 2002, a Astrein Engenharia de Manutenção espera obter neste ano um crescimento de 25%. Boa parte dos investimentos foram direcionados para atualizar o Sistema Informatizado de Manutenção - SIM, importante linha de negócios da empresa.

De acordo com o diretor, Marcelo Ávila Fernandes, a primeira versão do SIM foi desenvolvida em 1986 e ao longo dos anos recebeu diversas atualizações, conquistando uma carteira de mais de 450 clientes dos mais diversos setores (alimentos, petroquímica, eletroeletrônica, gráfica, autopeças, telecomunicações, metalurgia, comunicações, têxtil, farmacêutica, entre outros).

“A aquisição de produtos prontos para gerenciamento de manutenção de ativos e a terceirização de serviços na área de manutenção era um passo dado exclusivamente por algumas empresas com alto grau de automação e hoje se dissemina em empresas de pequeno e médio porte, abrindo as portas de um grande mercado”, afirma.

De olho nesse mercado promissor, a Astrein definiu nova linha de negócios para atuar com serviços de Planejamento e Controle de Manutenção (PCM). “Com esse novo serviço, a empresa cresceu 65% entre 2000 e 2002 e prevê um aumento no faturamento de 25% em 2003 sendo o serviço de PCM responsável por 30%”, calcula.

O Sistema Informatizado de Manutenção é voltado para atividades de planejamento, programação e controle de manutenção em equipamentos móveis, equipamentos estacionários, veículos e instalações prediais, possibilitando o controle de qualquer tipo de manutenção, seja ela corretiva, preventiva ou preditiva. “O SIM proporciona redução de custos de manutenção, das paradas dos equipamentos, do tempo de detecção de falhas, dos gastos com terceiros, do estoque de sobressalentes, gerando aumento da produtividade da mão-de-obra, maior simplificação e agilidade nos trabalhos administrativos, indispensáveis para as empresas com ISO 9000 e QS 9000”, conclui.



## Siemens: **foco** na área de **serviços**

A Siemens começou a colocar em prática uma série de estratégias para tornar sua divisão de Serviços de Engenharia mais conhecida perante o público industrial. A empresa não quer ficar para trás dos dois principais concorrentes: ABB Service e Alstom. As soluções da empresa nessa área foram apresentadas pelo diretor de manutenção, Marcus Fermann, e pelo responsável internacional por essa divisão, Kersten Barth.

As ferramentas da empresa nessa área pretendem ir de encontro aos anseios das indústrias que, cada vez mais, visam reduzir as falhas, paradas, passivos ambientais e melhorar os aspectos sociais dentro do ambiente de chão-de-fábrica. "Existe, hoje, pouca informação que é trocada entre os segmentos de uma mesma indústria", inclui Fermann no rol de necessidades de indústrias.

Assim como os seus concorrentes, a Siemens elabora cada contrato de serviço, que pode incluir manutenção e instalação, de acordo com cada cliente. "A novidade é que estamos incluindo a parte de manutenção já na fase de desenvolvimento de um futuro projeto", aponta Fermann. Para ter um diferencial no mercado, a Siemens também está oferecendo a possibilidade de formar uma joint venture com o próprio cliente. A partir daí, segundo o diretor, estabelece-se uma participação de 50% para cada empresa nos novos projetos identificados e adquiridos.

O EPS - *Energy Potential Scan*, detector de oportunidades de redução de energia, está entre as ferramentas da Siemens oferecidas às indústrias. A empresa também possui controlador lógico programável com porta Web para encaminhar dados de processo e manutenção.

Outra ferramenta é o *Online Service* baseada numa infra-estrutura de informações globais que compreende envio de dados em alta velocidade para sistemas de diagnósticos e manutenção remota. Este último item significa, em tese, que a Sie-

mens pode interferir remotamente no equipamento de uma indústria. Mas é tese mesmo. Na Suzano Papel e Celulose, onde a Siemens fechou contrato global e de interferência no processo, funcionários da contratada permanecem 24 horas na planta acompanhando todo o processo de produção.

Kersten Barth informou que a Siemens quer ir mais além com a sua área de serviços. Através do módulo de redução do consumo de energia, ela quer participar do mercado mundial de redução de emissões de poluentes. O mercado nasceu em 1997 e

é conhecido como "Protocolo de Kyoto". Empresas poluidoras poderão pagar pela cota de emissão de poluentes. Empresas como a Siemens poderão receber por projetos apresentados de "não emissão de poluentes", ou por aquilo que deixaram de emitir.

A Siemens Engenharia e Service possui oito anos de existência e fatura R\$ 150 milhões no Brasil. No mundo fatura US\$ 1 bilhão e possui 28.400 funcionários. Uma ordem do presidente mundial da Siemens visa migrar 50% da receita da empresa para a área de serviços.



Fermann explica à imprensa ferramentas de serviço da Siemens.

## Lon Works em **laboratório** de São Carlos

Coordenado pelos professores Mário Pinotti Jr. e Luis Carlos Passarini, o Laboratório de Eletrônica Embarcada da Escola de Engenharia de São Carlos (USP) desenvolve atividades voltadas para o estudo de sensores, instrumentação para controle de processos e protocolos de campo (*fieldbuses*).

Entre as atividades do laboratório está o desenvolvimento da tecnologia LonWorks para otimização do consumo de energia elétrica em projetos de automação predial. Para desenvolver os trabalhos, o laboratório foi equipado com uma rede

LonWorks dotada de sensores, controladores e atuadores, além de módulos de desenvolvimento.

No laboratório também são desenvolvidas atividades focadas no estudo de técnicas e ferramentas para o Foundation Fieldbus. O desenvolvimento de algoritmos e de software vem sendo realizado em parceria com empresas. Três plantas experimentais estão em atividade, onde são trabalhadas grandezas como temperatura e pressão. São desenvolvidas, ainda, atividades para otimização do controle de motores e combustão interna.

## Encontro **Brasil-Áustria** de **automação** em SBC

Mais de 100 profissionais, executivos e acadêmicos ao 3º *Workshop Austrian-Brazilian Automation Day*, promovido pelo Centro Universitário da FEI - Faculdade de Engenharia Industrial. O foco do evento foi a discussão em torno da automação nas pequenas e médias empresas brasileiras e sua inserção no mercado globalizado.

Peter Athanasiadis, cônsul comercial da Áustria, elogiou a iniciativa e ressaltou a importância da troca de conhecimentos entre os dois países. "A Áustria possui muitas empresas de pequeno e médio porte e, estas, tiveram grande dificuldade em se atualizar", disse. Elfriede Rommens, representante do Ministério de Transporte, Inovação e Tecnologia daquele país, lembrou que há 30 anos o governo austríaco percebeu a necessidade de cooperação entre universidades e empresas para o desenvolvimento tecnológico e, desde então, apóia encontros tecnológicos e fornece suporte para pesquisa, projetos corporativos e desenvolvimento de centros de excelência locais.

Entre os temas das palestras que fizeram parte do evento destacam-se: robôs, prototipagem rápida, educação à distância, automação predial e residencial integrada, técnicas de monitoramento e controladores lógicos programáveis. Peter Kopacek, professor doutor do *IHRT Institute*, órgão da Universidade de Tecnologia de Viena, acredita que os principais problemas do Brasil são a falta de mão-de-obra especializada e recursos para tecnologia e

desenvolvimento. Kopacek contou que o parque industrial austríaco é composto de pequenas e médias empresas que utilizam redes neurais, complexos sistemas de automação e robótica.

Carlos Eduardo Pereira, professor da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e Paulo Coviello, diretor de Soluções da Siemens Brasil, apresentaram palestras sobre os problemas na automação predial e resi-

dencial, além de suas soluções de integração. Foi discutida a presença de vários sistemas e protocolos presentes no mercado que impedem o desenvolvimento de uma automação predial e residencial integrada. Os dois palestrantes lembraram que a integração na automação reduz custos operacionais, aumenta a produtividade e melhora o controle e acesso às informações.



O evento discutiu automação de pequenas e médias empresas.

## A Wonderware **desembarca** no Brasil

A Wonderware, unidade de negócios do Grupo Invensys e fornecedora de softwares de automação industrial, está desembarcando no Brasil para dar suporte ao crescimento das vendas dos seus produtos, como o *InTouch*, carro chefe da empresa. "Independentemente da instabilidade global, a Wonderware decidiu expandir suas operações, atendendo a solicitação dos usuários de nossos produtos, e temos certeza de que esta decisão está no caminho certo para continuar crescendo", comenta Andres Szluk, diretor regional para o Mercosul.

No comando da Wonderware Brasil está o engenheiro Eduardo Lima, profissional com mais de 15 anos de experiência na área de automação industrial e um dos pioneiros em diversos projetos envolvendo sistemas de supervisão e

controle industrial.

O mercado será atendido pela unidade brasileira da Wonderware em conjunto com o distribuidor autorizado Scan Automação que continuará responsável pela comercialização, suporte e treinamento dos usuários finais. "A Scan introduziu os produtos da Wonderware no Brasil conquistando uma base extensa de clientes importantes e um *market share* expressivo através de um atendimento diferenciado", conta Fontinele da Silva, diretor da Scan Automação.

"Com a oferta constante de inovações tecnológicas que garantem ao usuário proteção total de seu investimento, temos confiança no futuro da Wonderware e nossa expectativa é expandir e consolidar nossa posição no mercado brasileiro", afirma Eduardo Lima.

### Nota

A Usina Coimbra-Cresciumal (Leme/SP) instalou um medidor de densidade para manter o nível energético de xarope durante o processo de evaporação. O equipamento, DT301, fabricado pela Smar, foi instalado no ano passado e de acordo com o corpo técnico da Usina, tem se mostrado uma ferramenta valiosa na obtenção de resultados precisos no controle de xarope.



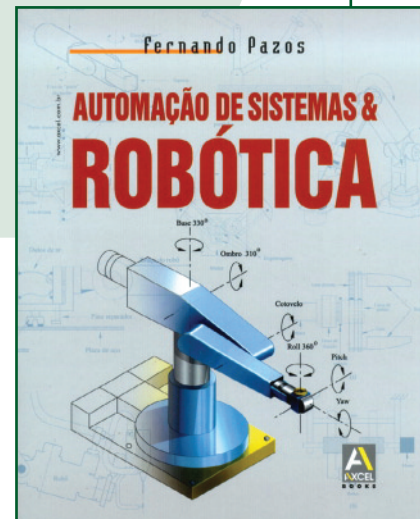
## Introdução à **Automação** e à **Robótica**

“Automação de Sistemas e Robótica” é um livro para introduzir o leitor em um segmento de crescente importância e aplicação na indústria moderna. As diversas áreas que abrangem o estudo da Robótica incluem Eletrônica, Informática, Mecânica, Física e Matemática. O trabalho, elaborado por Fernando Pazos, aborda principalmente os conceitos da Robótica aplicada à indústria, estuda a estrutura dos sistemas automatizados, seu comportamento, seus componentes básicos, elementos e dispositivos utilizados, além de programas simples de controle de sistemas.

Em cada capítulo são abordados os seguintes tópicos: intro-

dução à automação, controle de sistemas, interfaceamento, transdutores e atuadores empregados em Robótica, mecanismos de transmissão de potência, robôs manipuladores e sistemas de visão.

O autor é engenheiro eletrônico e, desde 1993, é coordenador do Laboratório de Robótica do Instituto de Tecnologia ORT do Rio de Janeiro, onde projetou e desenvolveu diversos robôs e sistemas automatizados controlados por computador, além de interfaces e programas com fins didáticos. Ministra cursos de extensão sobre Controladores Lógicos Programáveis no COPPE (UFRJ) e é colaborador da revista “Mecatrônica Atual” desde outubro de 2001.



## Rockwell **realiza** “Complete Automation” e **divulga** metas

Repetindo a filosofia do evento passado - Integração com autonomia - a Rockwell Automation realizou mais uma edição do Complete Automation, evento que reuniu 12 laboratórios práticos direcionados a usuários das indústrias de processo e manufatura. “É a integração independente”, diz Danilo Talanskas, presidente da subsidiária brasileira. “As unidades têm autonomia na condução dos negócios, mas trabalham como um todo para o cliente”.

Essa filosofia também serviu para que a Rockwell desenvolvesse produtos para o cliente ter mais liberdade para construir ou modificar sistemas de automação. É o caso do ControlLogix, sistema que combina controle seqüencial, de processo e de posição junto com comunicação de entrada e saída de sinais. O ControlLogix foi uma das ênfases dadas pela Rockwell nos laboratórios utilizados pelos usuários.

A multinacional americana apresentou também suas metas para a parte de Serviços. Em nível mundial, o objetivo é ter 25% da receita proveniente dessa área, hoje, essa cota é de 12%. Na subsidiária brasileira, o setor de serviços responde por 30% da receita.

De acordo com Talanskas, a estratégia para alcançar os números acima citados é alavancar a base instalada elevando o conhecimento para o ERP (sistemas de gestão). Bem, na prática, significa que, cada vez mais, a Rockwell terá soluções para facilitar o trâmite de informações entre o chão-de-fábrica e os níveis gerenciais de seus clientes.

Uma dessas soluções foi lançada no ano passado. Trata-se de um controlador lógico que possui um módulo XM para permitir a entrada para dados de manutenção. Além disso, a Rockwell também tem direcionado fortes investimentos para a área de software com a compra de várias empresas.

Outra estratégia da empresa é investir mais no capital humano interno para ter um diferencial no mercado.

Hoje, a Rockwell possui especialistas por funcionalidade de cada produto. Também foram nomeados engenheiros de vendas que coordenam as vendas nacionais por cliente. Nesse sentido, dois engenheiros coordenam as vendas nacionais de produtos Rockwell para a Petrobrás e a Companhia Vale do Rio Doce. Por ano são investidos no Brasil US\$ 2 milhões em produto e treinamento.

O presidente da Rockwell não soube informar quanto a empresa cresceu na indústria de processo, após ter obtido licença para fabricar produtos na tecnologia Foundation Fieldbus. “Temos uma meta que não pode ser divulgada na parceria com a Smar”.



Talanskas (à esquerda) ao lado do americano Michael Johnston, diretor de Marketing para a América Latina.



## Problema de comunicação em Rede Modbus RS-485

Paulo César de Carvalho

Este problema ocorreu em uma rede *modbus* de uma usina hidrelétrica no momento da implantação da rede em campo. Para explicar o que aconteceu, vejamos a arquitetura da rede, na **figura 1**, no momento da implantação em campo do sistema.

A rede modbus RS-485 do canal "A", formada por 9 medidores de grandezas elétricas, todos do mesmo fabricante, funcionava normalmente. A rede do canal "B" apresentava taxas de erro muito elevadas e praticamente não havia comunicação. Para esta rede observei que, quando somente as UTRs ou somente os *single-loops* estavam conectados, a rede operava normalmente. Constatei que havia alguma incompatibilidade entre o hardware das UTRs e o hardware das *single-loops* e passei a investigar o motivo de tal fato.

Para descobrir o que estava ocorrendo, re programei a placa-mestre modbus para interromper a comunicação do canal "B" e, a seguir, desconectei todos os dispositivos escravos conectados à rede e, na seqüência, conectei um de cada vez. Para cada dispositivo conectado, media a tensão da linha "D+" para a terra e "D-" para a terra. Anotei todos os valores e também fiz a mesma coisa para os dispositivos do canal "A". Verifiquei que o grupo das UTRs apresentava valores semelhantes de D+/ terra. Porém, no grupo das *single-loops*, a diferença entre estes valores era maior que 3 V e, tipicamente, esta diferença não pode ser maior que

3 V para equipamentos que estão na mesma rede.

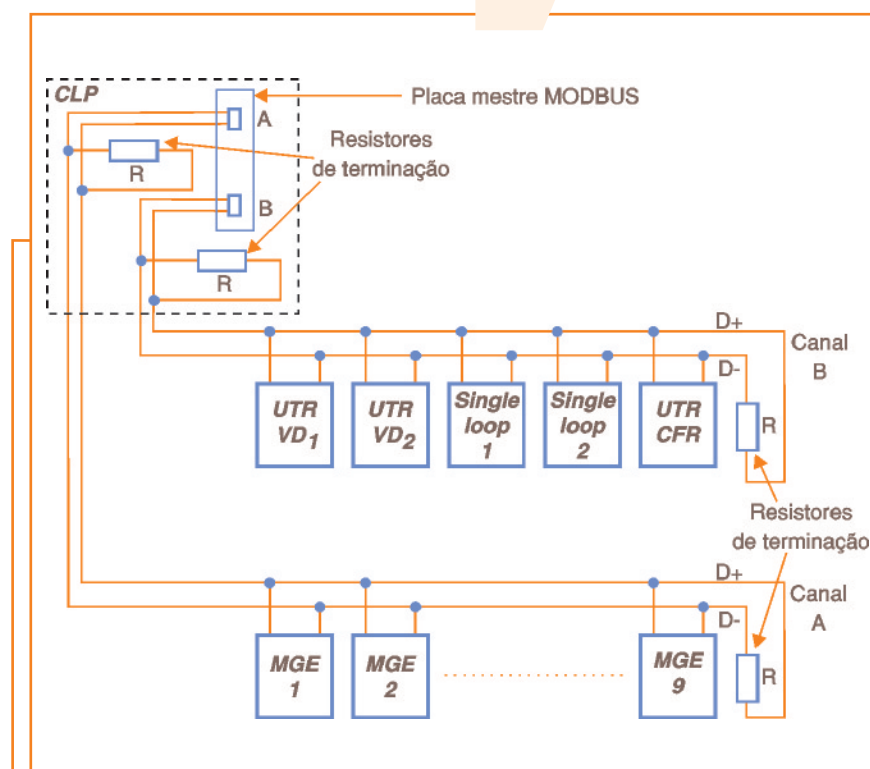
Comparando com os valores de D+/ terra dos MGEs, comprovei que a diferença do D+/ terra dos *single loops* era da ordem de 1 V. Transferi os *single loops* para a rede dos MGEs no canal "A" e todos os dispositivos comunicaram-se normalmente.

### Conclusão

Apesar do protocolo de comunicação de todos os equipamentos ser *modbus* e a forma de ligação ser a mesma (RS-485 a 2 fios), poderá haver incompatibilidade elétrica entre hardwares diferentes devido à

diferença de referência dos *drives* RS-485. A solução, neste caso, será preferencialmente evitar misturar, na mesma rede, hardwares diferentes. Quando isso não for possível, verificar antecipadamente a compatibilidade entre eles com a medida da tensão D+ em relação ao terra e D- em relação ao terra com o mestre sem comunicação, conforme procedimento descrito anteriormente. Este procedimento deve ser feito alimentando-se todos os dispositivos com a mesma tensão utilizada em campo. ■

**Figura 1** - Rede MODBUS na implantação do sistema.





## Defeito em contatores...Contatos e contatos!

Alaor Mousa Saccomano

O segundo grande grupo de possíveis defeitos em contatores se relaciona aos contatos. Estes estão sempre submetidos a forças de impacto e deformação, além de manobras de carga que geram altos arcos voltaicos.

O poder de ação de um contato se deve basicamente à geometria do mesmo e à composição de suas ligas, que podem ser na maior parte dos casos: AgNi, AgCdO ou AgSnO<sub>2</sub>, além, é claro, da presença de cobre (Cu) sobre os mesmos. Continuaremos nossa análise observando os principais defeitos encontrados em contatos.

### Subtensão ou intermitência de alimentação na bobina

Na ocorrência de tensões baixas ou variação dos valores nominais de alimentação, provoca-se a diminuição da capacidade de "atracamento" do contator. Com o enfraquecimento da ação de contato entre os contatos fixos e móveis, devido à falta de força magnética na bobina, há uma acentuada elevação das correntes do circuito de força do mesmo, provocando a queima dos contatos.

Erros de dimensionamento, cabos muito longos e problemas de distribuição são constantes causas deste defeito.

**Figura 1** - Queima de terminal mal conectado.

Danificação da parte externa do contator



Queima do terminal mal conectado

### Sobretensão e impulsos de tensão

Muitas vezes têm-se, nos circuitos e redes, variações de tensão, em alguns casos ocasionadas por baixo fator de potência, mas na maioria das vezes por oscilações e picos de tensão. Essas variações provocam no circuito de força sobrecorrentes que superaquecem os contatos, levando conseqüentemente à queima dos mesmos.

### Falta de fase

Se ocorrer falta de uma das fases do motor energizado por um contator, ele tenderá a continuar seu movimento, provocando a sobrecarga das fases restantes e a conseqüente queima dos contatos ligados nas fases sobrecarregadas.

Pode-se evitar este tipo de problema através de um adequado dimensionamento dos sistemas de proteção, basicamente fusíveis retardados.

### Má conexão

Parafusos, quando apertados com torque abaixo do especificado, provocam o mau contato das conexões que se tornam sujeitas ao aumento da resistência de contato, levando à dissipação térmica nos mesmos - contatos, parafusos, arruelas e terminais. A queima ocorre lenta e gradualmente (veja **figura 1**), com a descoloração visível das partes envolvidas. Esses defeitos podem ocorrer no circuito de força ou de comando. Manutenções preventivas, com reaperto dos terminais baseados em valores de torque corretos, evitam este problema.

### Erro de dimensionamento quanto a categoria de emprego

A falta de observação quanto ao limite de corrente, número de manobras por hora e valores de corrente conforme a carga estabelecida, é uma grande fonte para os mais diversos defeitos em contatos de contatores: do colamento

à total danificação dos contatos, passando pela sensível diminuição da vida útil, são os mais diversos efeitos ocorridos pelo desrespeito às categorias de emprego (IEC 947).

### Curto-Circuito

A soldagem dos contatos (colamento) é provocada pelo aumento repentino da corrente nos mesmos. Em alguns casos, pode-se ter transferência de material entre os contatos fixo e móvel. Dimensionando-se o fusível corretamente, com certeza este problema é evitado, pois ele atuará nos momentos de falha de curto-circuito e sobrecorrente excessiva.

### Fim da vida elétrica-mecânica ou vida útil

Nesta situação, os contatos de força soldam-se, impedindo a abertura do circuito. Isto ocorre devido ao envelhecimento e desgaste dos mesmos. A troca do contator se faz então necessária (**figura 2**). ■

Queima dos contatos

Cabeçote móvel intacto



**Figura 2** - Fim da vida útil.

## Problema com ferramenta posicionadora

José Ricardo da Silva

Foi solicitado ao setor de ferramentaria de uma empresa, a construção de um dispositivo de transferência de peças obedecendo as seguintes condições, mostradas na **figura 1**:

- Retirar a peça da esteira 1;
- Colocar a peça na esteira 2;
- Possibilidade de parar na posição intermediária;
- Distância entre o centro da esteira 1 e o centro da esteira 2: 1,2 m;
- Peso da peça 0,820 kg.

### O problema

Sempre no início do dia, o primeiro movimento do sistema era feito com violência, sem a ação das válvulas controladoras de fluxo. Foram realizadas várias tentativas de ajuste na velocidade através das válvulas controladoras de fluxo sem sucesso.

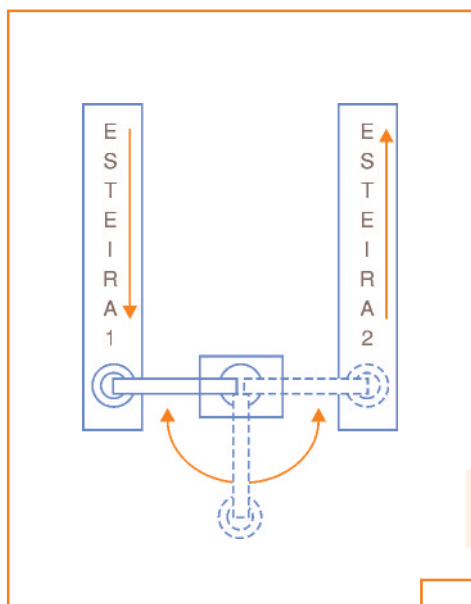
A parte do circuito que apresentou problema (representada na **figura 2**), estava em perfeito estado: um atuador semi-rotativo com válvulas controladoras de fluxo que regulam a velocidade do atuador, comandado por uma válvula direcional de três posições, sendo a posição de centro fechada para parada intermediária, a posição com as setas paralelas deslocando o atuador para esteira 1 e a posição com as setas cruzadas deslocando o atuador para a esteira 2. Foram também instalados amortecedores hidráulicos nos finais de curso para absorver o impacto gerado pela inércia do movimento.

A regulagem é feita por meio do estrangulamento do ar de escape durante o movimento a ser controlado. Neste caso, depois de horas com o sistema parado, as câmaras de ar do atuador que estavam bloqueadas pela posição central da válvula direcional, perdiam pressão e, no dia seguinte, no primeiro movimento, não havia ar pressurizado nas câmaras para permitir a ação da válvula controladora de fluxo durante

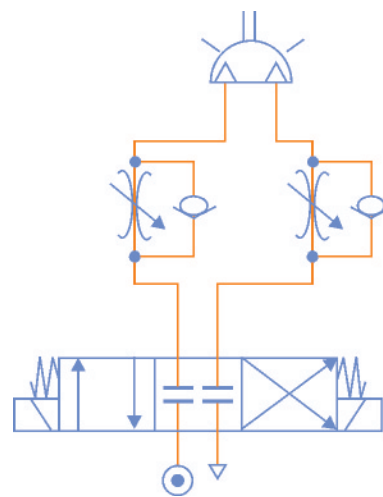
o deslocamento de uma esteira para a outra. **Como resolver isto?** O sistema em questão era comandado por CLP e com uma simples alteração no programa o problema foi solucionado. Pedi mais detalhes sobre o funcionamento do dispositivo e fui informado que, no fim do expediente, o atuador rotativo podia ficar parado tanto na esteira 1 quanto na esteira 2. Com base nesta informação, fizemos a seguinte alteração no programa:

Utilizando um *flag* de inicialização ("contato" interno do CLP que é ativado somente na primeira varredura

do programa), o sistema confirma a posição do atuador semi-rotativo através dos sensores de fim-de-curso. Sabendo em que posição o atuador se encontra, a válvula direcional é acionada para confirmar a posição do atuador, sem produzir nenhum movimento, pressurizando assim a câmara que terá o ar de escape controlado durante o primeiro movimento. Um *timer* garante o tempo necessário para que a pressão de trabalho seja alcançada na câmara, antes de habilitar a partida do sistema.



**Figura 1** - Condições do dispositivo.



**Figura 2** - Parte do circuito que apresentou problema.



# Evoluções da Eletropneumática

**F**ruto de um refinamento da tecnologia pneumática, a eletropneumática está adequando-se às novas formas de comunicação em chão-de-fábrica e, em cada novo produto, procura acompanhar os avanços que rondam o mundo da automação industrial. De acordo com Celso Vicente, presidente da Câmara Setorial de Equipamentos Hidráulicos, Pneumáticos e de Automação da Abimaq - Associação Brasileira das Indústrias de Máquinas e Equipamentos as principais mudanças da eletropneumática acontecem muito mais do lado da eletrônica que da pneumática propriamente dita.

Ele cita como exemplo a incorporação da eletropneumática às redes de comunicação digital em chão-de-fábrica: Profibus, DeviceNet, Interbus, Asi-Bus e outras. A partir dessa integração novos campos se abriram para a velha e conhecida pneumática, assim como para as próprias redes de controle digital. Para Vicente é importante que a comunidade técnica entenda essas evoluções da tecnologia pneumática e observe como ela também acompanha as evoluções da mecânica e da hidráulica. "Temos visto incorporação de várias funções da eletrônica", complementa Ana Cláudia Fukushiro, responsável pela área de *marketing* da Festo Automação.

"A comunicação eletropneumática em *fieldbus* tem mais de dez anos", lembra Daniel Ribeiro Gonçalves, gerente da Divisão Pneumática da Bosch Rexroth. Assim como Vicente, ele considera uma evolução importante porque a pneumática acompanha todas as tecnologias desenvolvidas no ambiente *fieldbus*. É o caso das ferramentas de diagnóstico que possibilitam saber o *status* de instrumentos pneumáticos.

Ainda no campo da comunicação, a eletropneumática, recentemente, também passou a se comunicar em redes de fibra ótica. Segundo Daniel Gonçalves, a Bosch Rexroth já possui

Sérgio Vieira

projetos nessa tecnologia que foram empregados na fábrica da Audi, em São José dos Pinhais (PR).

A eletropneumática é empregada no mercado tanto por usuários finais como por desenvolvedores de máquinas e equipamentos. De acordo com Vicente, ela possui uma área de aplicação muito bem definida, não havendo assim, uma concorrência tão acirrada no mercado. "Geralmente, quando se usa a pneumática está se buscando um custo menor, mas também com menor precisão nas paradas. Já a hidráulica tem custo mais alto, mas possui maior força motriz e melhor precisão", diz Vicente, que também é gerente de *marketing* da Divisão Automation da Parker Hannifin..

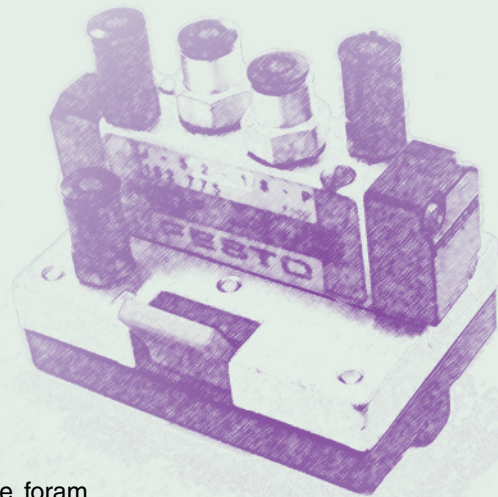
Apesar de todo o refinamento de controle presente em sistemas digitais ou da precisão encontrada em equipamentos hidráulicos, a automação pneumática é, ainda hoje, indispensável em várias partes da indústria. Ela é empregada, inclusive, em áreas críticas onde deve-se evitar ao máximo

o uso de equipamentos elétricos. É o caso das áreas classificadas, ou áreas de segurança intrínseca, onde o risco de explosão deve ser próximo de zero.

Enquadram-se como áreas de segurança intrínseca as termelétricas a gás natural ou bagaço de cana, centros de produção de botijões de gás, caldeiras, tanques de armazenamento de combustível, etc. A Petrobras, por exemplo, possui vários projetos de automação de áreas classificadas e não abre mão da tecnologia pneumática.

É importante lembrar que a pneumática (acionada por solenóide) ou a eletropneumática (acionada por comando elétrico) são bastante robustas e tornam-se insensíveis a vibrações e golpes de ações mecânicas do próprio processo. Podem ser empregadas em ambientes agressivos onde há a presença de poeira, oscilações de temperatura, umidade e até submersão em líquidos (quando projetada corretamente). A pneumática traz ainda vantagens quanto à facilidade de operação e manutenção de seus componentes.

Assim como as demais tecnologias, a pneumática também traz suas limitações. Entre elas destacam-se as altas velocidades, a difícil obtenção de velocidades uniformes e paradas intermediárias e limite de pressão máxima de 1723,6 kPa. Basicamente, existem quatro métodos de construção de circuitos pneumáticos: intuitivo, minimização de contatos (seqüência mínima), maximização de contatos (cadeia estacionária) e circuito lógico. Em um circuito, a parte pneumática representa o acionamento das partes



Celso Vicente: "Eletropneumática possui área de aplicação bem definida."

mecânicas, enquanto o circuito elétrico representa a seqüência de comandos dos componentes pneumáticos para que as partes móveis das máquinas ou equipamentos apresentem os movimentos finais desejados.

### EM SINTONIA COM O FUTURO

Já não é de hoje que o mundo caminha para a eliminação de cabos, seja lá onde eles estiverem instalados. No ambiente de chão-de-fábrica não poderia ser diferente. Sendo assim, é comum encontrar equipamentos comunicando-se em uma célula através de cabos e enviando dados para salas de controle pelo sistema *wireless*. Só para citar um exemplo, esta realidade já é presente em vários projetos das empresas de saneamento, onde, as estações elevatórias comunicam-se com os centros de operações via *wireless*.

Com a eletropneumática não poderia ser diferente e os primeiros equipamentos com envio de sinal em *wireless* já começam a aparecer no mercado. Diferentemente dos CLPs e das IHMs, que incorporaram o protocolo 802.11, a eletropneumática vai aparecer no mercado de automação comunicando-se através do protocolo Bluetooth, padrão de curto alcance e baixo custo. Com essa tecnologia, os usuários industriais de eletropneumática poderão criar redes com até oito dispositivos interligados, sendo um deles o mestre e os outros os escravos. Geralmente, nas aplicações com Bluetooth várias redes independentes e não sincronizadas podem se sobrepor ou existir na mesma área. Um sistema disperso chamado *scatternet* é responsável pela reunião de várias redes sobrepostas onde um grande número de dispositivos podem se comunicar.

No que diz respeito a colisões de dados, a eletropneumática deverá sair beneficiada por comunicar-se na tecnologia Bluetooth. É que cada canal desse protocolo está associado a uma espécie de “sub-rede” e é identificado pela seqüência de frequências e pelo relógio do dispositivo mestre. Como esse dispositivo é

responsável pelo controle de tráfego, são permitidas apenas comunicações ponto-a-ponto entre mestre e escravo, ou ponto a multiponto também no modo mestre/escravo.

Mas, apesar da novidade interessante, os usuários deverão esperar pelo menos uns três anos para ver a

cativas aconteceu quando as válvulas passaram a ser montadas em trilho Din adequando-se ao padrão de montagem encontrado na indústria. “Cada vez mais, os produtos estão caminhando para uma modularidade”, diz a gerente de marketing da Festo.

“Geralmente, quando se usa a pneumática está se buscando um custo menor, mas também com menor precisão nas paradas. Já a hidráulica tem custo mais alto, mas possui maior força motriz e melhor precisão”

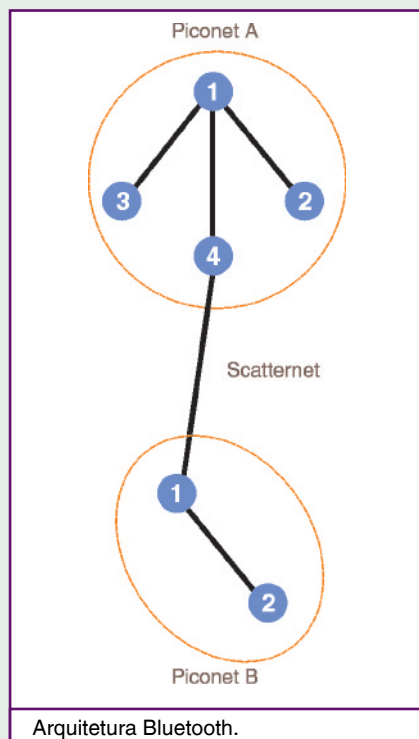
tecnologia empregada a todo vapor. “A curto prazo, a tecnologia *wireless* em pneumática não deverá vingar”, completa Daniel Gonçalves, lembrando que a Bosch Rexroth possui várias pesquisas nessa área, principalmente, no que diz respeito à confiabilidade de dados. A Festo Automação informou que não possui conhecimentos sobre a aplicação de rede *wireless* em eletropneumática, mas que na matriz alemã deve haver pesquisas sobre o assunto.

Embora aconteça de forma mais tímida que a elétrica, a parte física da pneumática também passa por mudanças. Uma das mais signifi-

A parte física da pneumática também passou a contar com novos componentes de vedação, o que permitiu aumentar a vida útil de válvulas bidirecionais. Lançadas no Brasil, há dez anos, as placas cerâmicas aparecem como alternativa aos carretéis de aço e plástico. São consideradas menos suscetíveis a ambientes agressivos e encontram grande aplicação nas indústrias de alumínio, papel e celulose e siderurgia. As válvulas com isolamento cerâmica são mais caras que as convencionais e, talvez por esse motivo, são pouco conhecidas no Brasil.

A válvula proporcional de pressão é outro exemplo do avanço na parte física da pneumática. Através de um sinal entre 0 e 10 volts, é possível obter uma pressão proporcional ao sinal enviado. Hoje, em geral, o usuário emprega as válvulas *on/off* que permitem deixar um circuito pneumático com ou sem pressão. A novidade pode fazer com que a tecnologia pneumática ganhe mais espaço nas indústrias de processo, desde que seja associada a equipamentos mecânicos.

Para Ana Cláudia, da Festo, cada vez mais, os usuários de eletropneumática devem ter produtos com tecnologia acoplada (cilindro e válvula), o que pode representar uma grande redução de espaço e custos com manutenção. A tendência beneficia, principalmente, os fabricantes de máquinas e equipamentos que sempre estão objetivando reduzir o tamanho de seus produtos. ■

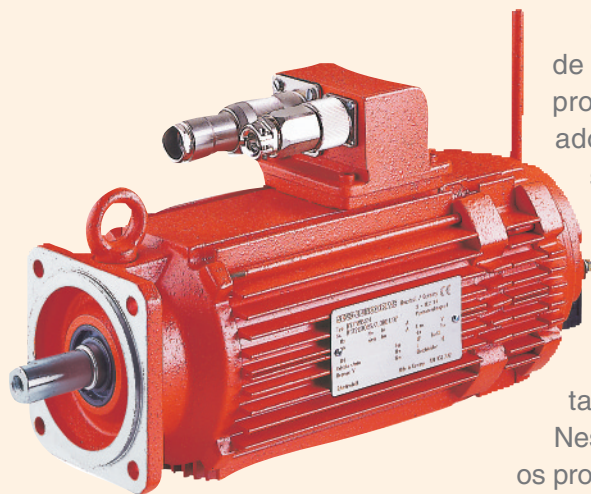




# Manutenção

## de Servomotores

Augusto Ottoboni\*



Globalização, redução de custos de fabricação, dinâmica, precisão de posicionamento, baixa manutenção ou simplesmente melhoria dos processos de fabricação. São inúmeras as razões pelas quais se tem adotado a utilização dos servomotores síncronos e assíncronos trifásicos na indústria nacional.

Cada vez mais capacitado, o profissional técnico das indústrias não se assusta mais com esta tecnologia e muitos já se aventuraram em sua utilização sem nenhum grau de arrependimento. Por outro lado, muitas são as dúvidas que ainda persistem na cabeça destes profissionais, principalmente os de manutenção, pois é justamente ali que o contato se torna mais freqüente e nada amigável. Neste artigo, levantamos algumas das dúvidas mais freqüentes com que os profissionais de manutenção se deparam em seu dia-a-dia no campo.

### 1. O vazamento de óleo para o servomotor pode prejudicar o funcionamento? Como?

Muitos servomotores estão conectados diretamente a redutores mecânicos e caixas de transmissão (**figura 1**). Este procedimento auxilia a eficiência do conjunto, pois minimiza o número de acoplamentos.

Porém, o servomotor necessita estar preparado para este procedimento, tendo um anel de retenção na ponta do seu eixo de saída para, assim, poder evitar que este óleo, presente tanto no redutor como na caixa de transmissão, passe para o seu interior.

O servomotor tem o mesmo princípio de funcionamento do motor

assíncrono trifásico. A circulação de corrente elétrica em seu estator provoca o aparecimento de um campo eletromagnético com sentido, direção e intensidade. Este campo se opõe ao campo magnético existente no rotor, criado a partir de ímãs colados de forma linear e simétrica sobre o rotor. Quando há vazamento do redutor ou caixa de transmissão para o servomotor e a quantidade de óleo é insuficiente para comprometer o funcionamento do servo, não há problema. Mas, como saber se a quantidade de óleo presente internamente no motor não o danificou?

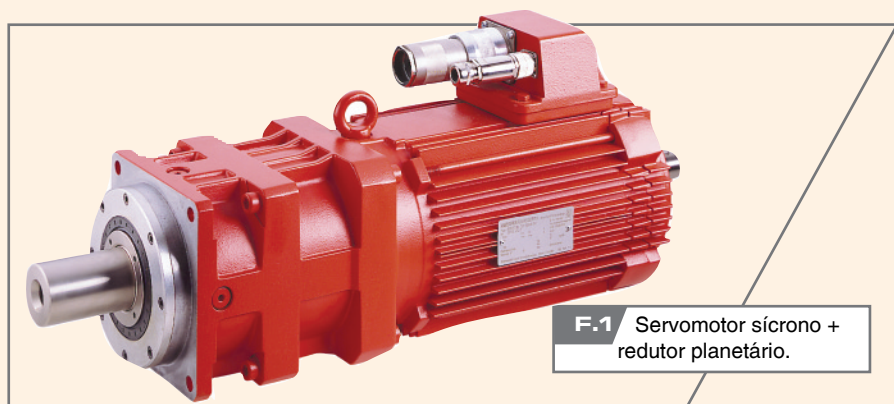
Primeiramente, sempre que houver a presença de óleo no interior do servomotor, haverá a necessidade de

desmontá-lo e retirar o rotor. Verificando a parte externa do rotor e a parte interna do estator, é possível constatar se há ou não marca de curto-circuito (arco voltaico). Este é o sinal mais forte de baixa isolamento, ou seja, se a quantidade de óleo que penetrou no servomotor foi suficiente para degradar a isolamento do mesmo.

Caso seja constatada a presença de tais sinais (normalmente têm aspecto de queima), significa que houve rompimento da isolamento do verniz do estator e, por consequência, curto-circuito para massa (terra); este curto-circuito gera um arco voltaico de alta corrente que além de danificar o estator, também desmagnetiza o rotor naquela região. Muitas empresas tentam recuperar tanto estator quanto rotor, sem sucesso.

### 2. Como saber se um rotor já trabalhou por muitos anos e avaliar se ele tem condições de uso ou não?

Caso seja constatado, visualmente, excesso de oxidação, lâminas de ímã descoladas, aspecto de desgaste (atrito com alguma parte do motor), presença de sinais que normalmente têm aspecto de queima, isso significa que o rotor se encontra em condições



**F.1** Servomotor síncrono + redutor planetário.

danosas ao funcionamento do servomotor. Porém, nada como colocá-lo em funcionamento para efetivamente testar suas reais condições. Este teste requer alguns cuidados.

**Lembre-se:** os servomotores possuem uma relação de fluxo eletromagnético (tensão/frequência) diferente da fornecida pela rede convencional de alimentação trifásica das concessionárias de energia elétrica, graças a sua bobinagem especialmente confeccionada para proporcionar maior dinâmica ao sistema.

Portanto, nada de alimentar o servomotor diretamente à rede trifásica, ele poderá queimar-se. Mas, e se na plaqueta de identificação do servomotor estiver marcando 220V trifásico de alimentação? A relação de fluxo eletromagnético da rede de alimentação é a seguinte:

$$\varnothing = \frac{V}{f} = \frac{220}{60} = 3,67$$

A relação de fluxo eletromagnético fornecida ao servomotor pelo servoconversor é totalmente diferente e não linear. Isto ocorre para possibilitar a extrema dinâmica e torque a que está sujeito o servomotor. Então, deve-se fazer os testes através de um servoconversor apropriado.

### 3. Como avaliar se a intensidade de campo magnético dos ímãs do estator está adequada ou não?

Esta avaliação necessita de equipamento específico, o que não é possível na maioria dos casos. Os servomotores novos, ainda na linha de produção, passam por um teste num equipamento chamado de freio eletromagnético ou dinamômetro, e nele é verificado seu torque nominal com seu rotor bloqueado.

Nos casos tradicionais (a maioria deles) onde não se dispõe de instrumentos específicos para medição, e justamente onde queremos chegar, também se pode estimar, de forma simples, a intensidade de campo magnético dos ímãs. Avaliar esta intensidade requer um pouco de habilidade e experiência, mas nada fora do comum.

O procedimento para a avaliação é o seguinte:

1. Desenergize o servomotor;
2. Com o motor completamente **montado** (estator + rotor), deixe o servomotor bem fixo na bancada;
3. Segure a ponta de eixo do servomotor e tente girá-lo em qualquer sentido (obviamente este teste vale para pequenos servomotores).

Nos servomotores de pequeno porte é possível girar o eixo e sentir certa dificuldade no movimento devido à mudança de polaridade, já nos servomotores de grande porte, este movimento não é possível devido à alta intensidade de campo magnético.

Em qualquer outra circunstância onde houver certa facilidade no girar do eixo, significa que este rotor está com campo magnético deficiente e, portanto, com algum problema. Veja na **figura 2** um servomotor em corte.

### 4. Quando a fita envolvente dos ímãs está com alguma parte que roçou na carcaça, o que pode implicar no seu funcionamento?

Este desgaste da fita pode identificar um possível problema mecânico no equipamento (rolamento danificado, desalinhamento, tampa deslocada, eixo empenado, etc...). Solucionado o problema, deve-se verificar visualmente se na região onde havia o desgaste da fita envolvente, há algum dano nos ímãs (deslocamento, trinca, etc...). Qualquer destas situações condena o rotor.

Descolamento de ímã do rotor pode significar que o servomotor sofreu um sobre-aquecimento ou algum impacto do rotor com o estator.

Não é aconselhável tentar colar o ímã novamente, pois, este é um processo automático e o processo manual pode gerar outros danos ao

servomotor. É aconselhável encaminhar o equipamento para pessoal especializado.

### 5. Umidade constante no servomotor: o que pode ocasionar nas peças?

Basicamente, oxidação nas partes metálicas, degradação na fita que recobre os ímãs do rotor e deterioração do verniz isolante do estator, levando à redução da vida útil do servomotor.

Nos casos onde houver a necessidade de utilizar o servomotor em condições de extrema umidade, deve-se especificar o equipamento com grau de proteção IP65 (próprio para estas situações).

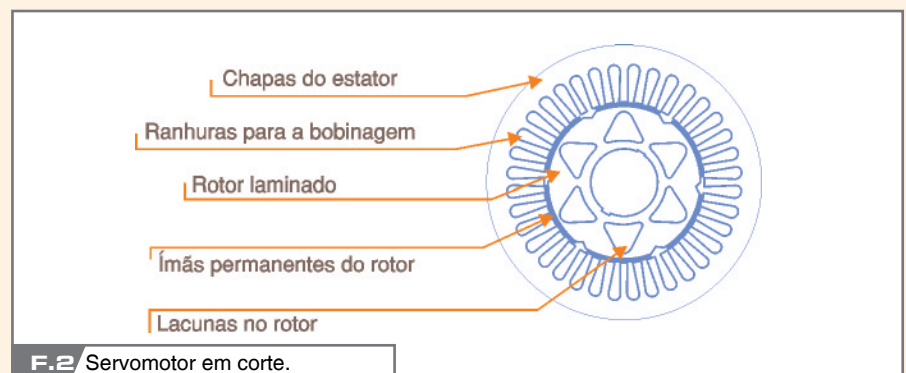
### 6. Em quais aplicações, é recomendável o uso de servomotores com grau de proteção IP65?

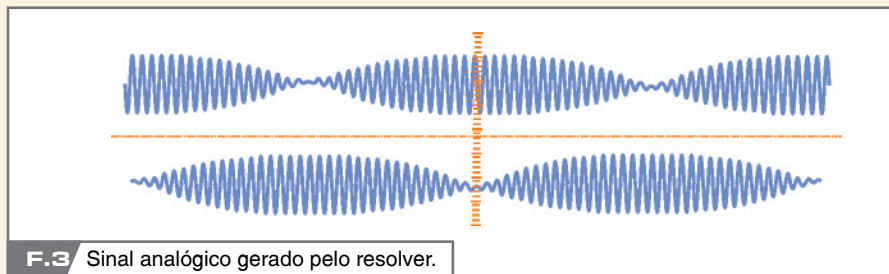
Normalmente, máquinas-ferramenta e operatrizes, ou seja, de usinagem em geral, utilizam servomotores para deslocamento de eixos, mesas e fusos. Os processos de usinagem exigem dinâmica e precisão (posição e rotação), mas também necessitam de fluidos refrigerantes em suas ferramentas de corte. Este fluido vaporiza-se em determinadas situações da usinagem fazendo com que o ambiente de trabalho do servomotor se torne agressivo em termos de umidade.

Empresas do ramo alimentício e de bebidas também têm um alto índice de umidade, nestes casos também é aconselhado a utilização de grau de proteção IP65 ou maior.

### 7. Para que serve o “resolver”?

O *resolver* é um gerador de sinais analógicos (**figura 3**) que fornece





F.3 Sinal analógico gerado pelo resolver.

ao servoconversor a condição de avaliar a velocidade e o posicionamento do servomotor. Seu funcionamento é similar ao *encoder digital*, com a vantagem de resistir melhor às vibrações, alta temperatura e umidade.

### 8. “Resolver” - quais os defeitos mais comuns? O que pode provocar um destes defeitos?

O “Resolver” é um dos geradores de sinais mais resistentes, tanto em sua mecânica, quanto em sua estrutura elétrica. Normalmente, os defeitos mais comuns são oriundos de problemas na ligação entre o servomotor e o servoconversor:

- Inversão dos canais de sinal (A+B);
- Cabo de sinal inadequado (impedância muito alta);
- Deslocamento do ponto zero do *resolver*: este acontece quando pessoal não habilitado retira o *resolver* na desmontagem do servomotor (nunca retire o *resolver*!).

### 9. Como medir a resistência do servomotor?

O servomotor tem alimentação trifásica (fornecida pelo servoconversor) e pelo princípio de funcionamento de motores trifásicos (quaisquer) há a necessidade de um balanceamento entre suas fases. Este balanceamento faz com que o valor de resistência entre as bobinas do servomotor possua valores de resistência bem próximos entre si. A medição é realizada sempre entre duas fases e através de um ohmímetro.

### 10. Como identificar a ligação do motor quando há perda da placa de bornes ou danos?

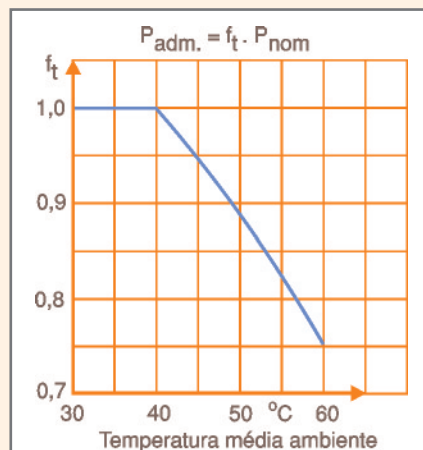
O ideal (e também mais rápido) é através da comparação com a liga-

ção de um servomotor similar e, após as ligações, conectá-lo ao servoconversor para ver se não gera falha. Normalmente, o servomotor possui apenas três terminais de ligação (U,V,W), portanto, o problema reside na ligação entre servomotor e servoconversor, o ideal é manter a relação U-U, V-V e W-W, para manter a sequência de fases correta.

### 11. Qual temperatura ideal de trabalho para o servomotor?

A temperatura ambiente ideal é de 40 °C. Porém, os servomotores síncronos não têm grandes problemas com temperatura e, portanto, não necessitam de ventilação para auxiliar na refrigeração. Para temperaturas acima de 40 °C é possível trabalhar utilizando potência reduzida. Observe na **figura 4** o gráfico Potência x Temperatura.

A ventilação forçada em servomotores serve para poder retirar mais torque do que o nominal de plaqueta. Portanto, numa situação de manutenção onde a substituição do servomotor se faz necessária, é imprescindível a substituição do servomotor por outro com as mesmas características ou,

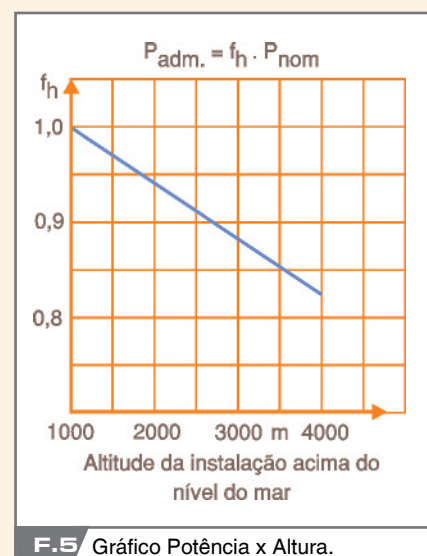


F.4 Gráfico Potência x Temperatura.

em certos casos, a solicitação de pessoal especializado para avaliar a aplicação e redimensionar o sistema.

### 12. A altitude influencia no comportamento do servomotor?

Da mesma forma que no motor assíncrono trifásico convencional, o comportamento do servomotor acima de 1000 metros do nível do mar sofre alterações. Quanto mais alto, menor é a quantidade de oxigênio presente na atmosfera (mais rarefeito fica o ar). Assim, o servomotor deve trabalhar com potência reduzida e limitada a operar a no máximo 4000 metros de altitude (veja **figura 5**).



F.5 Gráfico Potência x Altura.

## CONCLUSÃO

As respostas aqui apresentadas para estas perguntas, com certeza, não resolvem 100% dos casos encontrados no campo, porém, servem de procedimentos a serem seguidos para eliminar possíveis causas de futuros problemas. Estas respostas foram elaboradas em conjunto com experientes especialistas de Engenharia, Manutenção e Assistência Técnica que vivenciam situações como estas diariamente. ■

\*Augusto Ottoboni é consultor técnico pleno da SEW Eurodrive.



# Desmitificando a visão artificial nas aplicações industriais

Ronei Rossetti \*

Gilberto Jana \*\*

Como entender visão artificial sem compará-la com a visão real? Imagine a visualização de um objeto através de uma câmera e que seja possível armazenar a imagem capturada por ela. Se pudermos interagir com essa imagem que é, na verdade, um retrato fiel do objeto, fazendo verificações de conformidade de forma extremamente veloz, entenderemos melhor o que vem a ser a visão artificial: um *super sensor*.

**A**s aplicações industriais para a visão artificial vieram com os equipamentos denominados sistemas de visão ou verificadores de imagem. Esses equipamentos permitem a verificação da imagem de um produto comparando-a com um padrão e obtendo uma resposta “sim” ou “não”. Como toda tecnologia nova, as primeiras soluções com sistemas de visão eram grandes, caras e difíceis de programar. Só eram utilizadas em situações onde nenhum outro recurso tinha a mínima possibilidade de dar certo.

Um conjunto básico para um sistema de visão consiste apenas de uma câmera e um controlador (veja **figura 1**), dispensando, em muitos casos, até mesmo o computador e o monitor (o controlador pode ser montado dentro do painel da máquina).

Embora haja vários tipos de câmeras, as mais usadas são do tipo CCD (*Charged Coupled Devices*), normalmente num substrato de silício, que consiste basicamente de um sensor que converte sinais luminosos em elétricos. O sensor CCD é distribuído como uma matriz, sendo que cada parte é chamada *pixel*.

Observando a **figura 2**, vamos supor que a pastilha seja empregada numa câmera com possibilidade de visualizar apenas tons de cinza (sis-

temas coloridos requerem interpretação mais complicada). Suponhamos também que cada *pixel* tenha uma resolução de 8 bits, ou seja, cada um deles possa diferenciar até 256 tons de cinza. Teremos então uma quantidade total de *pixels* a serem analisadas de  $22 \times 22 = 484$ , vezes 8 bits por pixel, dando no total 3872 bits de informação a ser armazenada no controlador ou computador, dependendo do sistema usado.

Embora não exista regra geral, os vários tipos de câmera aplicados em sistemas de visão possuem um sensor CCD com uma quantidade de pelo menos 480 colunas por 480 linhas. Usando o exemplo citado percebe-se

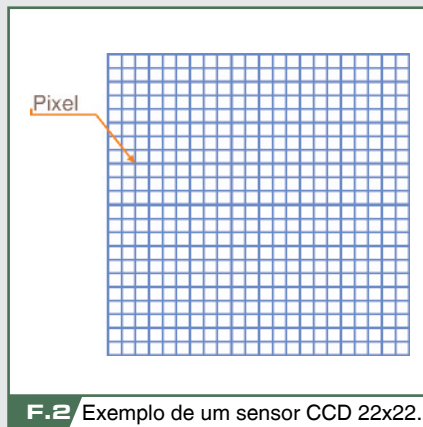
que a quantidade de informação a ser armazenada é extremamente grande, o que exige do controlador altíssima velocidade de processamento, sendo esse um dos aspectos determinantes da velocidade de resposta do sistema. As aplicações de sistemas de visão, geralmente, trabalham numa velocidade total (captura, armazenamento, processamento e resultado) de 30 milissegundos ( $\sim 1/30$  segundo).

Pode-se encontrar no mercado, sistemas de visão que utilizam um computador como controlador, outros possuem controladores que podem ou não estar embutidos numa câmera. Estes últimos possuem a vantagem de ter entradas e saídas digitais incorporadas, o que elimina a necessidade de equipamentos adicionais. Nesse caso, o próprio controlador pode comandar diretamente os outros equipamentos que fazem parte do processo. Também há no mercado controladores mais robustos que podem controlar, simultaneamente, dois sistemas de visão artificial, o que resulta em redução de custo.

Outro aspecto importante é quanto ao método de programação do controlador, pois, isso pode ser um fator complicador na hora da implantação



**F.1** Conjunto básico para uma solução com sistema de visão.



F.2 Exemplo de um sensor CCD 22x22.

do sistema. Alguns equipamentos permitem a desconexão de periféricos após a alteração no programa. Entretanto, alguns sistemas requerem o auxílio de um computador auxiliar conectado.

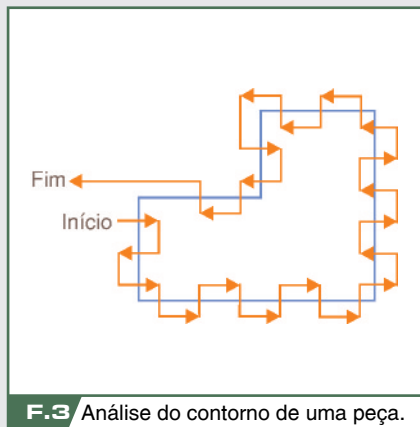
Durante a escolha do equipamento deve ser observada ainda a facilidade na alteração de parâmetros, quantidade de programas residentes e quantidade de características possíveis de serem avaliadas em cada programa.

Como a quantidade de informação a ser processada é muito grande, devem existir recursos que permitam uma otimização do controlador durante a captura da imagem. Um exemplo é mostrado na **figura 3** onde o interesse é apenas analisar o contorno da peça. Nesse caso, o controlador pode detectar bordas ou fronteiras, desprezando outras características como área, posição, baricentro, etc.

### A ILUMINAÇÃO

Como o sistema de visão é muito rápido e a captura da imagem a ser analisada é feita por uma câmera, o ambiente, mais especificamente, a iluminação, é de suma importância. Sombras e outras interferências podem comprometer a repetibilidade das análises e tornar o sistema instável. A iluminação deve ser criteriosamente analisada em ensaios laboratoriais antes de qualquer possibilidade de especificação do conjunto. Veja, na **figura 4**, alguns exemplos de iluminações utilizadas com sistemas de visão.

Representando a parte mais complicada do sistema, a iluminação pode, por si só, determinar a viabilidade



F.3 Análise do contorno de uma peça.

técnica e econômica da aplicação. Algumas vezes, o custo da iluminação chega a superar o custo do próprio equipamento de verificação da imagem. Existem alguns equipamentos de verificação de imagem que propõem correções dos problemas decorrentes de má iluminação através de algoritmos, porém, isso só é verdade em casos muito específicos, não sendo regra geral, nem algo milagroso, que permita a estabilidade desejada.

Com base em tudo o que foi exposto até aqui, fica claro que este tipo de equipamento precisa não só ser criteriosamente escolhido, como também ensaiado em laboratório e, depois, ajus-

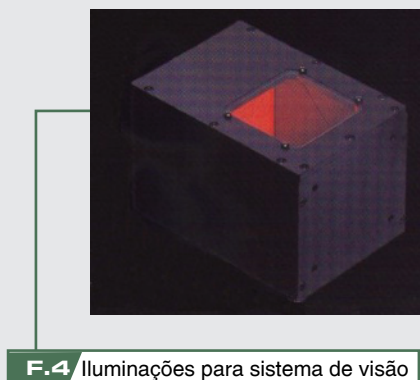
tado no local da aplicação. Esse trabalho deve ser desenvolvido em conjunto com o fornecedor, visto que sua implantação requer tempo e recursos, e uma informação incompleta poderá comprometer toda a eficácia da aplicação.

### APLICAÇÕES

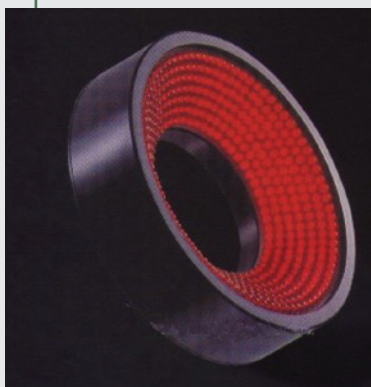
Devido à grande redução de custo que os equipamentos para inspeção visual sofreram nos últimos tempos, o número de aplicações tem aumentado substancialmente. O emprego tem ocorrido, principalmente, em situações onde o ser humano se cansa rapidamente de tarefas repetitivas. Exemplo: observar se o rótulo de uma embalagem está bem posicionado; presença de objeto estranho no interior de um vasilhame, data de validade de produtos (reconhecimento de caracteres).

Esse tipo de inspeção vem sendo feito tanto em processos contínuos como aplicações tipo "pick and place", onde o resultado da posição de uma peça obtido pelo sistema de visão é passado para o manipulador que vai até o local exato para pegá-la.

As possibilidades de aplicação são muitas e os equipamentos estão cada vez mais sofisticados. Aplicando-se esta tecnologia é possível obter processos de fabricação de produtos com muito mais qualidade.



F.4 Iluminações para sistema de visão



\*Gilberto Abrão Jana Filho é gerente de engenharia da Metaltex.  
\*Ronei Rossetti é engenheiro de aplicações da Metaltex.

# Comparação de sistemas com motores de passo e servomotores

Jeff Kordik\*

Os sistemas com motores de passo e servomotores são usados igualmente em aplicações de controle de movimento de alta performance e alta precisão. Essas aplicações incluem a automação industrial, equipamentos semicondutores, biotecnologia, jogos e muitos outros usos. O mercado total para tais dispositivos supera US\$ 1 bilhão por ano.

Com motores de passo e servos competindo nas aplicações, como pode o consumidor decidir qual é o melhor? A maioria já deve ter ouvido que motores de passo “são mais econômicos” e que os servos “são mais rápidos”. Para fazer uma escolha inteligente, devemos analisar o problema mais profundamente. Este artigo examina os destaques, pontos fortes e fracos dos sistemas com servos e motores de passo. Nós também comparamos, em detalhes, um sistema real de cada tipo e avaliamos sua conveniência para uma aplicação.

## PREÇO E PERFORMANCE

Para comparação, escolhemos dois sistemas na mesma faixa de potência: 70 - 100 watts. Ambos, motores de passo e servos, exigem elementos eletrônicos de controle, de modo que também os incluímos na comparação. O sistema 1 usa um motor de passo HT23-400 e um *driver* programável 3540i. O 3540i inclui um amplificador e um controlador que pode ser programado pelo usuário para operar sozinho ou receber comandos de um PC hospedeiro, PLC ou outro tipo de computador. Esse *driver* pode ser ligado em rede para aplicações multi-eixo usando RS-485 ou ainda um Hub SINET Motion Control Network. O sistema de motores de passo é mostrado na **figura 1**. Para comparação escolhemos um sistema de servo de 100 W con-

sistindo em um servomotor A100 e um *drive* programável BLU100-Si. Esse sistema 2 é mostrado na **figura 2**. O BLU100-Si inclui todos os recursos programáveis do 3540i mais alguns outros relacionados com servos.

A **tabela 1** apresenta a lista de preços dos sistemas 1 e 2, assim como outros sistemas que discutiremos posteriormente. O *servo-drive* custa US\$ 200 mais do que o *drive* de motor de passo e os comandos

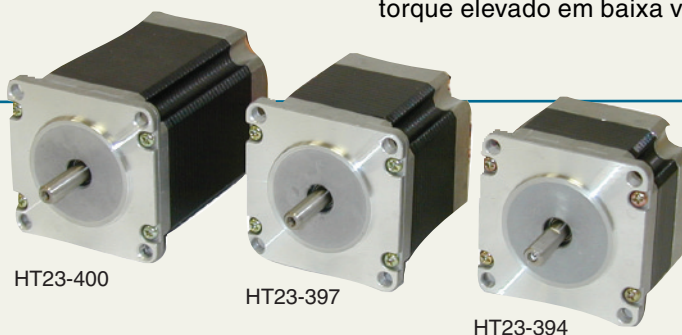
do servomotor possuem um prêmio de US\$ 399. Tipicamente, os sistemas de servo de mesma potência custam mais do que os sistemas de motores de passo.

Na **tabela 2** fornecemos a potência contínua máxima de cada sistema. O motor de passo tem sua potência de pico em 900 rpm, onde o torque é de 0,78 N.m. A potência é o produto da velocidade pelo torque, ou seja:

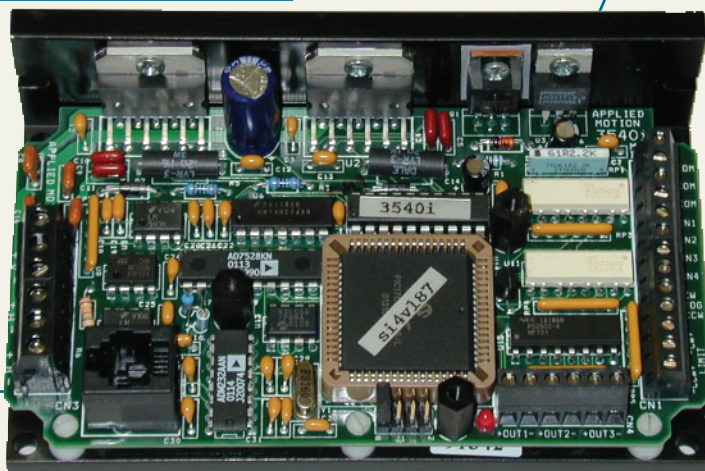
$$P = 0,104.V.T$$

onde V é a velocidade em rpm e T é o torque em N.m.

A potência de pico do servo é de 3000 rpm, muito maior do que a do motor de passo. Isso pode ser ou não ser bom. Se a aplicação requer torque elevado em baixa velocidade,

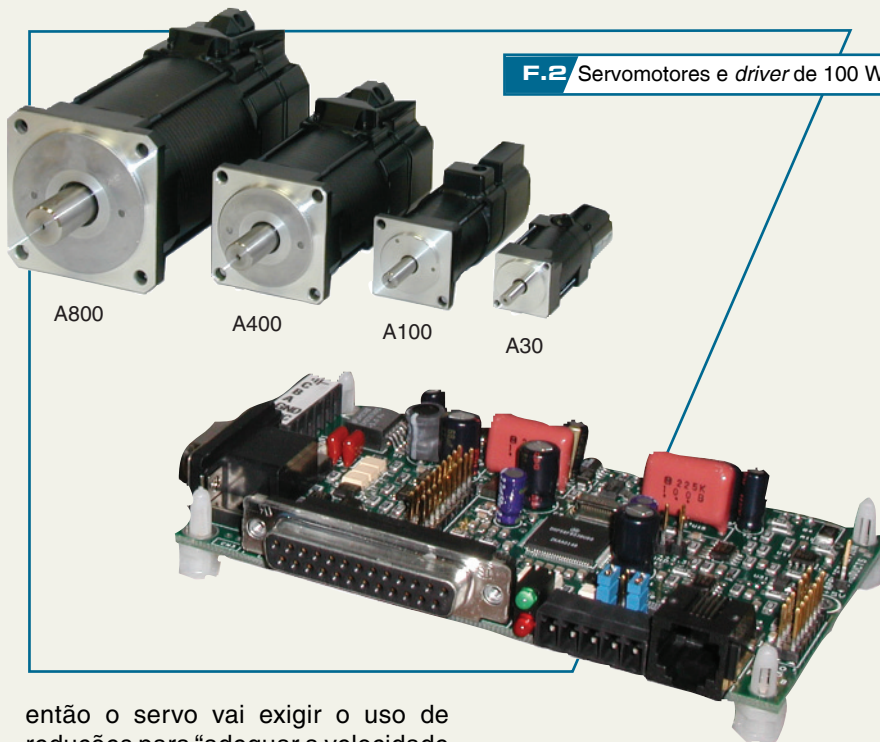


**F.1** Motores de passo e *drive* de 140 W.





F.2 Servomotores e driver de 100 W.



então o servo vai exigir o uso de reduções para “adequar a velocidade para o torque”. Os servos, geralmente, têm menor torque que os motores de passo de mesma potência, mas podem rodar mais rapidamente.

A **figura 3** ilustra um gráfico do torque versus a velocidade para o motor de passo HT23-400 e o servomotor A100. Também incluímos um servo maior, o A200, para uma finalidade que ficará clara brevemente.

Vamos considerar uma aplicação prática. Se o sistema roda a 300 rpm, então o motor de passo leva uma vantagem clara. Em 300 rpm, o HT23-400 tem um torque de 0,99 N.m. O servo A100 tem apenas 0,32 N.m. O único modo de fazer com que o servo consiga ter maior torque é acrescentar uma redução de 3:1 como no sistema 3. Isso aumenta a saída de 300 rpm do A100 em 3x. Com isso, o A100 pode produzir um torque de 0,95 N.m, quase o mesmo que o motor de passo. A **tabela 3** compara os valores de torque.

Mas, o sistema 3 custa US\$ 1533, comparado com US\$ 481 do motor de passo. Além disso, a redução apenas faz o preço do servo piorar. Além disso, se o sistema exige qualquer necessidade de alta velocidade, como uma “aceleração rápida”, o A100 com redução não pode alcançá-la. O A100 está limitado a 3000 rpm e 5000 rpm de pico. Com

uma redução de 3:1 da caixa de redução, a velocidade de saída na carga está limitada a 1000 rpm contínuos e 1666 rpm de pico.

Outra solução para o problema do torque em baixa velocidade é empregar um servomotor maior como o A200. Este deve requerer também um *drive* maior, o BLU200-Si (veja **tabela 1** para o preço e **figura 4** para a foto do *drive*). Mesmo com um *drive* mais caro, o sistema 4, na verdade, custa menos que o sistema 3 - o que usa a cabeça de redução.

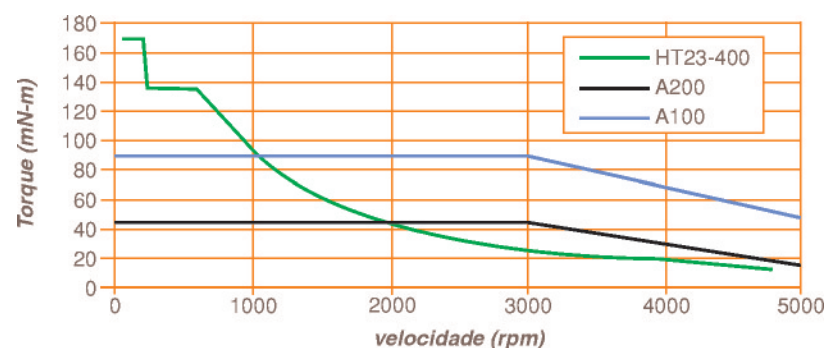
Como visto na **tabela 3**, o torque de saída do A200 é de apenas 0,64 N.m, o que pode ser suficiente. Motores de passo podem ser operados com um aumento da margem de torque em comparação aos servos porque eles podem apresentar uma redução de torque devido à ressonância. Um motor de passo de 0,99 N.m pode não

ITEM	SISTEMA			
	1	2	3	4
3540i Step Motor Drive	\$375			
BLU100-Si Servo Motor Drive		\$575	\$575	
BLU200-Si Servo Motor Drive				\$680
HT23-400 Motor de passo	\$106			
A100 Servo Motor		\$505	\$505	
A200 Servo Motor				
17PN003 Redução (3:1)			\$453	\$590
Sistema Total	\$481	\$1,080	\$1,533	\$1,270

T.1 Preço dos componentes e sistemas.

		3540i 42 V HT23-400	BLU100 Si 48 V A100
Potência Contínua	W	73	100
Na Velocidade	rpm	900	3000
No Torque	N-m	0,78	0,32

T.2 Comparação de potência.



F.3 Torque versus velocidade para 3 sistemas.

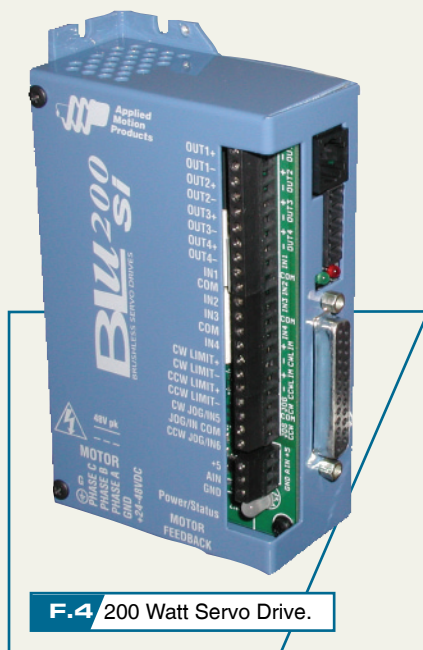
		3540i 42V HT23-400	BLU100-Si 48V A100	BLU100-Si 48V A100 com redução de 3:1 gear	BLU200-Si 48V A200
Potência Contínua W		73	100	100	200
Na velocidade	rpm	900	3000	1000	3000
No torque	N-m	0,78	0,32	0,95	0,64
Torque em rpm	N-m				
300		0,99	0,32	0,95	0,64
1800		0,35	0,32	0,00	0,64
3000		0,16	0,32	0,00	0,64

T.3 Comparação de torque.

operar provavelmente em 0,64 N.m, o que significa que o A200 deve ganhar a competição.

E se a aplicação exigir uma operação em 1800 rpm? Analisando o gráfico da **figura 3**, podemos ver que o torque do HT23-400 em 1800 rpm é de 0,35 N.m. O A100 só pode conseguir isso com uma cabeça de redução. Mas, obter o mesmo torque por mais dinheiro não é o que a maioria dos usuários pretende. O sistema A200 proporciona 2x o torque para 2,6 x o custo, e isso não é bom, a não ser que outros fatores sejam considerados. Vamos analisar esses fatores.

Se a aplicação requer 3000 rpm, então os servos devem dominar. Tomando um motor de passo para rodar em 3000 rpm é difícil e arriscado. Os servos rodam bem em 3000



F.4 200 Watt Servo Drive.

rpm proporcionando torque total neste caso.

Começamos a formular alguns limites para ao quais cada tipo de motor deve ser aplicado. Em 300 rpm o sistema de motor de passo tem torque superior e melhor preço. Em 3000 rpm o sistema de servo domina, apesar do preço maior. Em 1800 rpm, o motor de passo tem maior torque para o preço, mas outros fatores jogam em favor do servo. Vejamos esses fatores.

## ACELERAÇÃO

Para processos de alta velocidade, não importa tanto o torque ou a velocidade, mas sim o tempo do ciclo. Para produzir muitas peças rapidamente, devemos ter o movimento mais rápido ponto a ponto. Isso depende da aceleração. Os movimentos rápidos são freqüentemente 50% de aceleração e 50% de desaceleração, e apenas uma pequena parcela de tempo em velocidade constante. Esses movimentos são denominados “triangulares” porque o gráfico velocidade x tempo se assemelha a um triângulo.

Se pudermos aumentar a taxa de aceleração de um movimento triangular, o tempo de movimento diminuirá significativamente. A aceleração é determinada pelo torque do motor dividido pela inércia. Quando a inércia é dada em g.cm<sup>2</sup> e o torque em

		3540i 42V HT23-400	BLU100-Si 48V A100	BLU100-Si 48V A100 com redução de 3:1	BLU200-Si 48V A200
Torque na velocidade					
300 rpm	N-m	0,99	0,32	0,95	0,64
1800 rpm	N-m	0,35	0,32	0,00	0,64
3000 rpm	N-m	0,16	0,32	0,00	0,64
Inércia do motor	g-cm <sup>2</sup>	480	42	42	200
Inércia na carga refletida	g-cm <sup>2</sup>	400	400	44	400
Inércia total no motor	g-cm <sup>2</sup>	880	442	86	600
Tempo para velocidade					
300 rpm	ms	2,796	4,369	0,855	2,966
1800 rpm	ms	46,976	26,216	n/a	17,794
3000 rpm	ms	177,940	43,393	n/a	29,452

T.4 Comparando torque, inércia e aceleração.

N.m, podemos calcular a aceleração em rpm/s da seguinte forma:

$$A = 95,5 \cdot 10^6 \frac{T}{J}$$

Quando se calcula a taxa de aceleração, inércia e torque devem ser levados em conta, e os servos têm uma inércia muito menor do que os motores de passo. Considere uma aplicação onde a inércia de carga é 400 g.cm<sup>2</sup>. O motor HT23-400 tem uma inércia de 480 g.cm<sup>2</sup>, dando um total de 880 g.cm<sup>2</sup>. A aceleração máxima até 300 rpm, para o motor de passo é:

$$A = (95,5 \cdot 10^6) \frac{0,99 \text{ N.m}}{880 \text{ g.cm}^2}$$

$$A = 106.000 \text{ rpm/s}$$

$$\Delta T = \frac{V}{A} = \frac{300 \text{ rpm}}{106.000 \text{ rpm/s}} = 0,003 \text{ s}$$

e para o servomotor na mesma rotação:

$$A = (95,5 \cdot 10^6) \frac{0,32 \text{ N.m}}{442 \text{ g.cm}^2}$$

$$A = 69.140 \text{ rpm/s}$$

$$\Delta T = \frac{V}{A} = \frac{300 \text{ rpm}}{69.140 \text{ rpm/s}} = 0,004 \text{ s}$$

Podemos alcançar 300 rpm em aproximadamente 0,003 segundos.

Se a velocidade visada é 1800 rpm, então estamos limitados a 0,35 N.m, e então a taxa de aceleração torna-se 37,983 rpm/s. O sistema 2 de servo A100 tem apenas 42 g.cm<sup>2</sup> de inércia, de modo que ele não precisa de muito torque para acelerar uma carga leve. Então, a taxa de aceleração do servo é baseada no torque disponível (0,32 N.m) e na inércia total de 442 g.cm<sup>2</sup>. O servo alcança 300 rpm em 0,003 segundos, muito próximo do motor de passo, e alcança 1800 rpm em aproximadamente metade do tempo do motor de passo. A aceleração do motor de passo até 1800 rpm será:

$$A = (95,5 \cdot 10^6) \frac{0,35 \text{ N.m}}{880 \text{ g.cm}^2}$$

$$A = 37.983 \text{ rpm/s}$$

$$\Delta T = \frac{V}{A} = \frac{1800 \text{ rpm}}{37.983 \text{ rpm/s}} = 0,047 \text{ s}$$

Enquanto que a aceleração do servo até 1800 rpm será:

$$A = (95,5 \cdot 10^6) \frac{0,32 \text{ N.m}}{442 \text{ g.cm}^2}$$

$$A = 69.140 \text{ rpm/s}$$

$$\Delta T = \frac{V}{A} = \frac{1800 \text{ rpm}}{69.140 \text{ rpm/s}} = 0,024 \text{ s}$$

A **tabela 4** mostra a relação tempo e velocidade para os quatro sistemas com uma carga de 400

g.cm<sup>2</sup>. Estes números são apenas para comparação. Num sistema real não é desejável que estes valores de aceleração sejam encontrados, porque assumem que todo o torque é aplicado na aceleração. Num sistema real, algum torque é usado para vencer o atrito. Além disso, você deve deixar uma certa margem de torque.

E o que acontece se a carga for maior? Fizemos alguns cálculos com uma carga de 2000 g.cm<sup>2</sup>. Agora o sistema é dominado pela inércia da carga, e então os servos perdem a sua vantagem de “torque para inércia”, como pode ser visto na **tabela 5**.

#### DESTAQUES E COMPLEXIDADE

Ainda em relação ao assunto da inércia da carga, é um bom momento para discutir alguns destaques especiais dos servos. Os servos são, por natureza, do tipo “closed loop”. O motor e/ou a carga devem estar conectados para fornecer uma realimentação precisa. Usualmente, isso é feito por um *encoder* óptico ou *resolver*. Esse dispositivo de realimentação informa ao controlador onde o motor e a carga estão durante todo o tempo. Eles também proporcionam informações sobre a velocidade. Os sistemas de motor de passo também podem empregar um *encoder* para realimentação, mas não da mesma forma.

		3540i 42V HT23-400	BLU100-Si 48V A100	BLU100-Si 48V A100 com redução de 3:1	BLU200-Si 48V A200
Torque na velocidade					
300 rpm	N.m	0,99	0,32	0,95	0,64
1800 rpm	N.m	0,35	0,32	0,00	0,64
3000 rpm	N.m	0,16	0,32	0,00	0,64
Inércia do motor g.cm <sup>2</sup>		480	42	42	200
Inércia na carga refletida g.cm <sup>2</sup>		2000	2000	222	2000
Inércia total no motor g.cm <sup>2</sup>		2480	2042	264	2200
Tempo para velocidade					
300 rpm	ms	7,880	20,186	2,612	10,874
1800 rpm	ms	132,387	121,118	n/a	65,245
3000 rpm	ms	501,467	200,473	n/a	107,992



De fato, o 3540i pode utilizar um *encoder* como opção. Sistemas baratos de motores de passo baseados em *encoder* não são usualmente “servos”, mas pode-se verificar que o motor não se paralisa ou sofre interferências na posição desejada por uma força externa.

Os sistemas de servo ajustam constantemente os sinais de comando baseados em realimentação do motor. Isso permite aos servos superarem distúrbios inesperados e serem automaticamente compensados contra ressonância. Eles são eficientes, usando apenas a energia que a carga precisa para ser movida. E são também, geralmente, silenciosos dada a distância entre a ressonância e o uso eficiente da potência.

Mas os servos precisam ser ajustados para o *loop* de controle e as condições de carga. Um sistema típico de servo usa um *loop* de posição PID (Proporcional, Integral, Derivativo). Além disso, existem muitos parâmetros de realimentação e excitação que têm de ser usados nos cálculos. Os sistemas de motores de passo são populares não apenas pelo baixo custo, mas também por que eles são simples de entender e empregar.

Existem limites para todos os sistemas de controle de servos. Um deles é a relação de inércia. Tradicionalmente, os fabricantes dos *drives* de servos recomendam um limite de 10:1 para a relação carga inércia do motor. Muitos *drives* modernos podem manusear maiores relações, especialmente com comutação senoidal e recursos de *feed forward*. Mas os limites ainda se aplicam. O sistema 2 com uma carga de 2000 g.cm<sup>2</sup> deve ter um casamento de inércia de  $2000/41 = 47$  ou 47,6:1. Isso pode afetar a estabilidade.

Velocidade	Velocidade ripple, rpm, pico	
	3540i + HT23-400	BLU100-Si + A100
10 rpm	25	3
300 rpm	25	12
1800 rpm	65	48

**T.6** Ripple de Velocidade.

A adição de caixas de redução ajuda consideravelmente, porque a inércia da carga, quando “refletida” para o motor através das engrenagens é proporcional ao quadrado da taxa de redução. Uma caixa de redução de 3:1 reduz a velocidade do motor em 3x, e reduz a inércia refletida em 9x. Assim, o sistema 2 de motor A100, vê uma inércia de carga de  $2000/9 = 222$  g.cm<sup>2</sup>. A relação deve ser  $222/42 = 5,3:1$ , o que é excelente.

O motor A200 tem um tamanho maior do que o A100 assim, sua inércia também é maior. A relação de inércia do A200 com uma carga de 200 g.cm<sup>2</sup> é de  $2000/200 = 10:1$ .

Servos têm ainda vantagens adicionais em relação aos motores de passo devido a sua natureza de “closed loop”. Por exemplo, a corrente pode ser monitorada como uma medida da carga. Se o sistema sofrer carga, o atrito e a corrente aumentam. Um sistema de servo pode detectar isso e alertar o operador de manutenção. A velocidade instantânea e erros de posição também podem ser informados. Além disso, um servomotor pode ser “desligado” enquanto o *encoder* permanece ligado. Dessa forma, se o operador movimentar a carga, o drive ainda continua sabendo onde ela se encontra.

Os servos podem ser operados no modo de torque, o que é útil em aplicações tais como a vedação de garrafas, colocação de parafusos e tensionamento de fios. Os motores não podem manusear aplicações onde se necessita de torque constante.

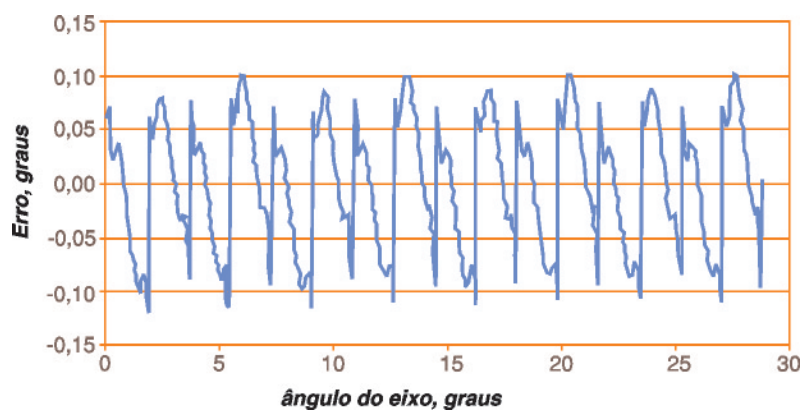
Os servos podem ser sobre-excitados de modo a aumentar o torque. Eles podem suportar tipicamente correntes até 3 vezes maiores que a corrente nominal de modo a ajudar a vencer variações inesperadas de carga ou para se obter uma aceleração rápida.

## POSICIONAMENTO FINO

Devido ao fato de que eles empregam realimentação e *loops* sofisticados de controle, os servos bem ajustados operam de uma forma mais fina do que os motores de passo. Eles possuem menor variação de torque e menor variação de velocidade. Para comparação, programamos o sistema 1 e o sistema 2 para operação em três velocidades diferentes: muito baixa (10 rpm), baixa (300 rpm) e rápida (1800 rpm). Medimos as variações de velocidade usando um tacômetro analógico de precisão e um osciloscópio digital. O resultado dos testes aparece na **tabela 6**. O servo teve uma performance muito melhor do que o motor de passo nas baixas velocidades, especialmente nas muito baixas como 10 rpm. É importante ter o servo apropriadamente ajustado ou um aumento do *ripple* de velocidade pode ocorrer.

## PRECISÃO

Dado que o servomotor possui um dispositivo de realimentação como



**F.5** Precisão de posicionamento de um sistema com motor de passo.

um *encoder*, deve-se esperar que ele tenha um posicionamento mais preciso. Se apropriadamente ajustado, ele pode ficar numa faixa de  $\pm 1$  da contagem do *encoder* na posição comandada. Porém, um ajuste pobre pode levar a uma “oscilação” onde o motor se move, forçando o *encoder* a uma contagem onde ele deveria estar parado.

Os sistemas de motor de passo são normalmente *open loop*, o que significa que eles aplicam corrente aos enrolamentos do motor e esperam que as leis da Física façam o resto. Previsões sobre as características do motor são feitas, especialmente torque x deslocamento, quando o *driver* do motor é projetado. Mas, os motores variam sensivelmente de um modelo para outro, devido às diferenças entre as geometrias do circuito magnético (forma do dente, força do ímã, *air gap*, por exemplo). Os *drivers standard* como o 3540i são vendidos para diferentes consumidores e podem ser usados com motores diferentes. Isso significa que o projetista deve calcular as tabelas de passo para um motor

“médio”, o que pode afetar a agudeza e a precisão de funcionamento.

Para poder desenhar uma curva comparativa, programamos os sistemas 1 e 2 para passos vagarosos quando acoplados a um *encoder* óptico de alta resolução.

As leituras do *encoder* foram comparadas com a posição ideal do motor de tal forma que o erro pode ser calculado. Usamos a opção de *encoder* do 3540i para conectar um *encoder* de 120 000 cont/ver a um PC para coletar os dados.

Os resultados estão plotados nas **figuras 5 e 6**. O sistema com motor de passo tem um padrão cilíndrico que se repete quatro vezes por ciclo elétrico (200 vezes por rotação do eixo). Isso sugere que as tabelas de passo do *drive* podem ser ajustadas para compensar os erros. Em situações especiais os fabricantes algumas vezes fornecem tabelas especiais para determinados tipos de motor de modo a se obter a performance ótima na aplicação.

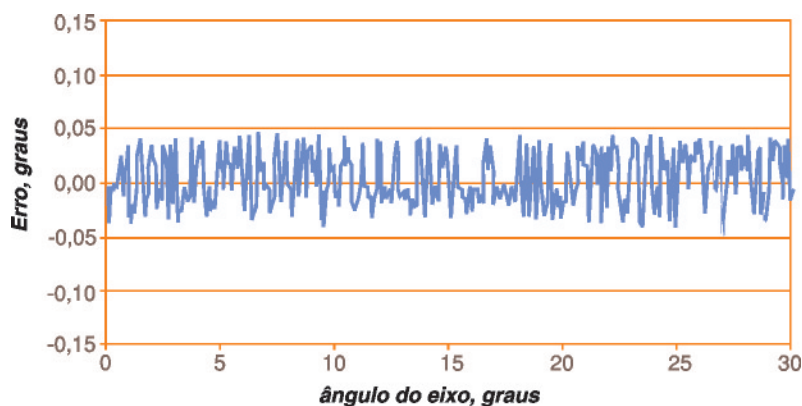
É neste ponto onde o *feedback* é útil. O *driver* “sabe” se o motor está fora de posição e pode corrigir isso.

Mas, mesmo os servos não são perfeitos. Eles podem posicionar dentro de uma margem de  $\pm 1$  contagem da posição comandada se o sistema estiver ajustado apropriadamente. Os servomotores A100 têm um *encoder* de 800 contagens por revolução. Isso significa  $360/8000 = 0,045$  graus, o que quer dizer que devemos esperar uma precisão melhor do que  $\pm 0,045$ . A **figura 5** mostra isso. Assim, o servo tem aproximadamente metade do erro de um sistema de motor de passo em laço aberto sem compensação.

Isso compensa o custo adicional de um sistema de servo? Somente se precisão for necessária. Por exemplo, suponha que estes motores sejam usados para movimentar uma carga num movimento linear acompanhado de um movimento de parafuso. Se o passo do parafuso é de 5 mm por volta, o erro do motor de passo será de  $\pm 10$  graus, e o erro linear será:

$$e = (5 \text{ mm}) \left( \frac{0,10^\circ}{360^\circ} \right)$$

$$e = \pm 0,0014 \text{ mm} = 1400 \text{ microns}$$



**F.6** Precisão de posicionamento de um sistema com servo motor.

O servo tem metade do erro, ou 700 microns. O usuário precisa perguntar: “quanto de erro eu preciso?”.

#### TAMANHO E PESO

O mundo está ficando menor. O hardware para controle de movimento precisa encolher também, de modo a caber nele. Os servos têm uma vantagem em muitas aplicações porque os motores são menores e mais leves. Como podemos

observar na **tabela 7**, o tamanho da eletrônica dos servos difere muito pouco da eletrônica dos motores de passo. O *drive* BLU100-Si é mais leve que os outros porque ele usa os mais modernos e eficientes transistores MOSFETs, que não precisam de dissipadores de calor. Para aplicações portáteis um peso menor é importante.

Na **tabela 8** comparamos o tamanho e a massa dos motores. O motor A100, que tem uma potência similar à do motor de passo, é bem mais leve: 0,5 kg versus 1,0 kg. O A100

também ocupa metade do espaço, se você não precisar de uma cabeça de redução. O A200 pesa quase o mesmo que o motor de passo e produz o dobro da potência. Claramente, os servomotores são menores que os motores de passo de potência equivalente.

Deve ser notado que os motores de passo muito pequenos são menores que os servos porque eles não necessitam de um *encoder*. Enquanto os motores podem ser reduzidos para tamanhos menores e menores potências, os *encoders* têm limites, pois a roda de codificação eletrônica impede. Para tamanhos menores que 40 mm, o *encoder* torna-se uma porcentagem significativa do tamanho total do motor.

#### CONCLUSÃO

Discutiu-se que as vantagens primárias dos motores de passo são:

- torque elevado em baixas velocidades;
- baixo custo;
- simplicidade.

Os servos também podem ser usados onde o seu custo alto é justificado por:

- torque em altas velocidades;
- tamanho compacto e peso reduzido;
- precisão e agudeza;
- controle em laço fechado.

Depois de avaliar estes aspectos das aplicações no controle de movimento, uma decisão inteligente pode ser feita resultando numa performance desejada por um custo mínimo. Para aqueles que leram este artigo esperando uma clara vitória dos motores de passo em relação aos servos, nós só podemos dizer que o vencedor é...você, o leitor, porque tem muitas possibilidades de escolha no mercado de controle de movimento, permitindo-lhe escolher o melhor equipamento para sua aplicação. ■

\*Jeff Kordik é especialista em software e desenvolvedor de novos produtos da Applied Motion Industries.

**Tradução:** Newton C. Braga

	3540i 42V	BLU100-Si	BLU200-Si
Peso, g	312,5	140	280
Largura, cm	7,62	6,985	7,366
Comprimento	12,7	11,684	13,589
Altura	3,81	3,81	3,7592
Volume, cc	369	311	376

**T.7** Tamanho e peso da eletrônica do

	HT23-400	A100	A100+gear	A200
Peso, kg	1,0	0,5	0,95	1,1
Largura, cm	5,6	4,0	4,0	6,0
Comprimento, cm	7,6	8,8	15,5	9,3
Volume, cc	242	141	247	335
Watts	75	100	100	200
Watts/cc	0,31	0,71	0,40	0,60

**T.8** Tamanho e peso de motores.



# Imunidade a interferência por radiofrequência

Osmar Brune\*

RFI (*Radio Frequency Interference*) é um sério problema de EMI (*Electromagnetic Interference*) para equipamentos eletrônicos modernos, que pode ser causado por transmissores de alta potência (broadcast, comunicações ou radar), e também por transmissores de baixa potência (rádios portáteis, celulares). Nem sempre o transmissor mais potente causa o maior problema. Um transmissor de baixa potência, a um metro da “vítima”, pode causar problemas bem maiores do que um transmissor de *broadcast* (rádio, TV) a um quilômetro de distância.

Ao mesmo tempo, receptores de rádio ou TV também são vulneráveis à poluição de RFI causada por computadores próximos. Tais receptores devem retirar baixíssimos níveis de potência de um espectro de RF densamente ocupado, e converter essa energia em informação útil (rádio, TV, imagem de radar, etc.).

O primeiro problema é de imunidade, isto é, a suscetibilidade de equipamentos eletrônicos falharem devido a RFI. O segundo problema é de emissão não intencional de radiofrequência.

Este é o terceiro artigo de uma série sobre EMI. No primeiro artigo da série (EMC e EMI: Compatibilidade e Interferência Eletromagnética) foram abordados os conceitos básicos de EMI e EMC. No segundo artigo, foram analisados distúrbios no fornecimento de energia. E nesta edição, analisaremos o problema da imunidade a RFI. A questão do controle de emissões de RFI será tratada em um artigo posterior. A leitura dos artigos anteriores é recomendada para melhor compreensão de alguns conceitos citados neste artigo.

Todo equipamento eletrônico é uma vítima potencial da energia de RF de transmissores próximos. Transmissores podem variar de alta potência até rádios portáteis ou celulares. Com a atual proliferação de produtos de RF, estes problemas certamente vão

aumentar a menos que precauções sejam tomadas. Uma destas precauções é executar os projetos de equipamentos eletrônicos para que alcancem a imunidade adequada para o ambiente em que devem ser utilizados.

Sistemas construídos com semicondutores (estado sólido) são particularmente vulneráveis a RFI. Até pequenos níveis de tensão induzida podem perturbá-los. Circuitos analógicos com sinais de baixa potência são particularmente vulneráveis, assim como circuitos de fontes de alimentação como reguladores. Mas, circuitos digitais também podem ser perturbados, se os níveis de ruído forem suficientemente altos.

Projetistas de equipamentos militares já estão acostumados a colocar a imunidade a RFI como objetivo primordial, uma vez que quase todos esses equipamentos devem passar por testes de suscetibilidade a RF. Da mesma maneira, equipamentos automotivos requerem testes bastante rigorosos. Mas nas demais áreas, esta abordagem está sendo recém-iniciada.

## NÍVEIS DE FALHAS

Sistemas eletrônicos não protegidos falham frequentemente ao serem submetidos a campos elétricos entre 1 V/m e 10 V/m, ou maiores. Alguns sistemas muito sensíveis podem até

falhar em campos da ordem de 0,1 V/m, embora isto seja bem menos comum.


Infelizmente, muitos ambientes típicos têm campos variando de 0,1 V/m a 100 V/m, portanto os problemas podem ocorrer, e de fato ocorrem. A **tabela 1** mostra alguns níveis típicos.

Felizmente, campos elétricos mais elevados surgem somente próximos dos transmissores. A intensidade do campo elétrico é função da potência do transmissor (P), do ganho da antena (A) e da distância da antena (d). Uma fórmula simples para prever rapidamente o pior caso do campo elétrico (E) é:

$$E = \frac{5,5 \sqrt{P \cdot A}}{d}$$

Onde E é dado em Volts/metro, P em Watts e d em metros. A fórmula assume que a fonte é isotrópica (irradia igualmente para todas as direções) e que o receptor está no campo distante (1,5 metros a 30 MHz, ou apenas 5 cm a 1 GHz). A fórmula funciona especialmente bem para *walkie-talkies* portáteis e celulares. Nestes casos, o ganho da antena pode ser aproximado para 1.

Aplicando a fórmula, observa-se que um transmissor com potência efetiva (P.A) de 1 W produz 5,5 V/m a 1 metro de distância, o que pode causar problemas. Por outro lado, um transmissor de 10 kW a 1 km de distância produz um campo de 0,55 V/m.



Frequência (MHz)	Distância (m)	Nível de Campo Elétrico (V/m)
0,1	1	5,5
1	1	0,55
10	1	0,055
100	1	0,0055
1000	1	0,00055

**T.1** Níveis típicos de RFI.

## MODOS DE FALHAS

O modo de falha principal é a retificação, que pode resultar num *offset DC* (para fontes de RF de nível constante) ou num componente AC demodulado (para fontes de RF moduladas). No último caso, seu sistema está se comportando como o famoso rádio de cristal. Portanto, é essencial bloquear a energia de RF antes que ela seja retificada, este é um conselho que não deve ser esquecido.

Os circuitos mais vulneráveis são os analógicos de baixo nível de potência, como pré-amplificadores. Altos níveis de RF têm potência comparável aos níveis do sinal normal, e são amplificados para os estágios posteriores.

Por exemplo, em certos casos pode-se ouvir rádios na faixa do cidadão (27 MHz) em aparelhos de telefone ou amplificadores de áudio, que funcionam na faixa de kHz, e não na faixa de MHz. Em sistemas de controle industrial, sensores analógicos (ex: pressão, temperatura) podem sofrer flutuações severas se tais ruídos forem retificados nos estágios analógicos com baixo nível de potência.

Circuitos digitais, por outro lado, são mais suscetíveis a outros tipos de ruído que não RFI, tais como “glitches” no fornecimento de energia, ESD e outros fenômenos que produzam pulsos falsos. Entretanto, com níveis de RF suficientemente altos, circuitos digitais também podem sucumbir. Raramente problemas ocorrem abaixo de 10 V/m. Todavia, devido à tendência a dimensões reduzidas e tensões de operação também reduzidas, os níveis de imunidade tendem a cair. Os sintomas são comportamentos bizarros, tais como parada dos programas ou corrupção da memória.

A retificação de RF em circuitos de potência, como reguladores, normalmente se mostra através de problemas nos circuitos digitais. A tensão de alimentação pode aumentar além dos limites, causando comportamento digital bizarro. Ao perceber um problema gerado por RF num circuito digital, é interessante primeiro investigar o comportamento das fontes de alimentação, para depois verificar o resto dos circuitos.

TÉCNICAS DE  
PREVENÇÃO  
CONTRA RFI

Uma dica é aumentar a robustez dos circuitos mais críticos, que funcionam como “antenas escondidas”. Como mencionamos anteriormente, os receptores mais vulneráveis são estágios analógicos de baixa potência e reguladores de fontes de alimentação.

Outra técnica é suavizar estas antenas escondidas, que tanto podem ser cabos, como descontinuidades da blindagem funcionando como antenas de fendas (*slot antennas*). Geralmente, cabos são as antenas predominantes em frequências abaixo de 300 MHz, mas em frequências maiores, fendas e até placas de circuito impresso podem se tornar antenas eficientes.

Você pode refinar esta distinção com uma regra popular chamada de “regra de 1/20 comprimento de onda”, que diz que qualquer cabo ou fenda com dimensões superiores a 1/20 do comprimento de onda pode ser uma antena eficiente. A 100 MHz, isto significa 15 cm. A 1 GHz, apenas 15 mm.

Proteção no Nível  
do Circuito

Uma boa proteção contra RFI começa no nível do circuito. Deve-se

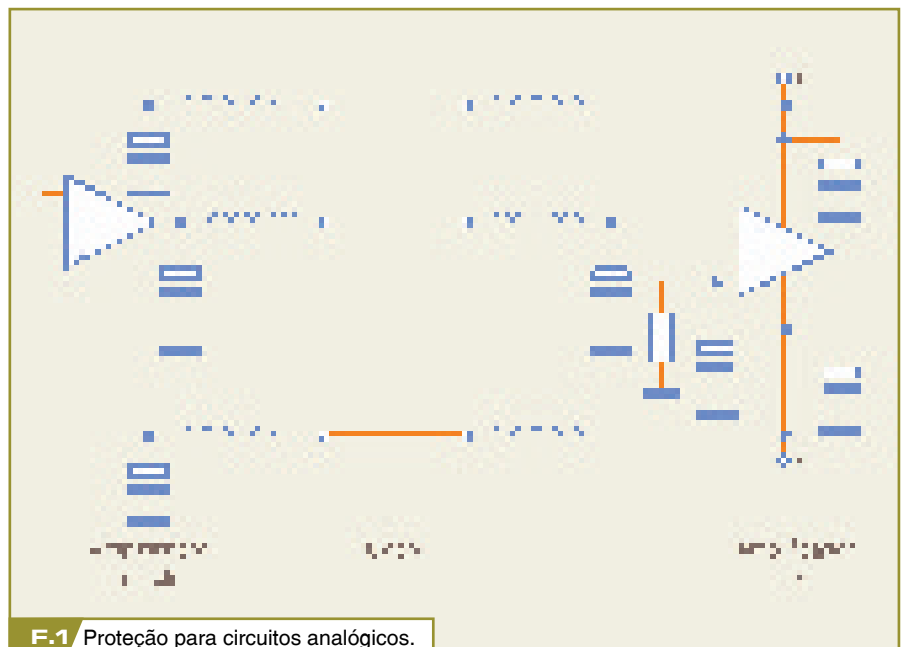
aumentar a robustez bem próximo do dispositivo mais crítico. Também deve-se colocar filtros nas linhas de entrada e saídas externas.

O uso de ferrites e de placas de circuito impresso *multilayer* geralmente também é eficaz.

Circuitos analógicos merecem atenção especial. Embora operem em baixa frequência, são vulneráveis a RF de alta frequência retificado. É interessante inserir ferrites e pequenos capacitores de alta frequência bem próximos destes circuitos. Os circuitos analógicos mais críticos são os que trabalham com menor nível de potência, e freqüentemente também os que ficam mais próximos da fronteira do equipamento com o mundo externo. Porém, há casos em que o segundo e terceiro estágios também merecem atenção, pois alguma parte da energia de RF pode passar pelo primeiro estágio e ser amplificada por ele.

Muitos sensores analógicos modernos (de temperatura, *strain gauges*, e outros) incorporam circuitos ativos no sensor. Desta maneira, o primeiro estágio de amplificação pode estar longe do sistema principal. Nestes casos, é necessário aumentar a robustez nas duas pontas de um sistema interligado por um cabo: o sensor e o receptor. Isto é mostrado na **figura 1**.

Observe algumas técnicas praticadas nestes circuitos da figura 1:



F.1 Proteção para circuitos analógicos.

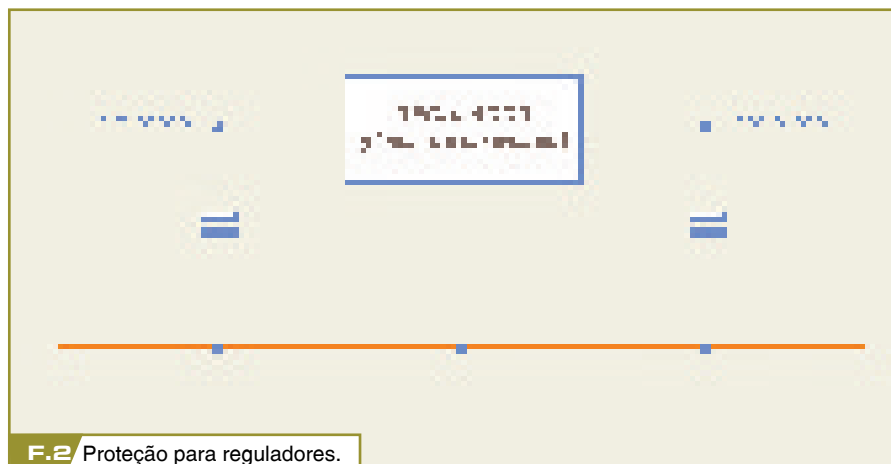
- desacopla-se todas tensões de alimentação dos *chips* analógicos com capacitores de alta frequência;
- coloca-se filtros de alta frequência (capacitores de alta frequência + ferrites) em todas as linhas que entram ou saem do equipamento;
- a referência também recebe filtros de alta frequência, se não estiver aterrada.

Reguladores de potência também merecem atenção especial. Falhas nestes circuitos aparecem como falhas digitais, mas alguns poucos capacitores bem colocados podem resolver estes problemas. Reguladores são dispositivos com realimentação, portanto qualquer *offset* causado por RF (DC ou modulado) pode afetar a tensão de saída. Se estes níveis ultrapassarem os valores limites de uma alimentação para um sistema digital, os efeitos são imprevisíveis. Uma técnica frequentemente recomendada é colocar capacitores de 1000 pF diretamente na entrada e saída de reguladores, tanto lineares como chaveados. Isto pode ser observado na **figura 2**.

Circuitos digitais podem ser afetados por RFI, mas dificilmente com níveis menores que 10 V/m. Portanto, se você está projetando para o mercado comercial (3 a 10 V/m) e observar uma falha digital devido a RFI, provavelmente trata-se de uma falha em reguladores.

Circuitos de entrada e saída, na periferia do equipamento, devem utilizar filtros de alta frequência como primeira linha de defesa. O objetivo é isolar o sistema eletricamente dos cabos que agem como antenas não intencionais. Lembre-se que filtros de alta frequência geralmente devem cobrir uma ampla faixa de frequência, entre 10 kHz e 1 GHz. Para tanto, geralmente necessitam dois ou três estágios cascateados em série. Esta análise sobre filtros EMI foi feita no artigo anterior, a respeito dos distúrbios no fornecimento de energia.

Ferrites (ou *beads*) são muito úteis para aumentar a imunidade a RFI (e também para ESD e emissões). Ferrites para EMI são mais efetivas na faixa de 50 MHz a 500 MHz. Abaixo de



**F.2** Proteção para reguladores.

50 MHz, sua indutância e resistência são muito baixas. Acima de 500 MHz, a capacitância dos terminais permite a passagem de altas frequências. Ferrites SMD (*Surface Mounted Devices*) podem funcionar bem na banda de GHz, pois não têm terminais expostos. Como regra, uma *bead* tem impedância da ordem de 50 a 100  $\Omega$  em 100 MHz, e alguns poucos ohms em 1 MHz. Além disso, a energia de RF indesejável é dissipada na ferrite na forma de calor, ao invés de ser desviada para outro ponto do circuito.

Alguns cuidados devem ser tomados ao utilizar ferrites. Primeiro, tenha certeza de utilizar ferrites EMI, ao invés de ferrites de baixa perda. Segundo, utilize-os em um circuito de baixa impedância para alta frequência. Capacitores *shunt* (derivação para o terra) de 100 a 1000 pF funcionam bem para propiciar esta baixa impedância, mas deve-se manter os terminais dos capacitores curtos para diminuir indutâncias parasíticas dos mesmos. Terceiro, cuidado com a saturação, que pode ser provocada por correntes DC ou de baixa frequência. Normalmente, pequenas ferrites são adequadas para 100 a 500 mA, e *beads* com o tamanho de um resistor de 2 W são adequadas de 5 a 10 A.

Placas de circuito impresso *multi-layer* são outras armas efetivas contra RFI. Já houve casos em que a imunidade cresceu 10 vezes ao mudar de uma placa de 2 camadas para outra de 4 camadas. A imunidade cresce inclusive para circuitos de baixa frequência, como circuitos de áudio ou de instrumentação. Muitos projetistas de sistemas analógicos são resistentes

à utilização de placas *multi-layer* por serem mais caras. Entretanto, problemas de alta frequência como RFI normalmente requerem técnicas de projeto de alta frequência.

Estas melhorias em placas *multi-layer* se devem a dois efeitos. Primeiro, reduz-se as áreas de *loop* entre trilhas de sinal e alimentação, que podem atuar como pequenas antenas não intencionais. Segundo, obtém-se uma impedância de terra menor, o que diminui a amplitude do ruído sobre a referência de terra.

#### Proteção em Cabos e Conectores

Quanto mais alta a frequência, maior deve ser a qualidade dos cabos e conectores. Cabos atuam como antenas não intencionais (tanto receptoras como transmissoras) para energia de RF. Conectores propiciam fuga não intencional de (e para) a blindagem do cabo, e maus conectores podem transformar um ótimo cabo em ineficiente.

Cabos e conectores devem ser considerados como um sistema, e não individualmente. Uma analogia útil é uma mangueira de jardim. Sua conexão à torneira, e também entre a mangueira e a conexão, são tão importantes como o material da mangueira em si. A melhor mangueira do mundo vaza se a conexão não é boa. O mesmo acontece com cabos e conectores para problemas de RFI. Seguem-se algumas recomendações:

- Use blindagem de alta qualidade acima de 10 MHz. Acima desta frequência, fugas tendem a ocorrer atra-



vés da blindagem. Neste caso, deve-se utilizar malhas de alta cobertura, ou malhas sobre folhas metálicas. Somente folhas metálicas poderiam ser utilizadas, mas uma ruptura poderia provocar fugas, portanto, malhas sobre folhas são preferíveis;

- Use conectores de alta qualidade. Este conselho é bom para qualquer frequência, mas particularmente acima de 10 MHz. O objetivo é prover cobertura de 360° na junção entre a blindagem do cabo e o chassi do equipamento. Cada junção não deve oferecer fugas (blindagem do cabo ao conector, conector a conector, e conector ao chassi);

- Se não é possível blindar, filtre. Para cabos que transportam sinais de até 1 MHz, filtragem pode ser utilizada normalmente ao invés de blindagem. A 1 MHz, o comprimento de onda é de 300 m, portanto a maior parte dos cabos não funciona como boas antenas. A filtragem, mesmo, assim é necessária para evitar que frequências mais altas entrem ou saiam do sistema através dos cabos. Pequenos filtros de alta frequência compostos de ferrites e de capacitores de *bypass* funcionam bem. Mantenha os terminais destes componentes curtos, e conecte os capacitores de *bypass* ao terra do chassi, não ao terra do circuito (a menos que estes dois terras sejam comuns). Coloque estes filtros o mais próximo possível dos conectores para minimizar a captação do ruído por trilhas ou fios do equipamento. Ainda melhor, use conectores com filtros embutidos montados diretamente no chassi;

- Não esqueça dos cabos internos. Cabos internos ao equipamento também são antenas não intencionais. Cuidado com a rota destes cabos, evitando que passem perto de ranhuras no chassi (por exemplo, ranhuras de ventilação). Isto é especialmente crítico quando tais cabos transportam sinais analógicos de baixo nível de potência. Mantenha os cabos internos no mínimo a 5 cm de ranhuras e outras aberturas no chassi;

- Se você está utilizando *flat-cables*, utilize o máximo número de fios que puder para retornos de terra e os espalhe uniformemente no cabo. Isto minimiza áreas de *loop* que fun-

cionam como antenas. A melhor situação é uma linha de retorno de terra para cada sinal.

#### Técnicas de Aterramento para RF

A indutância é um grande vilão para o aterramento de RF. Muitos engenheiros se preocupam com a resistência do aterramento, e se esquecem da indutância. Como regra geral, um fio circular possui uma indutância própria de 10 nH por cm. Para a maior parte dos fios, a reatância indutiva predomina sobre a resistência em frequências acima de 10 kHz. A 100 MHz, a indutância reativa é diversas ordens de magnitude maior do que a resistência.

Um meio de reduzir a indutância é utilizar uma tira metálica larga e grossa ao invés de um fio circular. Em teoria, um plano infinito seria o melhor, mas do ponto de vista prático é a relação de aspecto (comprimento para largura) que importa. Uma relação de 3 para 1 é recomendável.

O local mais adequado para aterrar é próximo dos pontos de entrada e saída no chassi. Esta técnica ajuda a manter a integridade da blindagem e minimiza correntes de modo comum no cabo, desviando-as para o chassi.

Se você deve aterrar sua placa num ponto único, faça-o o mais próximo possível dos conectores de entrada e saída. Esta técnica geralmente é necessária para sistemas analógicos, nos quais laços de terra de baixa frequência são um problema sério.

Para placas de alta frequência ou digitais, aterre em múltiplos pontos do chassi através de conexões curtas, grossas e largas.

Para placas mistas onde há circuitos analógicos e também digitais, você pode fazer aterramentos múltiplos através de capacitores para aterrar as altas frequências, e manter um ponto único de aterramento para as baixas frequências evitando *loops* de terra.

O objetivo principal é desviar para o chassi correntes de RF, evitando que cheguem aos circuitos vulnerá-

veis e a suas referências de terra. Problemas de RF frequentemente são observados em sistemas onde filtros de EMI são conectados a referência de terra do sinal, ao invés de no terra do chassi (quando estes 2 terras são isolados entre si).

#### Técnicas de Blindagem para RF

A maior parte dos sistemas de alta velocidade necessitam de alguma blindagem, no mínimo para controlar emissões irradiadas. Se você precisa alcançar imunidade na faixa de 1 a 10 V/m até 1 GHz, é complicado fazê-lo sem blindagem. Felizmente, a menos que você tenha de cumprir especificações militares, 30 a 60 dB de eficácia da blindagem geralmente são suficientes (atenuações entre 30 e 1000 vezes).

Materiais de baixa espessura são adequados para blindagem. Finas coberturas condutivas proporcionam blindagem efetiva na faixa de RF entre 10 kHz a 10 GHz e acima. Folhas de alumínio proporcionam 90 dB de blindagem nesta faixa de frequência. Pinturas metálicas de níquel ou cobre de baixa espessura proporcionam 40 a 60 dB, e deposição eletrolítica proporciona 80 dB ou mais. Isto pode ser utilizado em chassis feitos de plástico, na parte interna dos mesmos.

Às vezes pode ser necessário utilizar chapas de aço para blindar. Blindagens finas são ineficientes para campos magnéticos de baixa frequência, tais como os provocados por fontes de alimentação ou circuitos de deflexão magnéticos. Neste caso, você precisa de chapas de aço grossas ou outro tipo de material ferroso. Geralmente, estas considerações não são relevantes acima de 20 kHz. Em especial, lembre-se de que blindagens finas ajudam a resolver a maior parte dos problemas de imunidade a RFI.

Ranhuras (exemplo: para ventilação) podem destruir blindagens contra RF. Estas descontinuidades agem como antenas de fendas (*slot antennas*), que reirradiam energia de alta frequência.

Por isso você deve manter seus cabos e placas de circuito impressos longe destas ranhuras.

É a dimensão mais longa da ranhura que é crítica, e não a sua área. Uma regra é limitar a maior dimensão da ranhura a 1/20 do comprimento de onda da maior frequência de interesse. Para 100 MHz, isto significa 15 cm, mas para 1 GHz, apenas 15 mm. Mesmo esta regra pode não ser suficiente, pois produz uma atenuação de apenas 20 dB através da ranhura.

Penetrações não filtradas também podem destruir blindagens contra RF. Se um fio isolado passar através da blindagem, e este fio não for filtrado, ele poderá transportar ruído por dentro do sistema blindado. Todas penetrações devem ser ou aterradas no chassi, ou desacopladas contra o chassi via filtros de alta frequência. Obviamente, você não pode aterrar diretamente cabos de potência ou de sinal, mas neste caso filtre-os antes de passar pela barreira de blindagem.

Aqui, vão algumas recomendações sobre blindagem para RF:

- Use uma cobertura metálica, com o mínimo de ranhuras;
- Filtre ou aterre todas as penetrações de cabos na blindagem;
- Mantenha a máxima dimensão das ranhuras menor que 12 mm se você precisa imunidade até 1 GHz, e mantenha os cabos e circuitos críticos pelo menos a 5 cm destas ranhuras;
- Você pode precisar de materiais de vedação (*gasket materials*) para suas ranhuras, portanto projete os chassis para adicionar estes materiais, se necessário.

## TESTES DE IMUNIDADE A RFI

Para imunidade a RFI, uma norma comercial chave é a IEC-61000-4-3, que prescreve campos de 1 a 10 V/m numa faixa de frequência de 80 a 1000 MHz. Estes são os testes que são utilizados pela Comunidade Europeia. Outras organizações, como a FDA (*Food and Drug Administration*, nos Estados Unidos) também adotam esta norma. Ela é recomendada para fabricantes de equipamentos eletrônicos mesmo quando um nível obrigatório não existe para seus produtos ou mercados.

Normas diferentes são utilizadas nos contratos militares (MIL-STD-461, Estados Unidos) e automotivos (SAE J1113).

## CONCLUSÕES

Este terceiro artigo da série sobre EMC/EMI abordou problemas de imunidade a RFI, analisando de que maneira podem causar falhas, e como se pode preveni-los.

Outros artigos desta série prosseguirão abordando outros tipos de interferências eletromagnéticas e tópicos relacionados, como componentes, blindagem e aterramento. ■

### Bibliografia

- Daryl Gerke e Bill Kimmel

**EDN: The Designer's Guide to Electromagnetic Compatibility**  
Kimmel Gerke Associates Ltd.

\*Osmar Brune é projetista de produtos e sistemas da  
Altus Sistemas de Informática.

# Arquiteturas de Sistemas de Automação Industrial utilizando CLPs

Paulo C. de Carvalho



Copesul/Divulgação

Neste artigo faremos uma abordagem sobre os aspectos de comunicação de dados para arquiteturas comumente utilizadas em automação de plantas de processos industriais empregando Controladores Lógico Programáveis – CLPs.

A primeira coisa que é discutida em um processo de automação é qual a melhor arquitetura para que o sistema atinja as exigências de um determinado projeto. Existem várias formas diferentes de arquitetura que satisfazem as exigências do projeto e o fator custo é muito importante, pois todo projeto tem uma limitação de investimento que já foi previamente aprovada pela diretoria da empresa. Fatores como prazo para a conclusão do serviço e necessidade maior de mão-de-obra também influem na escolha da melhor arquitetura para o sistema de automação. Assim, trataremos aqui de alguns conceitos que devemos levar em consideração na análise de uma arquitetura.

## NÍVEIS DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO

**Nível 0** – Neste nível ficam os elementos que “adquisitam” e comandam

as grandezas físicas do chão-de-fábrica. Podemos citar elementos de aquisição de sinais: sensores, transmissores de temperatura, pressão, chaves de fim-de-curso, contatos de relés, etc. E os atuadores: contatoras, válvulas, inversores de frequência, etc... Além dos componentes convencionais, ou seja, aqueles que disponibilizam ou recebem sinais em corrente ou tensão, temos também os equipamentos que possuem recursos de comunicação serial e, nesse caso, possuem múltiplas funções associadas a um único cabo de conexão como, por exemplo, os multimídiares de energia e equipamentos especiais de medição de grandezas analógicas como nível e temperatura.

**Nível 1** - Neste nível ficam os CLPs montados em painel elétrico que receberão os sinais do nível 0. Nele, as informações vindas do nível 0 são tratadas e o software dos CLPs irá cuidar de deixar estas informa-

ções prontas para serem exibidas para os operadores através de Interfaces Homem-Máquina Locais ou ainda serem enviadas a um nível acima para serem visualizadas em salas de operação através de Sistemas de Supervisão (veja na foto ao lado). Em indústrias de processo, os CLPs estarão sempre conectados entre si com o nível de supervisão através de uma rede de comunicação industrial.

**Nível 2** - Neste nível ficarão as interfaces Homem-Máquina – IHM – também chamadas de Sistemas de Supervisão, que são computadores industriais rodando softwares de supervisão e controle conectados em rede aos CLPs. Através desses equipamentos, o operador poderá comandar a planta por meio de telas gráficas, gráficos de tendências, relatórios de alarmes e relatórios de produção.

**Nível 3** - Neste nível fica o sistema corporativo da planta que acessa um banco de dados onde outros relatórios gerenciais são gerados e os aplicativos são normalmente desenvolvidos com ferramentas do tipo Visual Basic ou Delphi. O Sistema de Supervisão do nível 2 tem interface com o sistema corporativo através do banco de dados que é o ponto de “junção” dos níveis de supervisão e corporativo da planta.

No campo da Automação, diariamente surgem novas tecnologias e novos conceitos e observa-se no mercado que as empresas tendem a ser conservadoras na hora de adquirir tecnologia e querem aquilo que comprovadamente funciona. Uma nova tecnologia é mais bem aceita em situações onde o risco de sua aplicação é compensado pelos benefícios que essa tecnologia poderá trazer.

Ainda aproveitando a divisão em níveis feita anteriormente, iniciaremos nossa discussão falando sobre o nível 0 ou nível de campo, onde



temos a aquisição dos sinais do chão-de-fábrica responsáveis pelas informações indispensáveis na automação. Aqui a grande pergunta que surge é:

**É melhor utilizar remota para a aquisição dos sinais ou levar os sinais através de cabos elétricos diretamente até o CLP?**

A remota é um hardware que "aquisita" os sinais digitais e analógicos e possui um canal de comunicação serial onde esses dados são disponibilizados em um protocolo de comunicação como, por exemplo, o MODBUS, PROFIBUS, DEVICENET, AS-i, entre outros. A diferença básica entre eles está na velocidade de transmissão, capacidade de diagnóstico de falhas e facilidade de configuração dos equipamentos em rede. Para se fazer uma comparação entre os dois primeiros que são amplamente utilizados, temos: a velocidade de comunicação: o MODBUS chega a 38.400 bps, enquanto o PROFIBUS pode chegar a 12.000.000 bps. Este último também possui mais informações de diagnóstico, mas é mais caro e existem menos equipamentos com essa interface. A idéia da remota é apenas transferir os dados para o CLP sem fazer nenhuma lógica entre eles, ou seja, sem fazer nenhum intertravamento, apenas passar as informações para o CLP que processa essas informações. Nessa escolha devemos verificar alguns aspectos:

**Ligação elétrica:** O custo de ligação elétrica é menor para as remotas, pois você leva um único cabo de rede até o CLP ao invés de levar um cabo para cada sinal no caso de ligações convencionais. Essa é a principal vantagem da remota.

**Velocidade de atuação:** A aquisição de sinais diretamente pelo CLP é mais rápida que a feita por remota. Quando você escolher a aquisição através de remotas, questione junto ao fabricante do equipamento o tempo de aquisição dos sinais, principalmente quando precisamos fazer algoritmos de controle tipo PID. Neste caso precisamos adquirir, enviar via rede o valor analógico para o CLP que executará o algoritmo PID e retornará o sinal para o atuador. O tempo de atuali-

zação do controle deverá ser levado em conta e deverá ser menor que a soma dos tempos de aquisição e processamento do CLP para que não resulte em mau funcionamento do controle, o que poderá inviabilizar o sistema.

**Segurança:** Em processos industriais contínuos, a parada de produção implica em grandes prejuízos para a companhia e paradas da planta devem ser evitadas de todas as formas. Logicamente, a automação não deve ser a causadora do problema de parada e as perguntas mais freqüentes são:

**E se a rede da remota falhar?**

O risco deverá ser analisado e, caso o tempo de parada para a manutenção (cerca de 3 horas) seja um fator de muito risco para o processo, a solução será colocarmos uma rede redundante e, se possível, lançar os cabos por caminhos diferentes. O custo aumentará, mas, se a segurança é o fator principal, com certeza esse custo será justificável.

**Pode ocorrer problema de interferência na rede e isso provocar falha de comunicação entre o CLP e a remota?**

Esse tipo de conexão atende a maioria das necessidades se a blindagem do cabo elétrico em RS-485 for bem aterrada e, se este cabo for passado em eletroduto galvanizado aterrado, e ainda for escolhida uma trajetória para o cabo de forma que passe longe de cabos de alta tensão e fontes de ruídos elétricos.

Entretanto, quando o ambiente possui muito ruído elétrico como, por exemplo: local com máquinas com solda por indução, subestações e usinas de energia, etc., é aconselhável a utilização de fibras ópticas. Outra vantagem da fibra óptica é que a velocidade não diminui com a distância como no caso do cabo elétrico. Para conexões longas, acima de 100 metros, ou quando o ambiente possui campo elétrico muito intenso, a fibra torna-se indiscutivelmente a melhor solução de meio de transmissão.

**E se a cabeça remota falhar, vou perder todos os sinais que estou adquirindo?**

A resposta é sim. Neste caso, se o tempo de manutenção para troca da cabeça remota (da ordem de 1 ou 2 horas) não puder ser tolerado, alguns fabricantes oferecem a possibilidade de redundância na cabeça remota. A troca da cabeça defeituosa é feita automaticamente pelo equipamento, chamado de troca tipo "hot stand by".

**A remota também pode fazer intertravamento?**

Até aqui vimos duas possibilidades: fazer a aquisição via cabo convencional ou via cabeça remota e o processamento no CLP. Para alguns processos é possível também que a remota faça um pequeno processamento local evitando que a perda de comunicação implique em risco ao sistema. Ou seja, no lugar de uma remota pode ser colocado um pequeno CLP que aquisita os sinais de campo, executa intertravamento e disponibiliza as informações para o CLP central. Nesse caso, esse pequeno CLP normalmente possui IHM local para que os dados possam ser acessados por um operador local, deixando o sistema mais versátil e com menor dependência da rede de comunicação com o CLP central. Essa solução é utilizada, por exemplo, para certos controles locais que não podem parar como o controle de temperatura de um forno ou o controle de variáveis analógicas em um evaporador. É bastante comum, nessa situação, um CLP local adquirindo os sinais, fazendo o processamento local. Existe uma IHM para o operador alterar os *set-points* no local e este CLP poderá estar ligado em rede com outro CLP maior.

Muitos CLPs já vêm integrados a grandes máquinas ou projetos. Isso é muito comum nas indústrias automobilística e alimentícia. Nesses casos, o comprador deverá atentar para evitar comprar uma "caixa preta", ou seja, comprar um CLP com protocolo proprietário e sem condição de ser colocado em rede com outros CLPs da planta. O ideal é especificar uma porta de comunicação disponível em protocolo aberto como, por exemplo, MODBUS-RTU, PROFIBUS-DP, FIELD BUS, etc., os quais

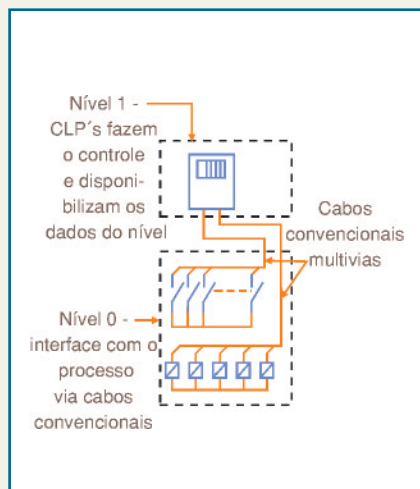
devem ser as variáveis que o fabricante deverá deixar disponível para que esse equipamento possa ser integrado na rede de campo da fábrica. Sempre que possível, o comprador deverá verificar qual o CLP que virá no equipamento e solicitar algumas opções para a marca do CLP para garantir a compatibilidade em rede e facilitar a manutenção futura.

#### OUTROS EQUIPAMENTOS COM INTERFACE SERIAL

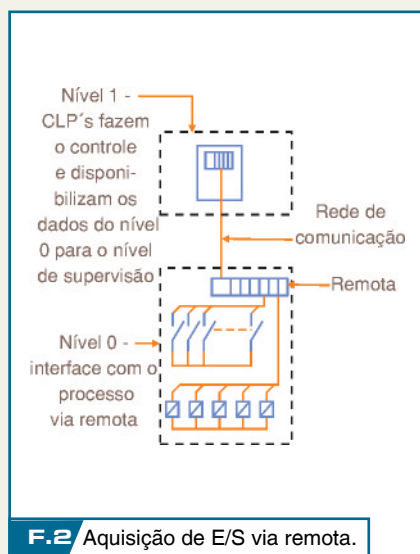
Equipamentos como medidores de grandezas elétricas, inversores de frequência, relés de proteção, etc. possuem interfaces seriais. Nesses casos, a preocupação deverá ser tanto com o protocolo quanto com o formato que os dados são disponibilizados. A intenção é evitar o extenso trabalho de formatação de dados pelo programa do CLP, e aumento do custo do projeto com o desenvolvimento de *gateways* (equipamentos que convertem protocolos de comunicação).

Devem-se evitar incompatibilidades elétricas com a mistura de equipamentos diferentes na mesma rede de comunicação, ainda que possuam o mesmo protocolo. Para se evitar este tipo de problema é sempre bom um teste prévio na etapa de desenvolvimento do projeto (**ver coluna sobre rede MODBUS na seção Problemas e Soluções**).

A **figura 1** ilustra a arquitetura de nível 0 de uma indústria de processos com a aquisição de sinais de Entrada e Saída (E/S) convencional utilizando cabos multivias que são conectados ao CLP. A **figura 2** mostra a arquitetura de nível 0 de uma indústria de processos com a aquisição de sinais de E/S convencionais empregando remota conectada via cabo de rede ao CLP. Neste caso, há uma diminuição do serviço de ligação elétrica, uma vez que a remota é colocada a mais próxima possível do elemento de campo. Após digitalizar os sinais, a remota disponibiliza uma interface de comunicação serial para o CLP e basta, então, um cabo de comunicação entre os dois equipamentos.



**F.1** Arquitetura de nível 0 com cabos multivias.



**F.2** Aquisição de E/S via remota.

Na **figura 3** é apresentada a interface com o campo utilizando uma remota e a interface via rede serial com equipamentos especiais que dispõem de interface serial. Para isso é necessário que o CLP possua canais de comunicação no mesmo protocolo de comunicação desses equipamentos. A tendência atual é de cada vez mais equipamentos possuírem interface serial de comunicação. Por segurança, além dos dados serem enviados via rede, alguns **sinais de alarme e condições de segurança** (sinais de segurança de uma caldeira, por exemplo) devem ser enviados também via cabeamento convencional.

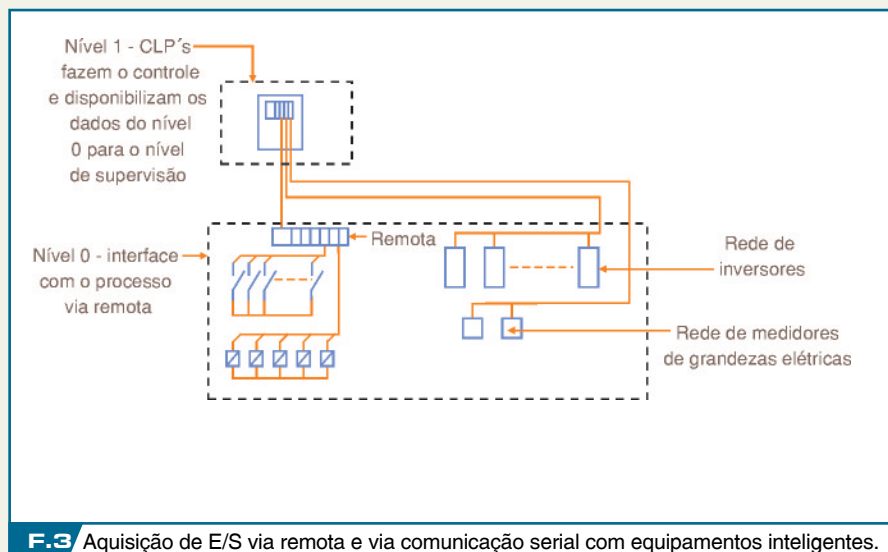
Vamos agora analisar o Nível 1 da arquitetura onde ficam os Controladores Lógicos Programáveis. Aqui a grande pergunta que surge é:

#### Qual é o melhor CLP a utilizar?

A resposta para esta pergunta, naturalmente, não é tão simples porque existem muitas marcas no mercado e o técnico que está especificando o equipamento ou sistema deverá se concentrar na especificação que o equipamento deverá atender. Uma vez atendidas as especificações, certamente mais de uma marca poderá ser escolhida e outros fatores como preço, prazo, assistência técnica e custo do serviço associado definirão a compra. O objetivo dessa análise é apresentar as características fundamentais exigidas para os sistemas de automação utilizados na indústria de processo.

#### REDE DE COMUNICAÇÃO ENTRE OS CLPs E O SISTEMA DE SUPERVISÃO

Essa rede de dados vai interligar os vários CLPs permitindo que as informações sejam disponibilizadas em uma sala de controle. Alguns deles utilizam redes com protocolos proprietários e isso poderá limitar o usuário quando ele necessitar ampliar o sistema. Para evitar esse tipo de problema, a rede mais utilizada atualmente para o nível 1 é a rede Ethernet. Aqui vale lembrar que existem diversos protocolos de comunicação disponíveis em Ethernet e que em uma mesma rede Ethernet podem trafegar diferentes protocolos e até mesmo os protocolos de *e-mail* e de transferência de arquivos (FTP). É comum separar a rede ethernet da planta da rede ethernet do resto da indústria para evitar problemas de tráfego na rede do sistema de automação. Frequentemente, chamamos a rede ethernet do sistema de automação de rede ethernet industrial. Existem equipamentos disponíveis no mercado para redes ethernet industriais redundantes em formato de anel dando ao sistema um nível adequado de confiabilidade da rede (ver [www.hirschmann.com](http://www.hirschmann.com)). O cabo de rede ethernet do tipo par trançado permite interligar distâncias de apenas 100 m. Já utilizando fibra óptica do tipo multimodo, podemos atingir tipicamente 3 km sem o uso



de repetidor. A **figura 4** ilustra uma rede ethernet industrial em formato de anel óptico redundante.

Como vimos anteriormente, a capacidade do CLP se conectar a uma rede aberta do tipo ethernet é fundamental para automação de processos industriais. Outro aspecto a considerar será a performance dessa comunicação. A performance da rede está associada à sua velocidade de comunicação e à forma como são transmitidos os dados. Com relação à velocidade da rede de CLPs podemos dizer que a velocidade de 10 Mbits/s atende a grande maioria dos processos industriais, onde o tráfego de dados é bem menor que na rede ethernet administrativa. No entanto, alguns CLPs já possuem rede com velocidade de 100 Mbits/seg (*fast ethernet*). Porém, o principal “gargalo” para o sistema não é a velocidade do meio de transmissão, mas sim a forma como o CLP trata essa comunicação. Há duas formas básicas para comunicação de dados entre os CLPs e os sistemas de supervisão: *Polling* e “Mensagens não Solicitadas”. Na comunicação por *polling*, quem toma a iniciativa de comunicação é sempre o sistema de supervisão, que pede para o CLP as tabelas de comunicação. Independentemente, de ter havido modificação nos dados lidos pelo CLP, o supervisor fará a leitura desses dados de forma cíclica com tempo de *polling* ajustado no sistema de supervisão. Assim, a cada solicitação do sistema de supervisão o

CLP deverá preparar os dados solicitados e disponibilizar os mesmos na porta ethernet para comunicação. Esse tempo, em geral, é maior que o tempo do próprio meio de transmissão, ou seja, a performance desse sistema depende muito mais da velocidade do CLP de disponibilizar os dados para transmissão do que da velocidade do canal de comunicação. No modo de comunicação por “mensagem não solicitada”, o CLP é que toma a iniciativa de comunicação mandando para o sistema de supervisão apenas as tabelas de dados onde houve alteração. De tempos em tempos o CLP manda todos os dados, independentemente de ter havido alteração nos mesmos, e esse envio é chamado de comunicação para integridade dos dados. O sistema de comunicação por mensagens não solicitadas melhora muito a performance, principalmente para meios de transmissão que tenham baixa velocidade ou sistemas que tenham grande volume de dados. A desvantagem de se utilizar mensagens não solicitadas é que o tempo de desenvolvimento do programa *ladder* do CLP será maior, aumentando o custo de serviços. Além do CLP, o sistema de supervisão também deverá admitir o recurso de mensagem não solicitada no seu *driver* de comunicação, e essa característica não está disponível em todos os *drivers* de comunicação. Assim, resumidamente, a característica importante a analisar na rede de comunicação do CLP

para a comunicação entre os CLPs e o sistema de supervisão é:

Disponibilidade no CLP e no *driver* do Sistema de Supervisão de rede de comunicação Ethernet, sendo desejável para sistemas de grande porte que exista recurso para comunicação por mensagem não solicitada.

### REDE DE COMUNICAÇÃO ENTRE OS CLPs E OUTROS EQUIPAMENTOS

Como já foi discutido anteriormente, é comum em CLPs para controle industrial a comunicação com vários equipamentos inteligentes do chão-de-fábrica: remotas, inversores de frequência, controladores locais especializados e interfaces homem-máquina locais. Sendo assim, é fundamental que na especificação desses equipamentos se leve em conta a quantidade de canais seriais de comunicação que devem estar disponíveis, informando o protocolo de comunicação (*profibus* ou *modbus*, por exemplo) e o meio físico da comunicação (RS-232, RS-485 ou óptico).

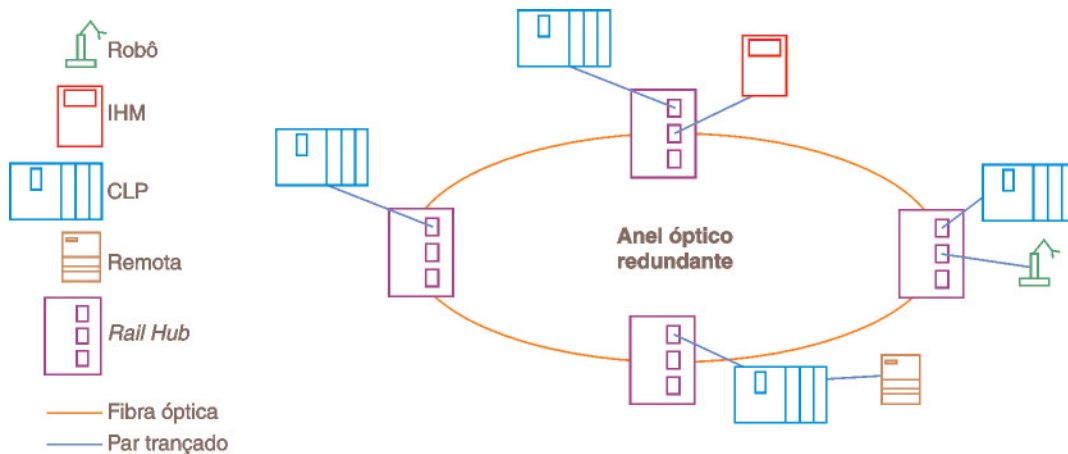
A seguir, exibimos na **figura 5** uma arquitetura típica do nível 0 e 1 de um sistema de automação. Observar as várias redes de comunicação: Rede ethernet industrial entre os CLPs e o nível 2 (sistemas de supervisão), rede de comunicação entre o CLP e equipamentos inteligentes (remotas e controladores locais especializados) e entre o CLP e IHM locais.

### CONCLUSÃO

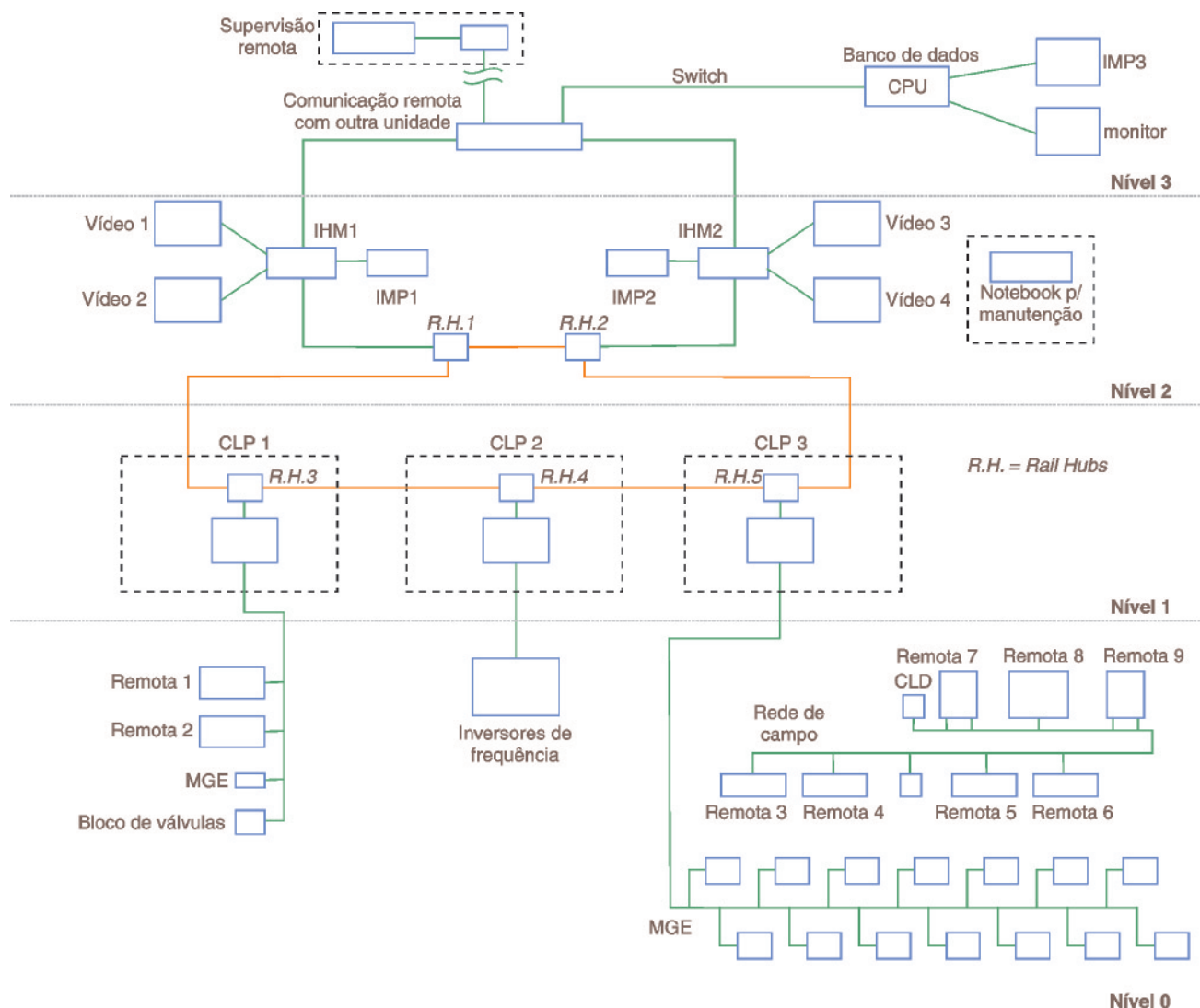
Neste artigo analisamos o nível 0 (nível de aquisição de sinais de campo) e o nível 1 (nível comunicação entre CLPs e o sistema de supervisão) da arquitetura dos Sistemas de Automação. Esperamos, então, que o leitor possa analisar esses aspectos na escolha da melhor arquitetura para um sistema de automação. No próximo artigo abordaremos os demais níveis da arquitetura de um sistema de automação. ■

\*Paulo C. de Carvalho é gerente de Engenharia da Altus/Campinas.





**F.4** Rede ethernet industrial em formato de anel óptico redundante .



**F.5** Arquitetura de sistema de automação.

# Controladores de movimento

Mário Sergio Di Grazia \*

A revolução industrial foi, sem dúvida, um marco inigualável na história moderna. A produção artesanal, dependente da habilidade individual, deu lugar à produção em massa, reduzindo os custos de produção, elevando a qualidade e permitindo o acesso a bens de consumo e bens duráveis a uma parcela cada vez maior da população. A automação de máquinas e equipamentos é a força propulsora da indústria moderna. Este artigo visa ilustrar o funcionamento básico dos Controladores de Movimento e sua contribuição ao desenvolvimento da indústria em geral.

O crescente aumento do uso de servo-acionamentos e inversores de frequência em máquinas de processos dedicados, fez surgir os controladores de movimentos, agregando características de controladores numéricos computadorizados (CNCs) com as mesmas funções e a facilidade de programação de um controlador lógico programável (CLP).

Os controladores de movimentos (**figura 1**) são equipamentos desenvolvidos para automação de máquinas que necessitam de controle de posição, de trajetória, de velocidade ou torque.

Possuem funções específicas para controle de servo-acionamentos como posicionamentos simples, interpolação linear, interpolação circular, interpolação helicoidal, *comes* eletrônicos, engrenagem eletrônica entre outros.

Tais funções são geralmente reunidas em blocos funcionais permitindo fácil programação, reduzindo o custo de desenvolvimento do projeto, visto que as mesmas já se encontram prontas para uso, evitando a criação de algoritmos complexos e demorados.

Para facilitar a compreensão das funções dos controladores de movimentos, descreveremos algumas das funções principais normalmente encontradas nos controladores de movimento disponíveis no mercado.

## CONTROLE DE TORQUE

Permite o controle preciso do torque do servomotor independentemente da velocidade e posição do mesmo. O controle de torque é normalmente utilizado em aplicações onde a grandeza fundamental de controle é o torque e/ou a força aplicada à carga. Podemos citar como exemplo as operações de rosqueamento de tampas como as de embalagens de dente-frício, potes, frascos, etc., onde o torque de aperto deve ser o suficiente para garantir o perfeito fechamento da embalagem, porém não tão elevado que impeça sua abertura.

O controle de torque ainda é utilizado para aperto de parafusos em blocos de motores e de máquinas, como também no controle de tração em bobinadeiras e desbobinadeiras.

fechada proporciona alta precisão de controle mesmo com grandes variações de carga.

É essencial no controle de “spindles” ou eixos - árvores em tornos e/ou máquinas operatrizes, principalmente em operações de usinagens de roscas, onde um desvio de velocidade irá representar alteração no passo do filete, inutilizando a peça.

## POSICIONAMENTO

Há vários tipos de posicionamentos dependendo da função a ser realizada pela máquina. No caso de um posicionamento, o importante é levar o servomotor à posição solicitada com a máxima precisão.

O posicionamento pode ser incremental ou absoluto. No posicionamento incremental, o controlador de movimentos conta os pulsos do *encoder incremental* e controla o servomotor de forma a atingir a posição solicitada. No caso de perda de energia, a máquina deverá ser reiniciada a partir da posição zero, visto que o *encoder incremental* não memoriza a sua última posição. A maioria dos controladores possui uma função específica denominada “Home Position” ou busca da posição zero ou referenciamento, permitindo referenciar automaticamente a máquina. A função “Homing” utiliza normalmente o pulso “C” do *encoder* como referência de posição zero.



F.1 Controladores de Movimentos.

## CONTROLE DE VELOCIDADE

É uma das funções básicas de um controlador. O controle de velocidade é realizado em malha fechada por realimentação de um *encoder* ou gerador de pulsos. O controle em malha

No posicionamento absoluto é necessário a utilização do *encoder absoluto* o qual informa em tempo real sua posição, mesmo com queda de energia, não sendo necessário reiniciar ou referenciar a máquina.

A precisão do posicionamento é dada pelo número de pulsos do *encoder*. Para um posicionamento preciso é recomendável que a resolução seja 10 vezes maior que a resolução da máquina. Por exemplo, para uma máquina que trabalhe com posicionamentos variando em 0,1 mm, o *encoder* utilizado deverá indicar 0,01 mm por pulso. Esse procedimento é necessário, visto que o posicionamento perfeito não existe. O mesmo varia dentro de uma faixa aceitável de desvio, sendo normal o erro de mais ou menos um ou dois pulsos no final do posicionamento.

Na maioria dos controladores, é possível estabelecer a faixa de desvio de posição aceitável, sendo o erro sinalizado pelo mesmo.

#### INTERPOLAÇÃO LINEAR

Para interpolação linear é necessária a utilização de dois eixos. Eixo é o nome genérico dado a um acionamento individual. A **figura 2** ilustra uma mesa posicionadora X,Y, responsável pelo deslocamento do cabeçote de corte a *laser*.

Na interpolação linear os eixos X e Y são controlados de forma que a somatória dos dois movimentos resulte em uma trajetória linear, também denominada de interpolação linear.

Na maioria dos Controladores de Movimento é possível programar com facilidade trajetórias lineares para formação de figuras geométricas definidas ou compor figuras lineares por justaposição de trajetórias. A **figura 2** mostra uma interpolação linear formando um triângulo, que será cortado por um feixe de *laser* ou maçarico.

#### INTERPOLAÇÃO CIRCULAR

A interpolação circular é obtida por dois eixos de forma que o resultado da ação conjunta dos mesmos resulte em um círculo.

Normalmente, é necessário informar ao controlador apenas o diâmetro e a posição inicial do círculo e o controlador se encarregará de mover os eixos X e Y de forma a gerar o movimento circular solicitado. A **figura 3** exibe uma mesa X,Y produzindo um movimento circular.

#### INTERPOLAÇÃO HELICOIDAL

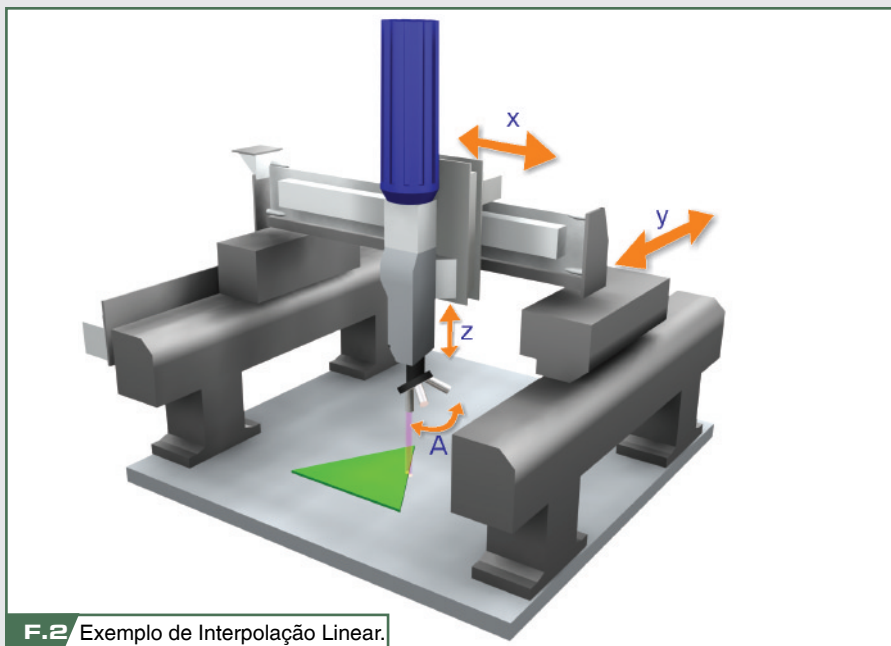
Ela necessita de três eixos, sendo formada pelas interpolações linear e circular resultando em uma trajetória

helicoidal, como o filete de uma rosca, conforme se vê na **figura 4**.

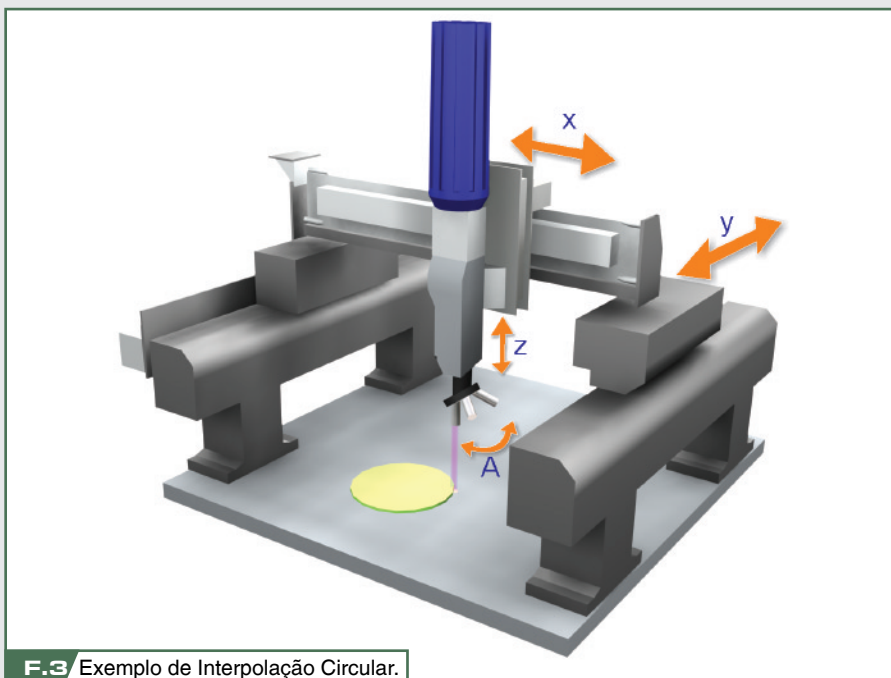
Geralmente é necessário informar apenas o diâmetro e o passo ao controlador assim como as coordenadas de partida.

#### ENGRENAGEM ELETRÔNICA

Essa é uma das funções típicas dos Controladores de Movimentos. O controlador garante o sincronismo de fase mecânica da mesma forma que um conjunto de engrenagens.

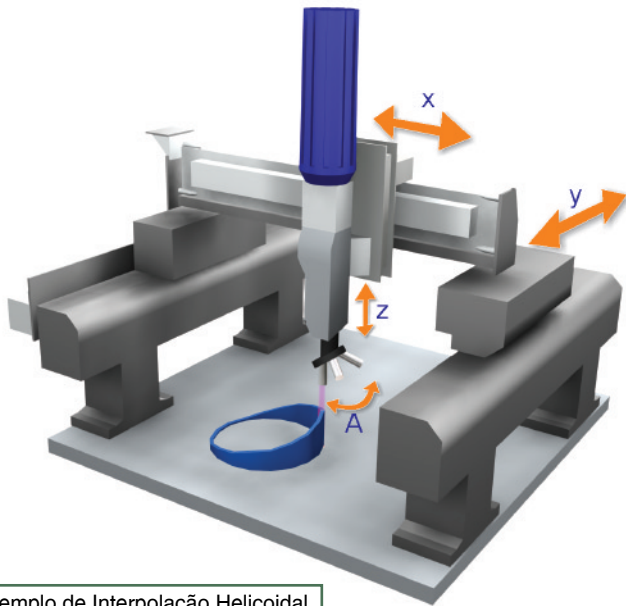


F.2 Exemplo de Interpolação Linear.



F.3 Exemplo de Interpolação Circular.





F.4 Exemplo de Interpolação Helicoidal.

A **figura 5** ilustra a aplicação em uma máquina impressora de quatro cores.

No arranjo da esquerda, os castelos de impressão são acionados por um eixo único que distribui o movimento para cada castelo através de engrenagens. O motor de acionamento é único e como a transmissão de movimentos é mecânica, existe um perfeito sincronismo entre os castelos de impressão.

No arranjo da direita, os eixos e engrenagens foram substituídos por servomotores acionados por um Controlador de Movimentos. Esse arranjo é chamado de “Shaftless”, pois elimina o eixo único, reduzindo a complexidade de construção da máquina e permitindo maiores velocidades de operação.

A função de engrenagem eletrônica permite ainda alterar o valor de engrenamento eletronicamente, como

também avançar ou atrasar a fase de um dos servomotores, permitindo fácil ajuste das cores de impressão.

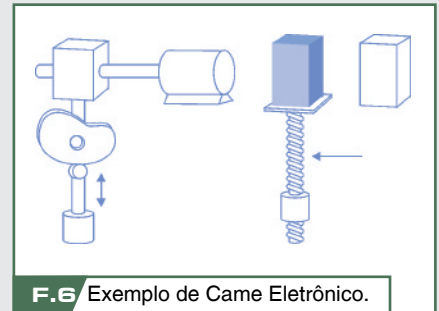
### CAME ELETRÔNICO

Esta função permite criar um movimento complexo sincronizado a um movimento de referência externo. A **figura 6** apresenta o arranjo mecânico típico onde um motor aciona através de um redutor um *came* mecânico, que por sua vez aciona um êmbolo produzindo um movimento horizontal de acordo com o formato externo do *came*.

A utilização de um Controlador de Movimentos substitui o *came* mecânico e seus acessórios por um servoacionamento e um fuso de esferas.

Através de programação adequada, o controlador de movimentos reproduz eletronicamente o movi-

mento do *came* no eixo do servo. Normalmente, é utilizado um *encoder* instalado em um ponto da máquina como referência de posição. Caso a máquina varie de velocidade, o controlador irá seguir essa variação em fase mecânica variando sincronizada a execução do *came* eletrônico.



F.6 Exemplo de CAME Eletrônico.

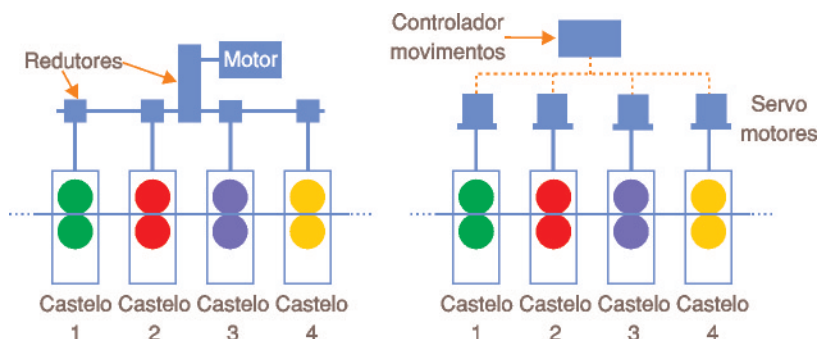
### FUNÇÕES LÓGICAS

Freqüentemente, os Controladores de Movimentos oferecem, além das funções específicas de controle de movimentos, funções lógicas programáveis em diagrama de blocos do tipo “Ladder”, permitindo a implementação de lógicas de intertravamento e comando, facilitando o projeto e instalação, visto que todo o controle torna-se residente em um único equipamento.

### CONCLUSÃO

Podemos concluir que os Controladores de Movimentos foram desenvolvidos para facilitar a automação de máquinas e linhas de produção através da inserção de complexas rotinas de posicionamento e interpolação em simples comandos de programação. Inicialmente destinados às máquinas de maior grau de complexidade, atualmente estes controladores (pela sua razoável redução de custos) já são utilizados em um número cada vez maior de máquinas e equipamentos, reduzindo custos de produção e permitindo ampliar a produtividade e qualidade das máquinas e linhas de produção. ■

\*Mário Sergio Di Grazia é engenheiro de aplicação da Yaskawa Elétrico do Brasil.



F.5 Exemplo de Engrenagem Eletrônica em uma máquina gráfica.

# Princípios dos motores lineares

Paulo E. Pansiera\*

O motor linear nada mais é do que uma massa com propriedades magnéticas, que é atraída ou repelida por outra e restringida a andar em trilhos.

## MOTORES LINEARES EM MÁQUINAS-FERRAMENTA

A mesma força magnética que faz um rotor de um motor convencional girar é a responsável pela propulsão em um motor linear. O princípio é o mesmo, ou seja: tome um motor comum de corrente contínua e desenrole o estator com o mostra a **figura 1**. O efeito produzido pelo eixo, que é conhecido como torque (produto da força pela distância do centro do rotor até a circunferência média do estator) passa agora a uma única grandeza que é a força tangencial.

A potência, que no motor com rotor é calculada pelo produto do torque pela rotação, é no motor linear, calculada pelo produto força x velocidade média.

Para fazer o motor linear da **figura 1** mover-se, basta excitarmos o estator desenrolado da mesma forma que fazíamos quando este se apresentava em disposição circular: alternando os pólos e buscando um alinhamento de opostos entre a parte móvel e fixa. Quanto mais rápido alternarmos os pólos, mais veloz será o nosso motor.

A perfeita combinação de frequência de chaveamento e corrente produzirá um campo magnético capaz de assegurar acurácia e velocidade. Para tal, sempre em combinação com um motor linear, deverá vir um conversor estático CA-CC ou CA-CA, dependendo da tecnologia do motor, assim como fazemos hoje com servomotores síncronos.

Em máquinas-ferramenta, o modelo de motor linear mais usado é o de indução. Neste motor, a parte móvel é chamada de primário e construtivamente é análoga ao estator (se bem que aqui não temos uma forma circular). Observe a **figura 2**.

O outro pólo magnético forte é chamado de secundário (**figura 3**). O secundário é uma única peça (setor) ou sequência de peças, com núcleo de imãs permanentes e acessórios para sua fixação à máquina.

A disponibilidade comercial do secundário está em setores de 200, 300 ou 500 mm, ou até de outras dimensões, dependendo do fabricante. O primário deverá sempre estar completamente emparelhado ao secundário, por conseguinte, o número de setores do secundário deve ser suficiente para todo o curso útil do eixo e ainda alguma folga. Na prática, percebe-se que a melhor folga é exatamente o comprimento do primário, sendo 50% de sobra de secundário em cada extremidade de eixo (**figura 4**).

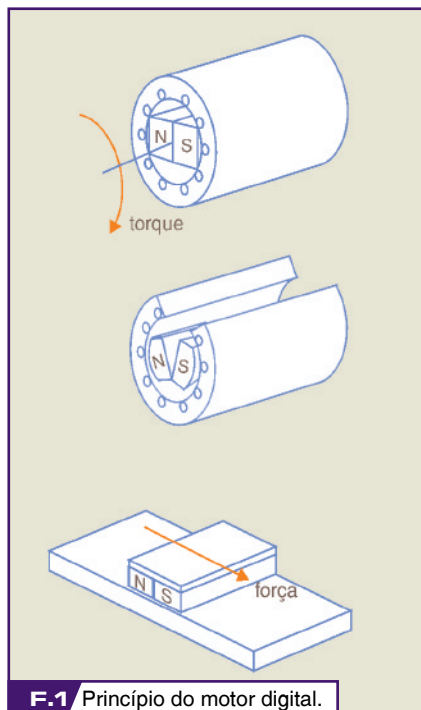
Em termos de performance, tais motores possuem características que revolucionam a dinâmica da máquina.

É claro que o trabalho da força tangencial será sempre o mesmo, não interessando se o motor é rotativo ou se é linear. Já a velocidade não. Com fusos de esfera, estávamos limitados a rotações de 3000 e 4000 rpm, aproximadamente. Se desejássemos altas velocidades com esses fusos, deveríamos dispor de passos largos e daí não haveria rigidez do fuso se os mesmos não fossem de diâmetros apreciáveis: 63 mm, 80 mm ou ainda maiores. Com inércias desta grandeza, principalmente para a frenagem e aceleração, não era possível obter deslocamentos rápidos em curtas distâncias e, dessa forma, ficávamos "escravos" de máquinas lentas e dizíamos (na verdade ainda dizemos) que o limite era mecânico.

Os motores lineares vieram para ampliar esse limite. Modelos tradicionais atingem 14500 N em velocidades de 100 m/min. Para velocidades de 200 m/min, a força fica reduzida praticamente à metade. Perceba porém que quando nos encontramos em altas velocidades, não estamos requerendo esforço de corte e, portanto, as forças não precisam ser grandes. Já as velocidades sim, afinal, quando não estamos cortando, o tempo é morto.

No caso da grandeza de força, considere um fuso de 60 mm de diâmetro. Se tivermos um motor linear produzindo 10.000 N, isso equivale a termos um torque de 300 Nm na ponta do fuso mencionado. É torque suficiente para acionar muitas máquinas. Entretanto, se for necessário um aumento de força, pode-se usar uma combinação de dois primários para produzir um campo magnético mais forte.

A **figura 5** ilustra um exemplo de aplicação múltipla de motores lineares em máquina-ferramenta. Trata-se de



F.1 Princípio do motor digital.

uma fresadora tipo portal onde todos os eixos são lineares, assim como os motores. Em motores lineares estamos salvos dos desgastes de fuso, folga da porca, necessidade de lubrificação da porca, flexão e vida dos rolamentos de mancalização.

Para utilizar um motor linear, a máquina deverá ser “pensada” para tal. A própria estrutura mecânica que carrega a ferramenta deverá ser rígida e leve, de forma a beneficiar-se das velocidades e acurácia destes motores (**figura 6**).

Casos práticos mostram que motores lineares possuem acurácia inferior a um centésimo de micron: isso mesmo, cem vezes menor que um micron. Quer mais? Acelerações de 2G. Com isso, você já tem motivos de sobra para pensar ou, ao menos, considerar utilizar esses motores em uma futura aplicação.

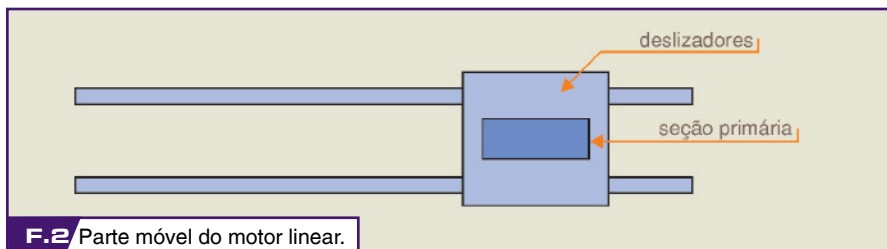
Alguns reprovam meu discurso dizendo que eu não me refiro ao custo desses motores. Sem dúvida, o custo por kW de um motor deste é superior (cerca de quatro vezes) ao equivalente rotativo. Contabilize que o motor linear elimina o uso de fusos de esfera, porcas e rolamentos, além de ser afetado pela baixa demanda de mercado.

O mesmo aconteceu com os computadores: no começo os preços eram exorbitantes até que alguém inventou o PC para a sua casa. O motor linear já está nesse estágio. Não estou dizendo que você deve trocar todos os motores por lineares desde já, mas considere inicialmente uma combinação.

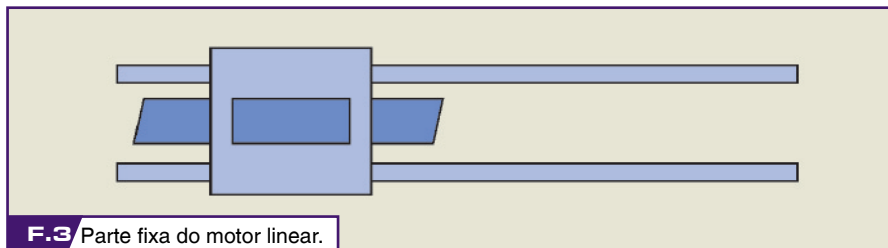
Máquinas híbridas estão surgindo, principalmente na área de linhas *transfer* para indústria automobilística e tornos verticais. Nestes últimos, um eixo que é usado tanto para a usinagem como para a carga e descarga, é equipado com motor linear, enquanto que os demais ainda permanecem com o conjunto tradicional de fuso de esfera e porca dupla.

#### DIAGRAMA DE FORÇAS E VELOCIDADES

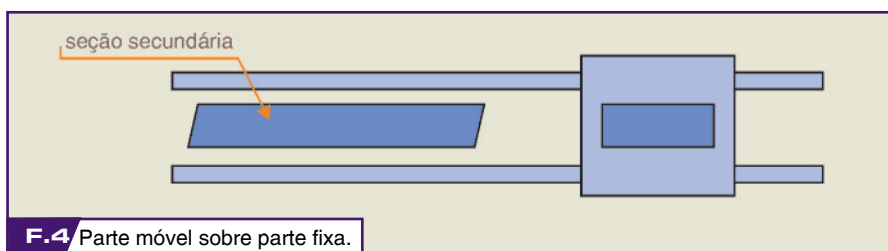
Quando buscamos um motor linear, o motivo mais forte deve ser uma necessidade de velocidade. O motor linear é também uma máquina elé-



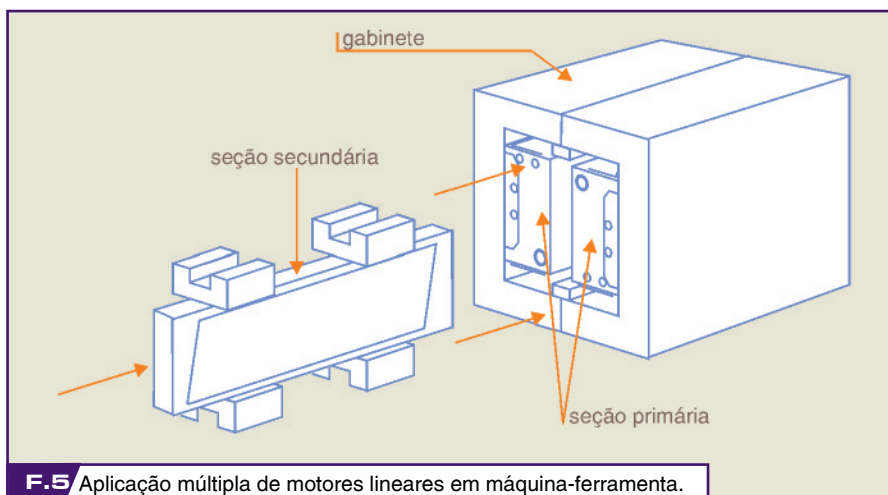
F.2 Parte móvel do motor linear.



F.3 Parte fixa do motor linear.



F.4 Parte móvel sobre parte fixa.



F.5 Aplicação múltipla de motores lineares em máquina-ferramenta.

trica e passível de realizar um trabalho máximo, de acordo com suas características construtivas e limites externos de drives.

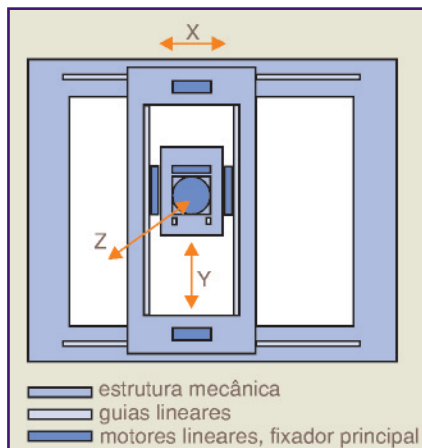
Falando de índices e siglas úteis para a especificação do motor linear, veja na **figura 7** onde as grandezas força e velocidade estão representadas.  $F_N$  significa a força nominal do motor, que é um dado de catálogo. Também do catálogo de qualquer fabricante, você extrai  $F_{MAX}$ . Em adição a esses dois fatores, outros dois surgem. São eles a  $V_{max, Fmax}$  e  $V_{max, FN}$  significando a velocidade máxima quando a força também é a

máxima e a velocidade máxima para quando a força é nominal.

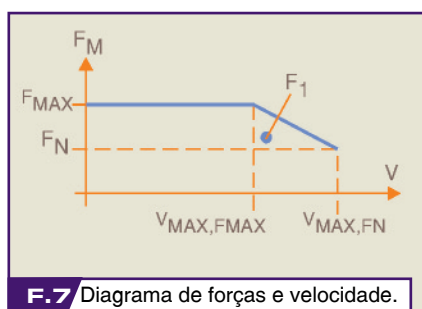
Perceba no gráfico que o segmento de  $(F_{max}, V_{max, Fmax})$  para  $(F_N, V_{max, FN})$  é uma reta e que representa uma manutenção da potência máxima útil. O gráfico mostra um ponto de trabalho  $F_1$  que está na região inferior da curva. Apenas comportamentos nessa região são possíveis.

Em um “motor de gaiola” podemos acelerar indefinidamente por meio do aumento da frequência até que haja algum tipo de instabilidade como um arco voltaico, sobre-aquecimento ou uma fadiga acelerada de rolamentos.





F.6 Exemplo de estrutura de máquina.



F.7 Diagrama de forças e velocidade.

No motor linear também podemos presenciar um limite mecânico e magnético causado pela temperatura.

Por ser um circuito de circulação de corrente, o “efeito joule” está presente e com ele o aumento de impedância pela temperatura. Se quisermos manter as características de dados de catálogo do motor, é importante mantê-lo refrigerado numa temperatura de no máximo 35 C para a refrigerante que vem do tanque.

Verificando o gráfico da **figura 8**, observe o quão drástico é o efeito da temperatura no rendimento dos motores lineares. Após 35 C de temperatura do líquido de entrada, a força nominal já fica abaixo dos 100% de especificação de catálogo. Caso não se utilize líquido refrigerante na circulação interna, o motor terá no máximo 50% de sua força nominal disponível.

Acima de 120 C o motor já sofre danos estruturais. Até lá, a partir dos 35 C já existe perda da acurácia. Dessa forma, recomendo fortemente o emprego de circuitos fechados de refrigeração forçada dos motores. A **figura 9** ilustra esses condutores.

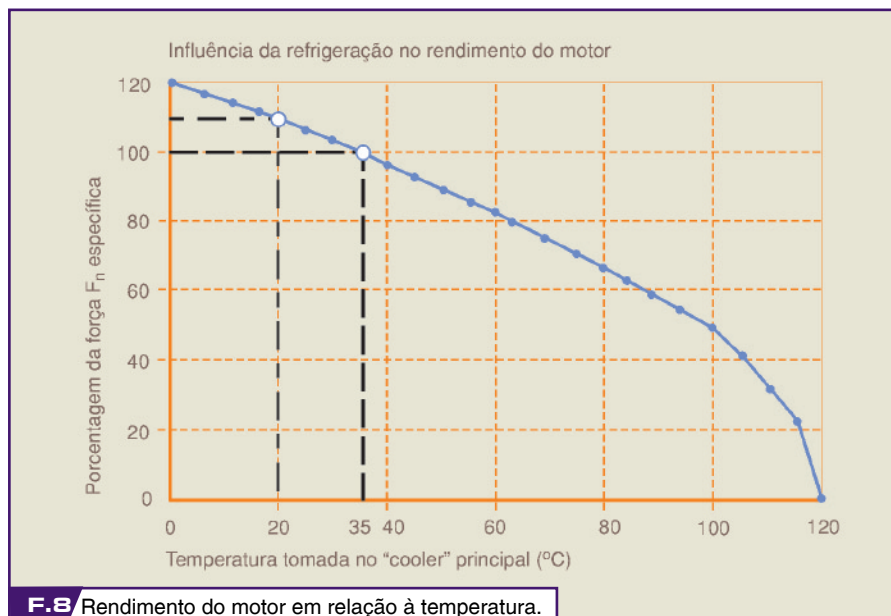
Ainda aproveitando a figura, veja que existe um espaço de ar entre o

primário e o secundário. Esse espaço, chamado “gap” (do inglês), deve obedecer a dimensão de 1 mm, com tolerância de 0,3 mm. Nem mais nem menos para reproduzir com exatidão as características mencionadas no catálogo do fabricante. Um gap diferente torna o sistema mais instável, com menor acurácia ou mais rígido, drenando mais corrente e reduzindo o limite de força útil.

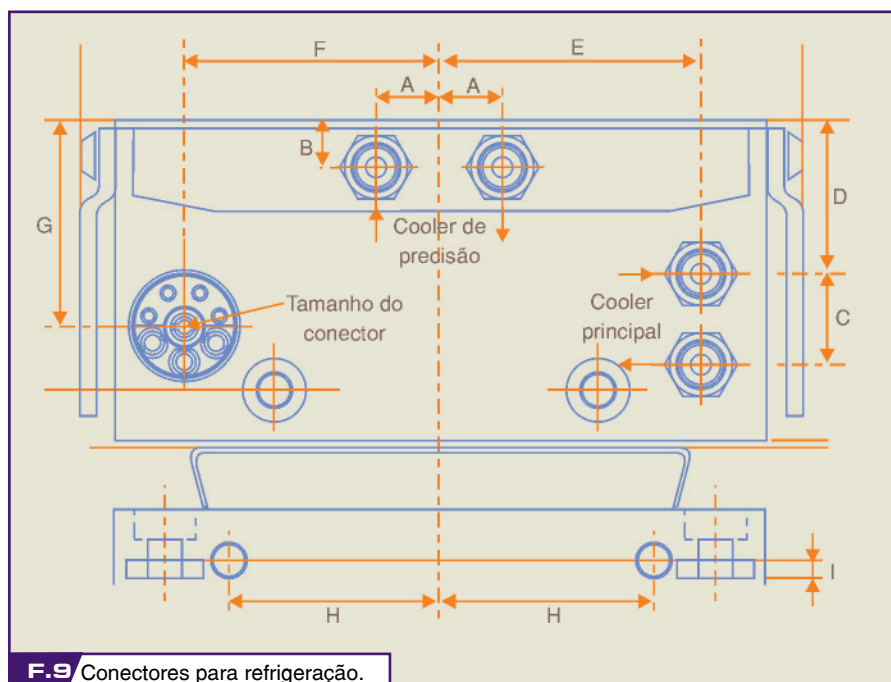
A literatura disponível sobre motores lineares no Brasil, resume-se a alguns catálogos de fabricantes estrangeiros ou trabalhos de Mestrado e Doutorado sobre os princípios desses

motores. O tratamento matemático dos motores lineares, principalmente pelo desenvolvimento das equações de Maxwell para o plano, agora em três dimensões, diferentes do motor tradicional (duas dimensões) foi elaborado em 1972 pelo Eng. Sakae Yamamura, do IEEE - Tokyo. A ciência é bem nova. Aproveite feiras, palestras e outros eventos para familiarizar-se com este que será o supramundo da tecnologia de movimento deste início de século.

\*Paulo Eduardo Pansiera é supervisor de vendas da área de soluções de automação para máquinas-ferramenta da Siemens.



F.8 Rendimento do motor em relação à temperatura.



F.9 Conectores para refrigeração.

# Aterramento Elétrico

Alexandre Capelli

Um dos pontos mais críticos da instalação elétrica de uma máquina ou equipamento de automação industrial é, sem dúvida, o aterramento elétrico.

O objetivo deste artigo é mostrar aspectos básicos das normas, problemas e soluções, bem como o processo de tratamento químico do solo.

## FUNÇÕES X NORMAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) possui uma norma específica que rege a área de instalações elétricas em baixa tensão. Essa norma é a NBR 5410, cuja estrutura é dividida em subseções. As de números: 6.3.3.1.1, 6.3.3.1.2, e 6.3.3.1.3 referem-se aos possíveis sistemas de aterramento que podem ser encontrados na indústria. Não podemos confundir, entretanto, um aterramento “dentro das normas”, com o melhor aterramento para uma situação em particular. Conforme veremos mais adiante, a própria norma propõe três tipos básicos de aterramento. Cabe ao técnico ou engenheiro de campo, portanto, escolher a melhor alternativa para cada caso.

**“Sendo assim, o que garante a norma?”**

Ao contrário do que muitos pensam, estar apenas dentro das normas não significa que o equipamento funcionará bem.

Quanto ao aterramento elétrico, ao instalarmos uma máquina segundo a NBR5410, temos a certeza de que três itens básicos estão assegurados:

1º. O usuário do equipamento está protegido contra descargas atmosféricas, através da viabilização de um caminho alternativo para a terra.

2º. Não haverá cargas estáticas acumuladas na carcaça da máquina.

3º. Os dispositivos de proteção contra surtos terão seu funcionamento facilitado, através da corrente desviada para o terra.

Para automação industrial é recomendável a utilização do procedimento para “equipamentos de tecnologia da informação”, onde o valor ôhmico do terra é inferior a  $5 \Omega$ , e o sistema é equipotencial.

Ora, notem que não estamos contemplando EMI, funcionalidade dos sistemas de comunicação (RS-232, RS-485, etc.), entre outros fatores que influenciam o bom funcionamento do sistema.

Isso significa que, além de cumprir as normas, o técnico deve escolher qual solução é a melhor, visto que o equipamento deve oferecer mais do que segurança.

Segurança, aliás, não é diferencial, mas sim obrigação. Somente podemos considerá-la como tal, quando ela vier acompanhada de boa performance, relação custo/benefício, e confiabilidade.

A seguir trataremos dos três tipos mais comuns de aterramento utilizados na indústria, e devidamente normalizados. O sistema IT não foi abordado, tendo em vista sua restrição de uso.

## TIPOS DE ATERRAMENTO

Os três sistemas da NBR 5410 mais utilizados na indústria são:

### A – Sistemas TN-S:

Notem pela **figura 1** que temos o secundário de um transformador (cabine primária trifásica) ligado em Y. O neutro é aterrado logo na entrada, e levado até a carga. Paralelamente, outro condutor identificado como PE é utilizado como fio terra, e é conectado à carcaça (massa) do equipamento.

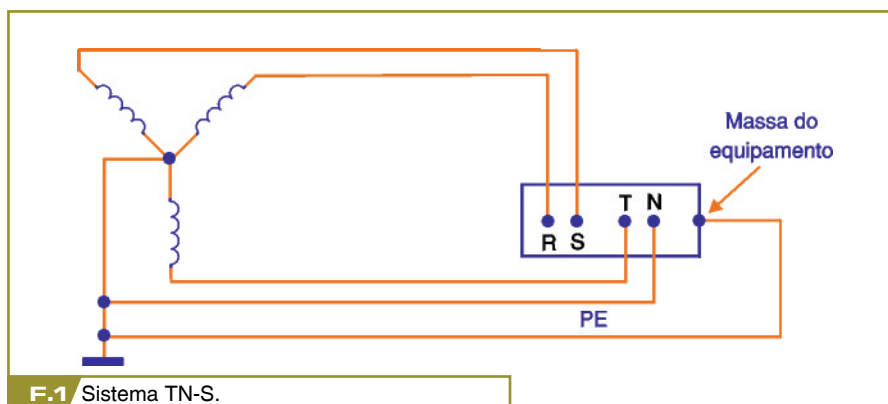
### B – Sistema TN-C:

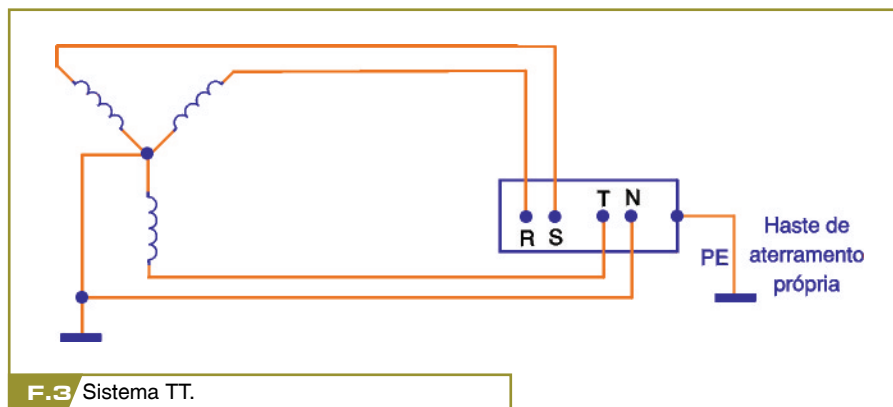
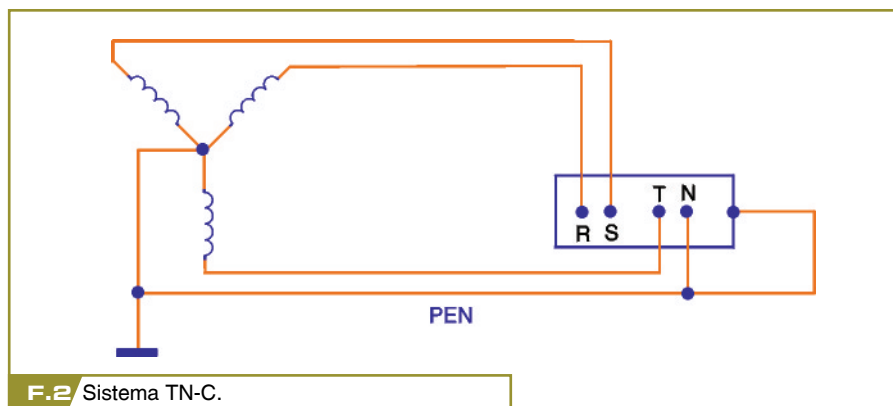
Esse sistema, embora normalizado, não é aconselhável, pois o fio terra e o neutro são constituídos pelo mesmo condutor. Dessa vez, sua identificação é PEN (e não PE, como o anterior).

Podemos notar pela **figura 2** que, após o neutro ser aterrado na entrada, ele próprio é ligado ao neutro e à massa do equipamento. Deve ser utilizado somente quando não há possibilidade da passagem de mais um cabo pelo eletroduto.

### C – Sistema TT:

Na **figura 3** vemos que o neutro é aterrado logo na entrada e segue (como neutro) até a carga (equipamento). A massa do equipamento é





aterrada com uma haste própria, independente da haste de aterramento do neutro.

Esse sistema é o melhor tipo para evitar-se interferências elétricas entre máquinas, visto que cada terra é isolado. Entretanto, pela mesma razão, os equipamentos ficam mais suscetíveis à queima durante uma descarga atmosférica (*loop de terra*).

#### TRATAMENTO QUÍMICO DO SOLO

Como já observamos, a resistência do terra depende muito da constituição química do solo. Muitas vezes, o aumento de número de "barras" de aterramento não consegue diminuir a resistência do terra significativamente.

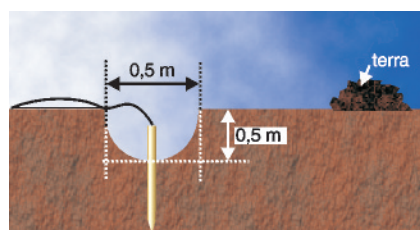
Somente nessa situação devemos pensar em tratar quimicamente o solo.

O tratamento químico tem uma grande desvantagem em relação ao aumento do número de hastes, pois a terra, aos poucos, absorve os elementos adicionados. Com o passar do tempo, sua resistência volta a aumentar, por conseguinte, essa alternativa deve ser o último recurso.

Temos vários produtos que podem ser colocados no solo antes ou depois da instalação da haste para diminuir a resistividade do solo. A Bentonita e o Gel são os mais utilizados. De qualquer forma, o produto a ser empregado para essa finalidade deve ter as seguintes características:

- Não ser tóxico
- Deve reter umidade
- Bom condutor de eletricidade
- Ter pH alcalino (não corrosivo)
- Não deve ser solúvel em água.

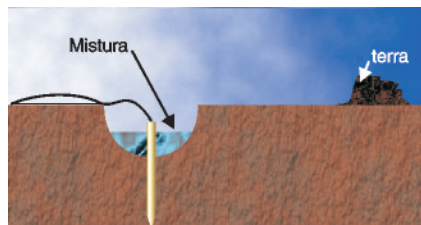
#### SEQUÊNCIA DE TRATAMENTO QUÍMICO DO SOLO



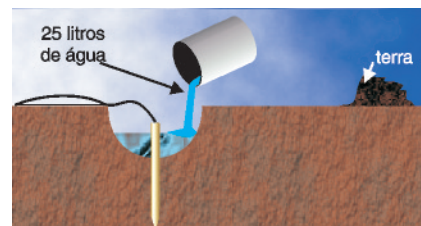
Buraco com 50 cm x 50 cm



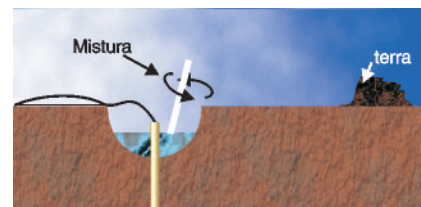
Mistura com 50% de terra e 50% de gel..



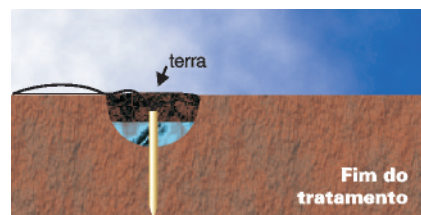
Mistura pronta dentro do buraco.



Adição de 25 litros de água.



Misturar



Preenchimento com terra.

Uma observação importante no que se refere à instalação em baixa tensão é a proibição (por norma) de tratamento químico do solo para equipamentos a serem instalados em locais de acesso público (colunas de semáforos, caixas telefônicas, controladores de tráfego, etc.). Essa medida



visa à segurança das pessoas nesses locais.

### IMPLICAÇÕES DE UM MAU ATERRAMENTO

Ao contrário do que muitos pensam, os problemas que um aterramento deficiente pode causar não se limitam apenas aos aspectos de segurança.

É bem verdade que os principais efeitos de uma máquina mal aterrada são choques elétricos ao operador, e resposta lenta (ou ausente) dos sistemas de proteção (fusíveis, disjuntores, etc.).

Mas outros problemas operacionais podem ter origem no aterramento deficiente.

### TIPOS DE PROBLEMAS ENCONTRADOS EM CAMPO

- Quebra de comunicação entre máquina e PC (CLP, CNC, etc.), em modo *on-line*. Principalmente, se o protocolo de comunicação for RS-232.
- Excesso de EMI gerado (interferências eletromagnéticas).

- Aquecimento anormal das etapas de potência (inversores, conversores, etc.), e motorização.
- Funcionamento irregular de computadores pessoais.
- Falhas intermitentes, que não seguem um padrão.
- Queima de CIs ou placas eletrônicas sem razão aparente, mesmo sendo elas novas e confiáveis.
- Interferências e ondulações em monitores de vídeo.

### BITOLA E CONEXÃO DO FIO TERRA

Ter uma boa haste ou um solo favorável não basta para termos um bom aterramento elétrico.

As conexões da haste com os cabos de terra, bem como a bitola do cabo terra também contribuem muito para a resistência total de aterramento.

No que se refere à bitola do fio terra, ela deve ser a maior possível. Temos a seguir uma regra prática que evita desperdícios, e garante um bom aterramento.

**Para:**

$$S_f < 35 \text{ mm}^2 \rightarrow S_t = 16 \text{ mm}^2$$

$$S_f \geq 35 \text{ mm}^2 \rightarrow S_t = 0,5 S_f$$

**Onde:**

**S<sub>f</sub>** = a seção transversal dos cabos (fios) de alimentação do equipamento (fases).

**S<sub>t</sub>** = a seção transversal do fio terra.

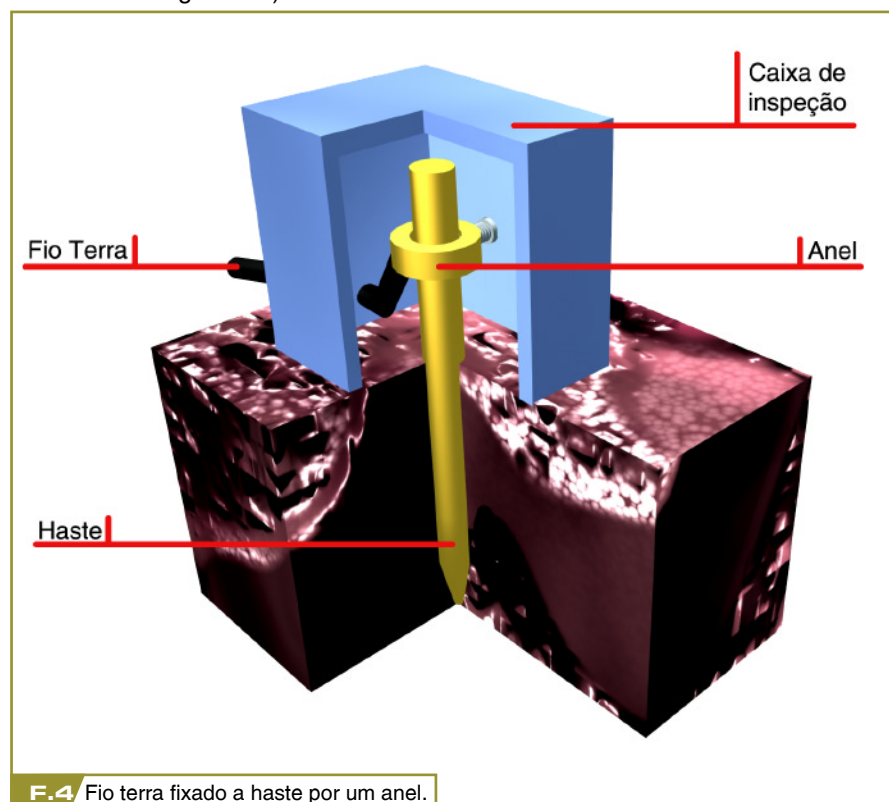
Observem que para diâmetros inferiores a 35 mm<sup>2</sup> para as fases, temos o fio terra de 16 mm<sup>2</sup>. Já para diâmetro iguais ou acima de 35 mm<sup>2</sup>, o fio terra deverá ter seção transversal igual à metade da seção dos cabos de alimentação. Quanto a conexões, devemos optar em 1º lugar pela fixação por solda do fio terra à haste. Isso evita o aumento da resistência do terra por oxidação de contato. Se isso não for possível, poderemos utilizar anéis de fixação com parafusos. Nesse caso, porém, é conveniente que a conexão fique sobre o solo, e dentro de uma caixa de inspeção (**figura 4**).

### CONCLUSÃO

Conforme o leitor já deve ter percebido, ao contrário dos bens de consumo (eletrodomésticos), o desempenho dos equipamentos industriais é muito influenciado pelo aterramento elétrico.

Isso exige do técnico de integração, tanto dos processos contínuos quanto da manufatura, uma atenção especial. Portanto, é aconselhável a consulta criteriosa da norma, bem como das especificações técnicas do fabricante.

A melhor solução é o ponto de intersecção entre os dois “documentos”, pois esta é a alternativa que contempla maior segurança com melhor performance. ■



**F.4** Fio terra fixado a haste por um anel.

### Referência Bibliográfica

- “**Mecatrônica Industrial**” Alexandre Capelli, 2002. Editora Saber Ltda.

Este livro pode ser adquirido pela Internet no site [www.editorasaber.com.br](http://www.editorasaber.com.br), ou pelo telefone (11) 6195-5333.

# Analísadores por condutibilidade térmica

Gilberto Branco\*

A análise por condutibilidade térmica ou condutividade térmica, permite determinar a concentração de um gás em uma mistura gasosa. A análise consiste em medir a condutibilidade térmica da amostra, relacionando-a com a concentração do componente no gás em análise. Essa técnica é muito utilizada atualmente para determinar a concentração de  $H_2$  (Hidrogênio) em uma amostra.



**E**mbara seja uma análise quantitativa, uma vez que o detector, como veremos na sequência, não consegue determinar qual gás está sendo analisado e sim o quanto de calor é transferido do filamento para o gás, trata-se de uma técnica com grande velocidade de resposta e de fácil adaptação no controle e supervisão de processos. Por essas razões, e também devido ao relativo baixo custo do equipamento, esse tipo de analisador é muito empregado na análise de gases industriais.

Alguns conceitos fundamentais que foram utilizados no desenvolvimento dessa técnica são:

**Calor:** que é a energia térmica que se transfere de um corpo para outro, ou entre as partes deste, quando houver diferença de temperatura.

**Transferência de calor:** que pode ocorrer de três modos diferentes: Condução, Convecção e Radiação.

E, independentemente do processo, o calor se propaga espontaneamente de um ponto de maior temperatura para outro de menor temperatura.

## CONDUTIBILIDADE TÉRMICA

Em 1822, Fourier definiu que em regime estacionário, o fluxo calorífico em um material homogêneo é dado pela equação:

$$\phi = K \frac{S \theta}{e}$$

onde:

$\phi$  = fluxo calorífico

K = coeficiente de condutibilidade

térmica em kcal / h . m<sup>2</sup> . °C / m

S = área da seção transversal em m<sup>2</sup>

$\theta$  = diferença de temperatura em °C

e = espessura em m.

Como podemos observar, o fluxo calorífico depende não apenas das dimensões físicas e diferença de temperatura, mas também de uma característica física própria do meio onde se processa a transferência de calor, que é a condutibilidade térmica.

Define-se, então, condutibilidade térmica como a capacidade da matéria de conduzir calor, com menor ou maior facilidade.

## CONDUTIBILIDADE TÉRMICA DOS GASES

A equação que determina a condutibilidade térmica dos gases em relação ao ar atmosférico é:

$$K_r = \frac{K_{\text{gás}}}{K_{\text{ar}}}$$

onde:

Kr = condutibilidade térmica relativa do gás

$K_{\text{gás}}$  = condutibilidade térmica do gás em kcal / h . m<sup>2</sup> . °C / m

$K_{\text{ar}}$  = condutibilidade térmica do ar em kcal / h . m<sup>2</sup> . °C / m

Algumas literaturas apresentam os

GÁS	FÓRMULA	K - (k cal/h.m. °C)		Kr	
		0 °C	100 °C	0 °C	100 °C
Ar atmosférico	--	0,0192	0,0245	1,000	1,000
Argônio	Ar	0,0136	0,0178	0,0709	0,0727
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	0,0118	0,0178	0,614	0,727
Dióxido de enxofre	SO <sub>2</sub>	0,0066	--	0,344	--
Hélio	He	0,1195	0,1434	5,853	6,233
Hidrogênio	H <sub>2</sub>	0,1367	0,1722	7,029	7,119
Metano	CH <sub>4</sub>	0,0253	--	1,318	--
Monóxido de carbono	CO	0,0185	--	0,964	--
Nitrogênio	N <sub>2</sub>	0,0196	0,0249	1,016	1,021
Oxigênio	O <sub>2</sub>	0,200	0,0259	1,042	1,057

**T.1** Condutibilidade térmica de alguns gases.

valores de condutibilidade térmica dos vários gases e na **tabela 1** observamos a condutibilidade térmica de alguns gases, em valores absolutos (K) e relativos (Kr).

Note que a condutibilidade térmica do Hélio (He) e do Hidrogênio (H<sub>2</sub>) é substancialmente maior do que as demais, o que torna esse tipo de análise bastante seletiva. Porém, deve-se ter cuidados principalmente com outros gases misturados na amostra, uma vez que, como veremos a seguir, a mistura de um ou mais gases faz com que a amostra tenha uma alteração da condutibilidade total.

#### CONDUTIBILIDADE TÉRMICA DE UMA MISTURA GASOSA

A condutibilidade térmica de uma mistura gasosa depende do tipo e da concentração de seus componentes e pode ser calculada, dentro de um desvio médio de 2%, pela seguinte equação:

$$K_m = \frac{\sum K_i j_i (M_i)^{1/3}}{\sum j_i (M_i)^{1/3}}$$

onde:

K<sub>m</sub> = condutibilidade térmica da mistura

K<sub>i</sub> = condutibilidade térmica de cada gás

j<sub>i</sub> = fração molar de cada gás

M<sub>i</sub> = massa molar de cada gás.

#### PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO

Essa técnica consiste em relacionar a concentração do gás

componente em análise com a condutibilidade térmica da mistura gasosa.

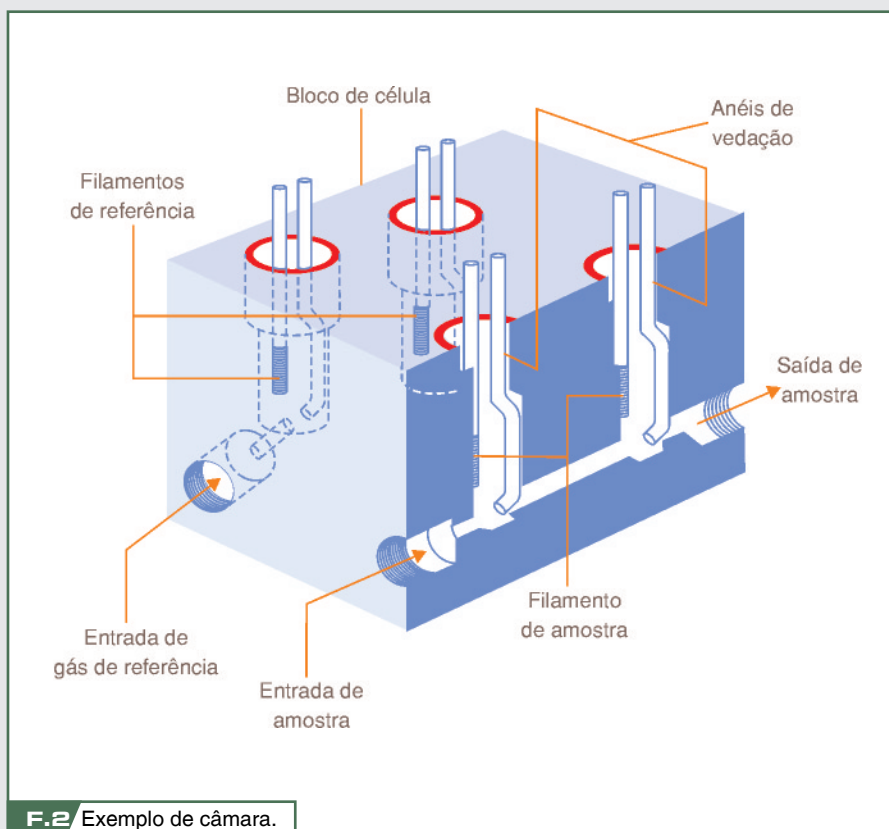
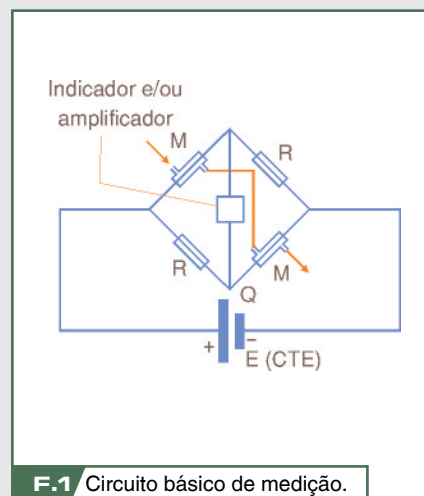
Nesse princípio de operação, é utilizado um circuito de medição que opera por comparação consistindo, na sua forma mais simples, de duas câmaras idênticas conectadas nos braços adjacentes de uma ponte de Wheatstone, observe a **figura 1**. Uma das câmaras (M) é a de medição na qual circulará a amostra, enquanto a outra câmara (R) é a de referência, onde um gás de características térmicas constantes pode ser selado ou circular continuamente. Esse tipo de arranjo compensa particularmente as variações de temperatura externa às câmaras.

Quando as duas câmaras contiverem o mesmo gás (usualmente a câmara de referência é preenchida com Nitrogênio - N<sub>2</sub>), os filamentos aquecidos, que transferem calor no sentido das paredes internas das câmaras, estarão na mesma temperatura. Dessa forma, a ponte estará eletricamente equilibrada levando o amplificador a "entender" que não existe gás de interesse na câmara de medição, fazendo com que a indicação do analisador seja o início da faixa de medição.

Se fizermos circular pela câmara de medição uma mistura que contenha um gás de interesse, por exemplo, H<sub>2</sub> em N<sub>2</sub>, a temperatura do filamento de medição ficará menor que a temperatura da câmara de referência, pois a condutibilidade térmica dessa mistura é maior que a do N<sub>2</sub>. Assim sendo, a ponte será eletricamente desequilibrada, aparecendo então uma corrente que o amplificador enviará para o indicador na proporção da concentração do componente na amostra. A escala do medidor poderá, dessa maneira, ser calibrada em % Vol de H<sub>2</sub>. Observe, porém, que esse dispositivo mede a diferença de condutibilidade térmica entre os gases das duas câmaras.

Os circuitos de medição são configurados de acordo com o número e a disposição elétrica das câmaras de medição e referência na ponte de Wheatstone, fator esse que apresenta como maior vantagem entre as demais configurações, a de ser mais sensível para qualquer tipo de componente analisado.

Usualmente, as câmaras de medição e referência são projetadas de forma a minimizar as perdas de calor





por convecção e radiação, uma vez que o filamento deve perder calor apenas por condução no gás. Essas câmaras são encontradas sob formas diferentes, de acordo com o modo pelo qual o gás é admitido no interior da câmara. Veja o exemplo da **figura 2**. Caso a câmara de referência seja do tipo selada, as conexões de entrada e saída serão fechadas por conectores apropriados, após o enchimento da câmara com gás de referência.

#### APLICAÇÃO

O analisador por condutibilidade térmica pode ser encontrado nos mais variados tipos de processos industriais tais como: fracionamento do ar, alto-forno, conversor, síntese do amoníaco e fornos, determinação de contaminantes, etc. A seguir, descreveremos um exemplo de aplicação para análise "on-line" utilizado em uma planta de fracionamento de ar.

#### Introdução

Uma planta de fracionamento de ar, normalmente separa os componentes do ar atmosférico em três componentes gasosos puros, Nitrogênio ( $N_2$ ), Oxigênio ( $O_2$ ), e Argônio (Ar). Os outros componentes do ar atmosférico, tais como, vapor de água, Dióxido de Carbono ( $CO_2$ ), e os hidrocarbonetos são contaminantes e devem ser removidos para garantir a segurança, a eficiência de operação da planta e a pureza/qualidade do produto.

#### Princípio de Operação Geral de uma Planta de Separação de Ar Atmosférico

Existem três tipos de tecnologias básicas que permitem a separação do ar atmosférico em componentes puros. Esses processos incluem:

- Fracionamento por criogenia;
- Adsorção por balanço de pressão (PSA);
- Membrana de separação.

O baixo custo e a facilidade de produção, porém com perda da

pureza, tem tornado esta nova tecnologia (processo não criogênico) mais atrativa.

As peneiras moleculares têm a capacidade de adsorver moléculas de gás para separar o Oxigênio do Nitrogênio usando a tecnologia de adsorção por balanço de pressão (PSA). Da mesma forma, a tecnologia de membrana de separação permite uma rápida permeação do oxigênio e do vapor de água do fluxo de Nitrogênio que atravessa as fibras da membrana.

#### Aplicações de Analisadores de Gás

Os custos de produção em uma planta desse tipo são inicialmente relacionados à operação e à energia elétrica. Entretanto, esses custos podem inviabilizar a planta caso as variáveis do processo não sejam bem controladas. Uma alta concentração de impurezas no Oxigênio, por exemplo, torna o produto de menor qualidade e, em decorrência disso, de menor valor no mercado. Os analisadores de gás têm um papel fundamental nestes processos para garantir a eficiência e conseqüentemente a pureza e a qualidade dos

gases produzidos.

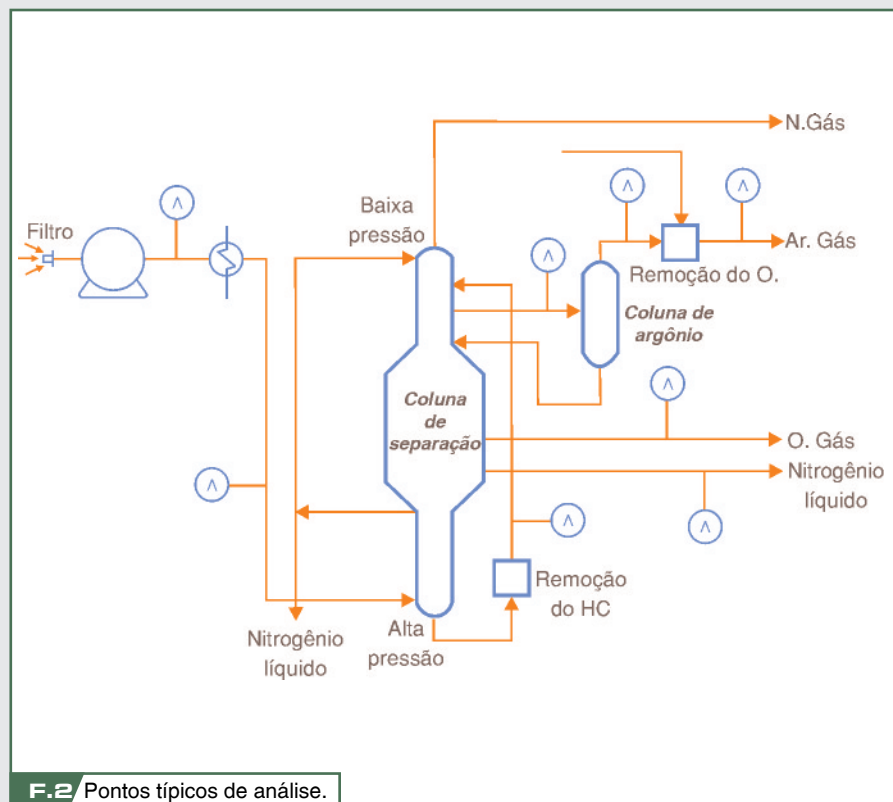
A **figura 3** ilustra alguns pontos de análise que podem ser aplicados neste processo.

Uma das medições consideradas em uma planta de fracionamento de ar atmosférico é a concentração de Hidrogênio no ponto após a unidade de remoção de Oxigênio.

O Hidrogênio é introduzido na coluna de Argônio bruto (em excesso e na quantidade determinada pelo cálculo estequiométrico) com a finalidade de remover o Oxigênio (contaminante nessa fase do processo).

O excesso de Hidrogênio é monitorado para controlar a adição e a eficiência da conversão. Um analisador de condutibilidade térmica é normalmente utilizado nessa etapa do processo para manter o excesso do Hidrogênio < que 3%.

Deve-se considerar que as características específicas da planta dependerão dos produtos e da pureza/qualidade desejada dos produtos a serem extraídos do processo. Conseqüentemente, o tipo e a natureza da instrumentação empregada dependerá do projeto da planta. As possíveis aplicações mencionadas são típicas e podem não ser necessárias em todas as plantas.



**F.2** Pontos típicos de análise.

## DICAS PRÁTICAS

## Gases Interferentes

A amostra aplicada na medição pode ser binária, ou seja, compostas por dois componentes, ou complexa que tenha um comportamento binário do ponto de vista da condutividade térmica. Essa condição é possível desde que a variação dos diversos componentes seja interdependente.

Nunca se deve desprezar a presença de outros gases na composição da amostra, uma vez que a somatória da condutividade térmica desses gases será “sentida” pelo sensor e, como resultado, será indicada erroneamente como concentração do componente de interesse, ocasionando um erro substancial ao resultado da análise.

## Sistema de amostragem

Como em qualquer aplicação de análise, é necessário um sistema de amostragem apropriado para que se obtenha uma análise precisa e confiável. As aplicações em analisadores em uma planta de separação de ar atmosférico não são diferentes.

Embora os pontos a serem analisados sejam limpos e praticamente livres de contaminantes, há diversos outros fatores importantes que, caso sejam ignorados, podem acarretar em sérias falhas na análise.

## Amostra na fase gasosa

Usualmente, uma amostra na fase gasosa tem a seguinte seqüência:

- Filtragem inicial;
- Controle e redução da pressão;
- Transporte da amostra até o analisador;
- Chaveamento da amostra (quando aplicado);
- Controle de amostra / *by-pass*;
- Chaveamento de amostra / gás de calibração (quando aplicado);
- Filtro final;
- Análise.

Nesse tipo de processo, onde muitas análises são feitas em baixas concentrações (parte por milhão - ppm), deve ser dada uma atenção

especial para que seja evitada uma contaminação da amostra, que pode ser facilmente causada pela absorção (pelos componentes analisados) de contaminantes existentes no próprio sistema de amostragem.

Outra fonte de erros pode ser a difusão dos componentes do ar atmosférico, através de tubos ou outros materiais plásticos ou de pequenos vazamentos no sistema.

Estes problemas podem ser minimizados utilizando-se materiais não adsorventes, não quimicamente ativos. O aço inoxidável é tipicamente o melhor material para análises com baixa umidade.

A manutenção de uma alta vazão de *by-pass* (em relação ao diâmetro do tubo de amostragem), assegura

Embora os pontos a serem analisados sejam limpos e praticamente livres de contaminantes, há diversos outros fatores importantes que, caso sejam ignorados, podem acarretar em sérias falhas na análise.

um rápido equilíbrio e um baixo tempo de resposta ao sistema e a amostra.

Para análises de concentração muito baixa, (< 25 ppm), é importante que sejam evitados os tubos de material plástico nas linhas de amostragem, bem como outras possíveis fontes de difusão tais como, diafragmas de borracha nos reguladores de pressão.

Onde houver aplicações de bombas de amostragem, e forem utilizadas bombas com diafragmas de borracha, deve-se providenciar a purga reversa (*back purge*) do lado externo da membrana de borracha para garantir que os contaminantes atmosféricos sejam mantidos fora do contato com o diafragma.

Como em qualquer sistema de análise, os pontos onde pode haver acúmulo de gás (zona morta) devem ser reduzidos e/ou eliminados, diminuindo-se assim o tempo morto da análise.

## Amostra na fase líquida

Existem diversas aplicações em

plantas de separação de ar atmosférico que utilizam amostras em fluxo que contêm amostras na fase líquida. Essas amostras devem ser vaporizadas de forma a se obter composições representativas e para que seja evitado “tempo morto” no processo de análise.

Basicamente, os cuidados devem ser os mesmos já citados, lembrando ainda que deve ser dada especial atenção no processo de volatilização do componente a ser analisado.

Dois métodos que têm sido aplicados com sucesso consistem na vaporização por spray e a deposição de gotas da fase líquida sobre uma superfície aquecida. A transferência do calor se dá de forma rápida, per-

mitindo a vaporização de toda a fase líquida, incluindo até mesmo os componentes que tenham um alto ponto de ebulição como os hidrocarbonetos.

Em resumo, embora as amostras nesse tipo de processo sejam geralmente limpas e livres de contaminantes, são necessárias algumas considerações especiais principalmente para análises em baixa concentração.

Esses problemas, embora não sejam de difícil solução, devem ser observados e resolvidos para garantir a confiabilidade da análise. ■

## Bibliografia

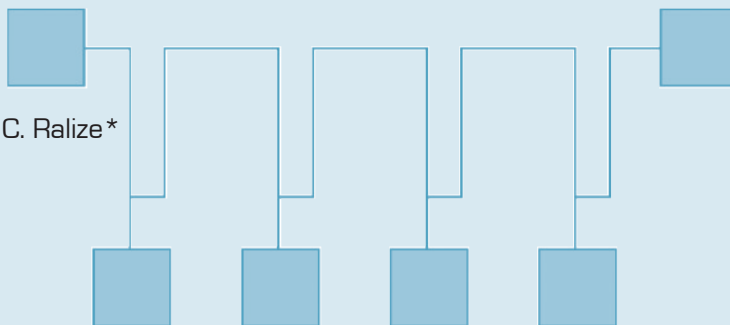
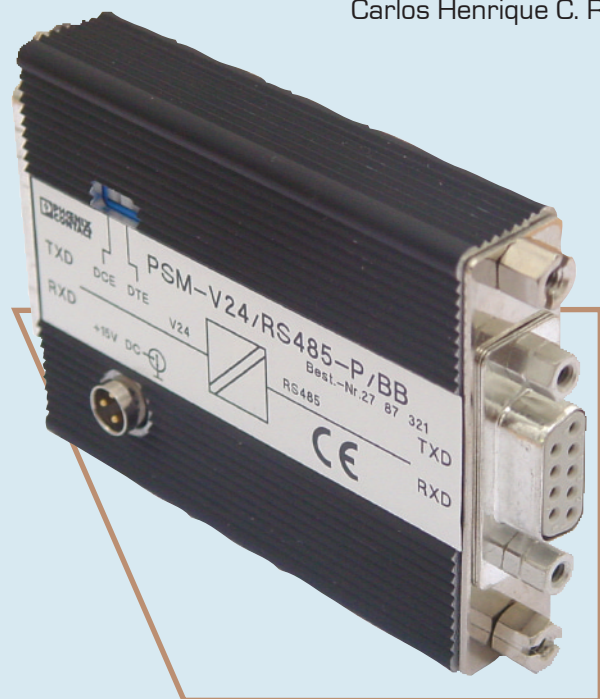
- Hauser, E. A., “The Application of On-Stream Analytical Instrumentation in Air Separation Plants” Beckman Instruments, 1965.
- Shelley, Suzanne, “Out of Thin Air”. Chemical Engineering, 1991.
- Hardenburger, Thomas, “Producing Nitrogen at the Point of Source”, Chemical Engineering, 1992.
- Analisadores Industriais - SENAI - Santos. B.L. Costa Neto e C.H. Brossi. 1982.

\*Gilberto Branco é Engenheiro de Aplicação da Contech Engenharia.

# Aplicações de redes

## RS-485

Carlos Henrique C. Ralize\*



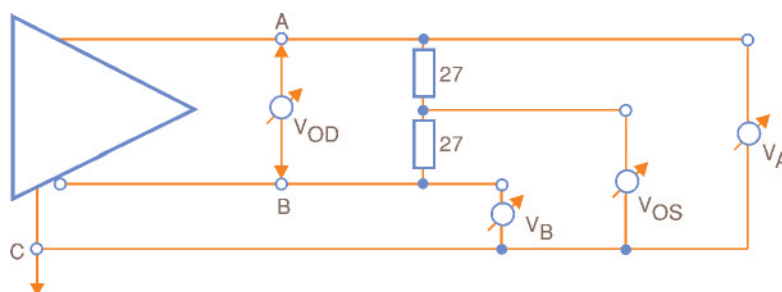
Muitas das redes de comunicação existentes atualmente são baseadas no padrão elétrico RS-485. Sempre que precisamos de um meio elétrico para criar uma rede multiponto a longas distâncias ou alta velocidade, com instalação rápida e barata, a primeira opção é a RS-485. Suas aplicações se estendem desde a integração de pontos de venda e terminais de coleta de dados até aplicações de alto desempenho em Automação Industrial, incluindo também redes de terminais de preços em lojas de departamentos até a interligação de sensores meteorológicos. Mas qual o segredo de tal popularidade?

O nome RS-485 significa *Recommended Standard 485*. Apesar de ser conhecido por esse nome, o padrão já foi transformado em norma pela TIA (*Telecommunications Industry Association*) e pela EIA (*Electronic Industries Alliance*). A última revisão data de março de 1998 e o código da norma é TIA/EIA-485-A. Ainda assim, a norma continua com o mesmo caráter de recomendação para a indústria eletrônica e de telecomunicações. Isto quer dizer que apenas os padrões elétricos necessários à fabricação de transmissores e receptores são claramente definidos. Entre esses padrões estão o modo de transmissão diferencial, as impedâncias máximas e mínimas de entrada e saída dos dispositivos e os níveis de tensão aceitáveis na rede. Detalhes como tipos de cabos e conectores, número máximo de nós, técnica de terminação, taxas de transmissão e distâncias máximas, bem como o protocolo de comunicação digital são deixados em aberto e normalmente são determinados pelos

fabricantes de redes baseadas na RS-485.

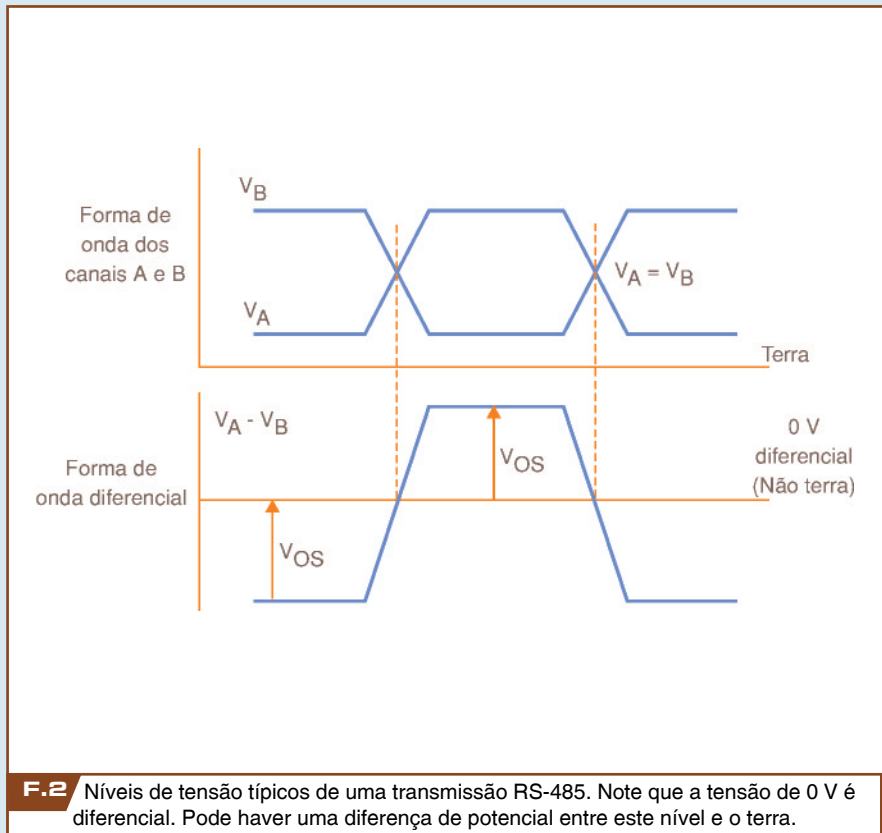
O padrão RS-485 pode ser definido como uma rede ponto-multiponto, *half-duplex*, com transmissão diferencial. Isso significa que a rede pode ser formada por vários dispositivos conectados ao mesmo barramento e que, enquanto um dos dispositivos opera como transmissor,

todos os outros operam como receptores. O mecanismo de controle de acesso ao meio físico não é definido no padrão e faz parte do protocolo utilizado. São muito comuns implementações baseadas no mecanismo "Mestre-Escravo", mas também podem ser utilizados escalonadores ou o mecanismo "Token-Passing". É possível ainda empregar o padrão



F.1 As tensões características de um canal RS-485.



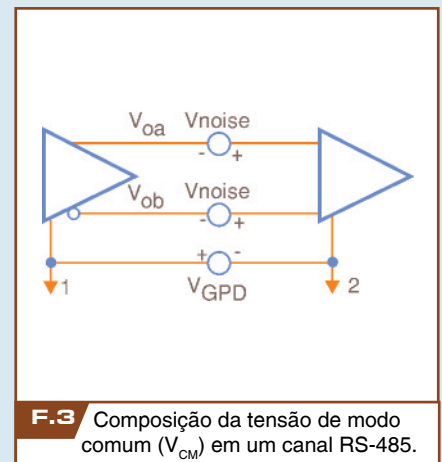


RS-485 para comunicação *full-duplex*, ou seja, transmissão e recepção simultânea. Neste caso, a rede não será ponto-multiponto, mas sim ponto a ponto, e serão utilizados dois pares de cabos.

A transmissão do sinal é diferencial. Isso quer dizer que qualquer transmissor RS-485 possui dois canais independentes conhecidos como A e B, que transmitem níveis de tensão iguais, porém com polaridades opostas ( $V_{OA}$  e  $V_{OB}$  ou simplesmente  $V_A$  e  $V_B$ ). Por esta razão, é importante que a rede seja ligada com a polaridade correta. Embora os sinais sejam opostos, um não é o retorno do outro, isto é, não existe um *loop* de corrente. Cada sinal tem seu retorno pela terra ou por um terceiro condutor de retorno, entretanto, o sinal deve ser lido pelo receptor de forma diferencial sem referência ao terra ou ao condutor de retorno. Este sinal diferencial, lido em relação ao ponto central da carga, é que é interpretado como sinal de transmissão. Qualquer tensão maior que 200 mV é um nível alto ou “marca”. Uma tensão menor que -200 mV é um nível baixo ou “espaço”. Níveis entre -200 mV e +200 mV são indefinidos e interpretados como

ruído. As **figuras 1 e 2** ilustram a relação entre estas tensões.

Uma das características mais marcantes do padrão RS-485 é a tensão de modo comum. Esta tensão é a soma de três componentes: a tensão diferencial  $V_{OS}$ , já citada, a diferença entre os potenciais de terra dos dispositivos e o ruído induzido nos cabos. A **figura 3** mostra esta composição. Os dispositivos RS-485 devem ser construídos para suportar  $V_{CM}$  variando entre -7 e +12 V. Essa diferença ocorre porque os circuitos A e B, por não formarem um *loop* de corrente, têm seu retorno absorvido pelo terra. Diferenças de potencial de terra podem provocar esta diferença que na norma é definida como  $V_{GPD}$ . Em redes muito longas esta tensão pode exceder os limites de segurança podendo, inclusive, causar a queima dos circuitos transceptores. Um fato pouco conhecido é que um terceiro condutor pode ser usado para referência de tensão, como exemplificado na **figura 4**. Se houver a necessidade de fazer essa equalização, devemos utilizar um cabo com três condutores e interligar o terceiro condutor ao pino “signal GND”. Além disso, devemos desacoplar esse condutor do terra pela utilização de



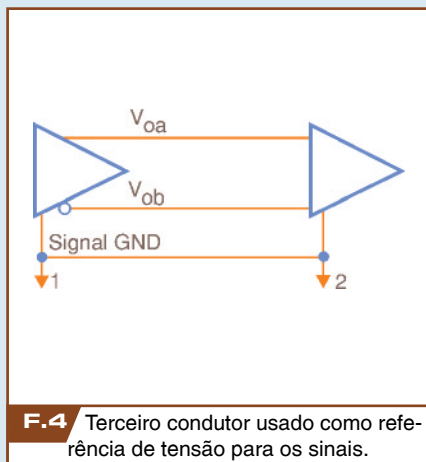
um protetor contra surtos capaz de absorver sobretensões e descargas atmosféricas. Este tipo de instalação, no entanto, não é muito comum e na maioria dos casos o retorno pelo terra é suficiente.

O outro componente importante da tensão em modo comum é a tensão de ruído  $V_{NOISE}$ . Normalmente, os cabos empregados em redes RS-485 são pares trançados. Neste caso, podemos considerar que a tensão de ruído será induzida igualmente em ambos os condutores, como mostrado na **figura 3**. Por ser somada igualmente aos dois condutores, o diferencial  $V_{OS}$  relativo ao ruído induzido será próximo de 0 V. Isso permite reconstruir o sinal enviado com grande precisão mesmo em presença de muitos ruídos elétricos. Isso reduz a necessidade de usar cabos blindados na maioria das aplicações. Ainda assim, se estivermos trabalhando em altas velocidades ou longas distâncias em ambientes industriais, os cabos blindados proporcionarão mais estabilidade à rede.

A **figura 5** ilustra as tensões  $V_{OA}$  e  $V_{OB}$  medidas em relação ao terra. Observe que há ruído induzido de forma praticamente igual nos dois canais. A **figura 6** demonstra a tensão diferencial medida entre os condutores A e B na mesma rede.

### OS LIMITES DO PADRÃO

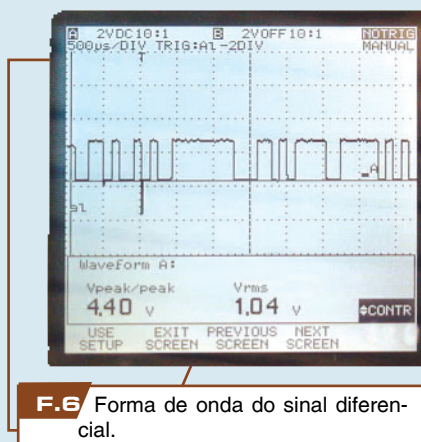
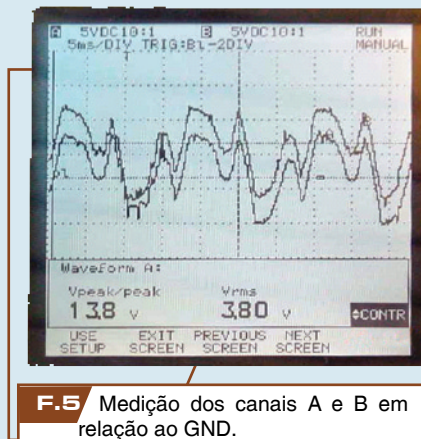
Qualquer padrão de rede tem limites quanto à distância máxima, número máximo de dispositivos (ou nós), dimensionamento de terminações e máxima taxa de comunicação. Com o padrão RS-485 não é dife-



rente, mas, curiosamente, uma das razões da popularidade desse padrão é que esses limites são muito flexíveis e em muitos casos, facilmente ultrapassados.

A norma define que a máxima distância de ponta a ponta em uma rede RS-485 é de 5000 pés (aproximadamente 1200 m) e a máxima taxa de transmissão é de 10 Mb/s. Existe uma relação inversa entre o comprimento do cabo e a velocidade máxima como apresentado no gráfico da **figura 7**. A queda de velocidade em grandes distâncias deve-se à necessidade de considerar os atrasos na transmissão causados pela indutância e capacitância do cabo. Estes limites são os mínimos recomendados pela norma, no entanto existem redes que excedem ligeiramente estes valores usando transceptores com características elétricas ligeiramente alteradas. A rede Profibus, por exemplo, pode atingir 12 Mb/s a 100 m e algumas redes podem alcançar distâncias maiores que 1200 m. É possível também utilizar repetidores para aumentar a distância máxima.

Outro limite que pode ser ultrapassado é o número de dispositivos por segmento de rede. A norma define um valor de impedância de entrada para os dispositivos correspondentes a uma Unidade de Carga (UL) e estabelece que um dispositivo receptor ou transceptor não pode exceder 1 UL. Também determina que um transmissor deve ser capaz de alimentar uma rede carregada com até 32 ULs mais cabos e terminações. Daí, é natural concluir que uma rede RS-485 pode possuir no máximo 32 dispositivos.



Todavia, essa conclusão não é correta. Na verdade, a carga máxima deve ser de 32 ULs, mas se um fabricante produz dispositivos com carga de 1/2, 1/4 ou 1/8 de UL, podem ser formadas redes com até 64, 128, ou 256 dispositivos respectivamente. Algumas redes comerciais existentes se baseiam nesse tipo de dispositivos com carga reduzida. Mesmo com dispositivos de 1 UL, é possível empregar repetidores para criar segmentos de rede independentes. Cada segmento pode ter carga de 32 UL. O padrão não impõe limite máximo de número de segmentos ou de dispositivos em uma rede, porém esse número não é ilimitado, pois depende inclusive da taxa de transmissão, da distância máxima da rede e da quantidade de dispositivos endereçáveis. O próprio endereçamento não é estabelecido pelo padrão RS-485, mas sim pelo protocolo usado. Por essa razão, há redes com o número máximo de nós endereçáveis variando de 32 até 512 nós.

Enfim, duas outras características importantes que não são totalmente

definidas na norma são a topologia e as terminações. Pode-se utilizar RS-485 em uma variedade de topologias, como barramento, estrela ou anel. As topologias mais usadas são o barramento ou o *daisy chain*, uma variação do barramento em que o cabo vai de um nó diretamente ao próximo, ao invés de um barramento com derivações (ver **figura 8**). Na topologia em barramento são formados "stubs", trechos de cabo distantes do barramento e que podem adicionar cadeias de propagação de reflexões de sinais, causando erros. A norma define que os *stubs* devem ser mantidos curtos, por esta razão, precisa ser evitada a configuração em estrela que possui muitos *stubs* longos. Pela mesma razão, a melhor topologia é a *daisy chain* em que os *stubs* são praticamente inexistentes. Redes como a Profibus possuem conectores apropriados para a montagem desta topologia. Embora redes em anel como a da figura não sejam recomendáveis, é possível construir anéis compostos por vários segmentos ponto a ponto, ou seja, cada dispositivo se comunica com o anterior por um canal ponto a ponto *full-duplex* e com o próximo por outro canal RS-485 de mesmas características. A rede Interbus se baseia neste princípio. Embora pareça mais complicado, uma vez que cada dispositivo deve possuir dois transceptores, esta configuração permite criar redes de até 12 km, com até 512 dispositivos se comunicando a 500 kbps.

Quanto às terminações, existem várias técnicas. Uma rede curta trabalhando em baixas velocidades pode operar sem terminação. O método mais usual é utilizar dois resistores de terminação com resistência equivalente à impedância do cabo, conectados em paralelo com a rede, um em cada extremidade. A maior parte dos cabos usados em redes RS-485 possui impedância próxima a 100 Ω, mas isso não é uma regra geral e é necessário consultar o fabricante do cabo para dimensionar corretamente as terminações.

Mas agora o leitor deverá estar se perguntando: Se todos os limites são flexíveis, como devo dimensionar minha instalação? Como posso saber

qual a carga de meus dispositivos? Quantos dispositivos posso empregar em cada segmento? Quantos endereços posso ter? Eu preciso utilizar cabos blindados? Que tipo de terminação usar?

Para todas estas perguntas, a resposta é a mesma. Embora o padrão RS-485 tenha muitos pontos em aberto, as redes derivadas desse padrão possuem características muito bem definidas pelo fabricante ou pelo consórcio que regulamenta a implementação. E estas características devem ser obedecidas. Algumas implementações definem as características dos cabos, tais como a quantidade de condutores, blindagem e às vezes até a cor dos condutores e da capa externa. Todas definem inclusive a pinagem dos conectores, a resistência e configuração das terminações, as taxas de transmissão, topologias recomendadas, número máximo de dispositivos endereçáveis, métodos de identificação dos dados, tamanho do pacote de dados, método de controle de acesso ao meio, etc.

Entre as redes industriais de protocolo aberto existentes atualmente, são baseadas na RS-485: Profibus, Interbus e Modbus. Além dessas, dezenas de fabricantes de equipamentos industriais possuem implementações proprietárias baseadas na RS-485. Cada uma delas tem características ligeiramente diferentes, mas podemos ter certeza de que todas partilham muitas características elétricas em comum. Por isso é importante entender o funcionamento deste padrão tão versátil, pois sua instalação será sempre parecida e em alguns casos elas poderão até utilizar equipamentos iguais como, por exemplo, conectores e protetores contra surtos e sobretensões.

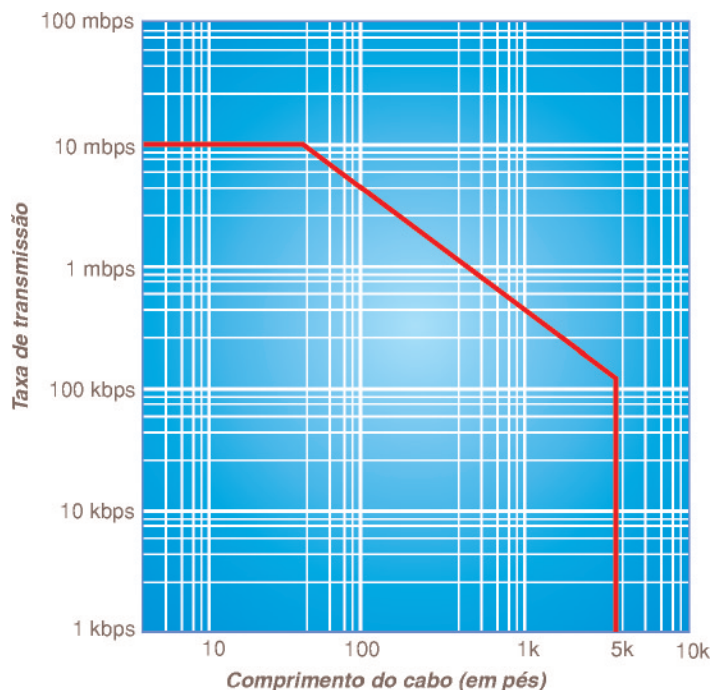
### CONCLUSÃO

A RS-485 isoladamente não é uma rede. Esse padrão é somente um meio físico, compartilhado por dezenas de redes existentes no mercado. Mas é um meio físico muito bem projetado com características que facilitam sua instalação em ambiente industrial, ofe-

recendo uma solução de baixo custo e ainda assim muito resistente a variações de tensão e ruídos. Outros meios físicos existem para estas redes como, por exemplo, fibras ópticas, rádio ou Ethernet. Cada um deles possui vantagens e desvantagens, mas certamente

nenhum é tão flexível, adaptável e barato como a RS-485. Eis aí o o segredo de sua popularidade. ■

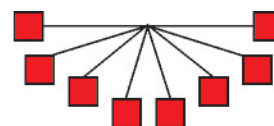
\*Carlos Henrique de Castro Ralize é Técnico em Eletrônica do Departamento de Engenharia de Manutenção da Sabesp.



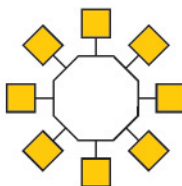
F.7 Relação entre a taxa de transmissão e o comprimento do cabo.



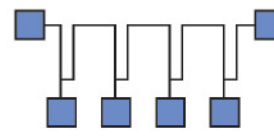
Barramento com "stubs"



Estrela (evitar)



Anel (evitar)



Daisy chain (o melhor)

F.8 Topologias possíveis.

# Medidores de deformação

Wendell de Queiroz Lamas\*

Quando uma força é aplicada a uma estrutura, o comprimento desta muda. A deformação decorrente é, por definição, a razão dessa mudança em relação às suas dimensões originais, sendo o medidor de deformação (*strain gauge*) usado para medi-la.

A **figura 1** apresenta esse comportamento, assim como a relação da deformação  $\varepsilon$  em função da força aplicada como sendo uma variação fracional do comprimento:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Quando o transdutor, conhecido por extensômetro (*strain gage*), é colado à estrutura formando um arranjo conhecido por célula de carga, terá toda distorção sendo transferida para si. As células de carga contêm material condutor e a distorção causada pela aplicação de uma força resulta na mudança de sua resistência elétrica. Ao medir esta variação na resistência elétrica pode-se obter a medida equivalente à deformação causada e, por extensão, a força aplicada. A deformação pode ser positiva (tensão ou expansão) ou negativa (compressão) e é expressa em unidades como “in/in” ou “mm/mm”.

Ao ser aplicada uma força axial, como visto na **figura 1**, um fenômeno conhecido como “Deformação de Poisson” causa a contração da barra em sua circunferência (largura),  $D$ , no sentido transversal ou perpendicular. A magnitude dessa contração transversa é uma propriedade do material indicada por sua “Relação de Poisson” ( $\nu$ ):

$$\nu = -\frac{\varepsilon_T}{\varepsilon}$$

onde,

$\varepsilon_T$  = deformação na direção perpendicular (transversal) à força;

$\varepsilon$  = deformação axial.

Por exemplo, a Relação de Poisson para o aço permeia valores entre 0,25 e 0,3.

## CARACTERÍSTICAS

Existem vários tipos de medidores de deformação (*strain gauges*), conforme a disposição dos extensômetros (*strain gages*) na amostra a ser medida, assim como um grande número de formas e de aplicações de suas medidas, sendo o mais utilizado o medidor de liga metálica.

Esse medidor consiste de um fio muito fino arranjado sobre uma folha metálica, na forma de uma grade. Na **figura 2**, esse arranjo (célula de carga) pode ser observado, bem como suas principais partes componentes.

É importante que se monte corretamente o arranjo para a melhor transferência da tensão mecânica aplicada na amostra e, por conseguinte, maior precisão na medida.

Um parâmetro fundamental da leitura é a sensibilidade à tensão mecânica que está sendo aplicada, que

é quantificada como fator de medida (*Gauge Factor* - GF).

O fator de medida é a razão entre a variação da resistência elétrica e a do comprimento:

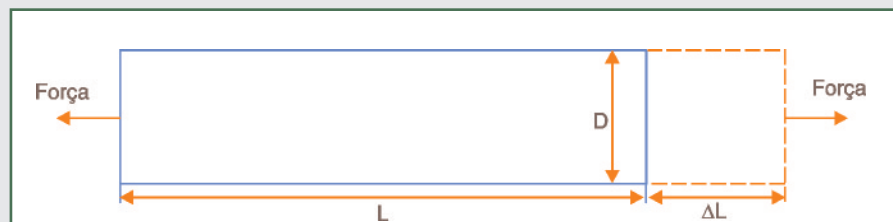
$$GF = \frac{\Delta R / R}{\Delta L / L} = \frac{\Delta R / R}{\varepsilon}$$

O fator de medida para medidores metálicos está tipicamente em torno de 2. Seria ideal que os dispositivos apenas medissem a resistência elétrica em resposta à tensão mecânica aplicada, porém tanto o transdutor quanto a amostra sofrem variações em função da temperatura a que estão expostos. Os fabricantes desses aparelhos processam os materiais de forma a diminuir tal sensibilidade às variações térmicas.

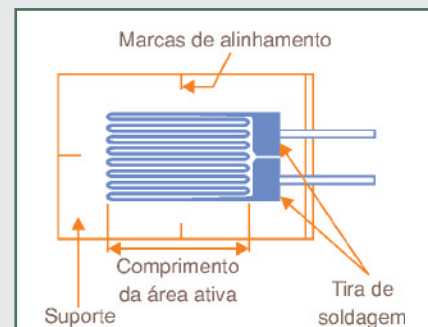
Para a efetiva leitura da força aplicada sobre um transdutor, faz-se uso de um circuito amplamente utilizado em medidas elétricas: a Ponte de Wheatstone, conforme mostra a **figura 3**.

Consiste em excitar-se com uma tensão elétrica (ddp) um arranjo de 4 (quatro) resistores e em um par de pontos específicos do arranjo (diferente dos pontos nos quais a ddp está sendo aplicada ao circuito), mede-se o quanto desse valor foi transferido à saída.

Normalmente, a tensão elétrica na saída é zero (ponte em equilíbrio ou balanceada), assim qualquer mudança

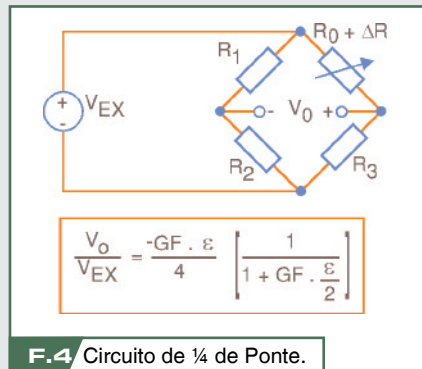
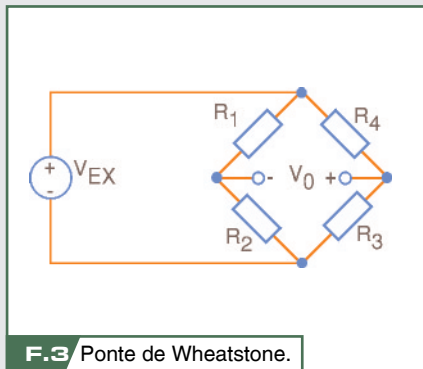


F.1 Deformação de uma estrutura sob ação de uma força.



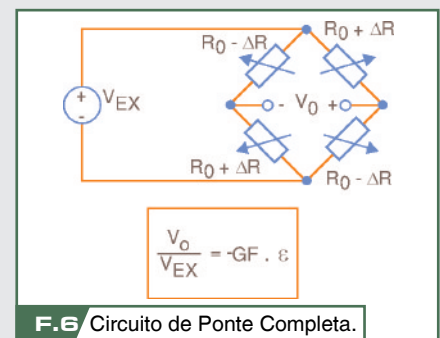
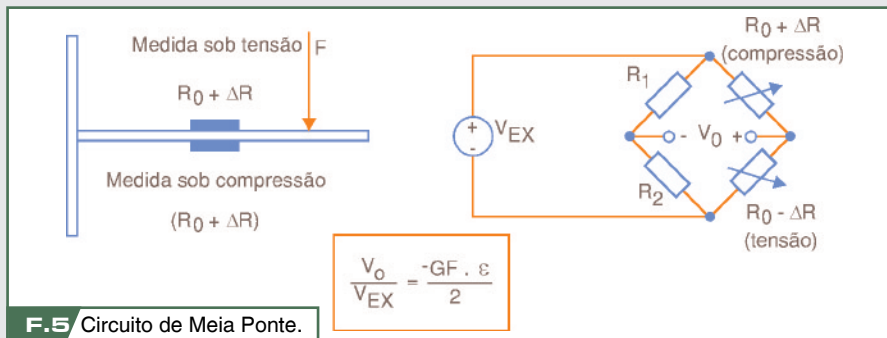
F.2 Célula de carga padrão: extensômetro sobre estrutura metálica.





saída de 0 V até que uma força seja aplicada. Contudo, as tolerâncias dos resistores e a tensão mecânica induzida pela aplicação do transdutor gerarão uma ddp inicial. Essa ddp pode ser corrigida de duas formas: utilizando-se um circuito de ajuste para retornar a saída a zero; ou, pode-se medir a saída sem força aplicada e compensar a diferença por software.

Até aqui, tem sido ignorada a resistência elétrica do fio de ligação



em alguma das resistências elétricas proporciona uma alteração nesse valor, em razão direta a sua própria variação.

Partindo desse princípio de funcionamento, as medições da força aplicada a uma superfície são realizadas substituindo-se um ou mais resistores da Ponte de Wheatstone por transdutores.

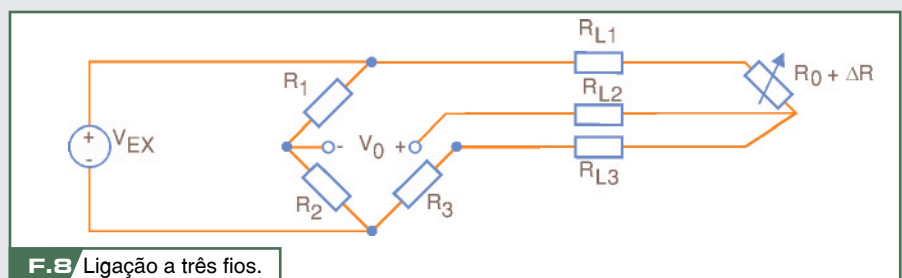
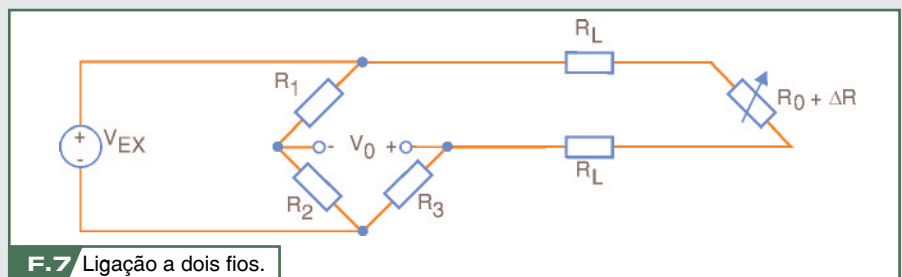
Portanto, os medidores de deformação (*strain gauges*) são formados a partir da colocação de células de carga nos ramos da Ponte de Wheatstone, onde, por sua vez, as células de cargas são arranjos constituídos pelos extensômetros (*strain gages*) colocados sobre estruturas metálicas padronizadas.

Os arranjos normalmente utilizados são os circuitos de 1/4 de ponte, meia ponte e ponte completa, que indicam a quantidade de transdutores utilizada, respectivamente um, dois e quatro.

Como os valores medidos são de magnitudes muito pequenas, quanto maior o número de transdutores utilizados, maiores serão a sensibilidade à tensão mecânica e a precisão da leitura.

Na **figura 4**, apenas um resistor é substituído, o que implica em variações muito pequenas na saída.

Ao substituir dois dos resistores,



conforme visto na **figura 5**, dobra-se a sensibilidade da ponte ao se fazer dois ramos ativos, embora em sentidos diferentes, onde há um ramo montado na expansão da amostra ( $R_G + \Delta R$ ) e outro na compressão ( $R_G - \Delta R$ ).

Por fim, um arranjo com transdutores nos quatro ramos, como visto na **figura 6**, proporciona um aumento de sensibilidade considerável, estando montados dois transdutores na expansão e outros dois na compressão.

As equações correspondentes a cada circuito supõem uma ponte inicialmente equilibrada, o que gera uma

do extensômetro, o que beneficiou o entendimento dos conceitos apresentados. Porém, na prática, essa atitude pode trazer consigo consequências negativas à medição.

A **figura 7** demonstra uma ligação a dois fios do elemento transdutor. Essa ligação acrescenta ao circuito uma resistência de 2 ohms no braço em que o extensômetro está conectado, considerando-se um fio de 15 m de comprimento e 1 ohm de resistência elétrica.

Essa resistência elétrica do fio de ligação deve ser considerada como

um resistor integrante do circuito. Uma característica que não pode ser esquecida é a influência dessa nova resistência elétrica na sensibilidade da leitura. A perda de sensibilidade pode ser quantificada por:

$$1 + \frac{R_L}{R_G}$$

Outro fator bastante significativo é a influência da temperatura. Buscando eliminá-la, a ligação a três fios é a opção mais recomendada, pois dois dos três fios ficam conectados a ramos adjacentes, neutralizando assim os efeitos um do outro, conforme ilustrado na **figura 8**.

Com base nessas considerações, existem vários tipos de medidas de força, conforme seu arranjo na amostra. Nas **figuras 9 a 12** podem ser vistos alguns exemplos bastante utilizados.

Um sistema computadorizado mede a diferença de potencial na saída da ponte de Wheatstone antes que uma tensão mecânica seja aplicada, então a intervalos regulares ou a cada vez que uma determinada condição ocorrer, volta a medir esse sinal.

#### A MELHOR ESCOLHA

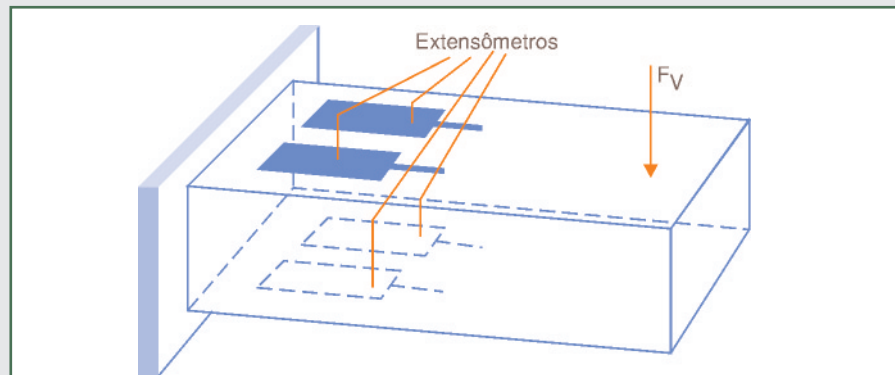
Os dois critérios preliminares para a seleção do tipo de medidor que melhor se adequa à necessidade da aplicação são a sensibilidade e a precisão.

Deve-se destacar que quanto maior a quantidade de extensômetros a ser utilizada, maior será a rapidez da medida realizada e com maior precisão. Certamente, uma ponte completa responderá melhor que uma de  $\frac{1}{4}$ , porém seu custo é significativamente maior.

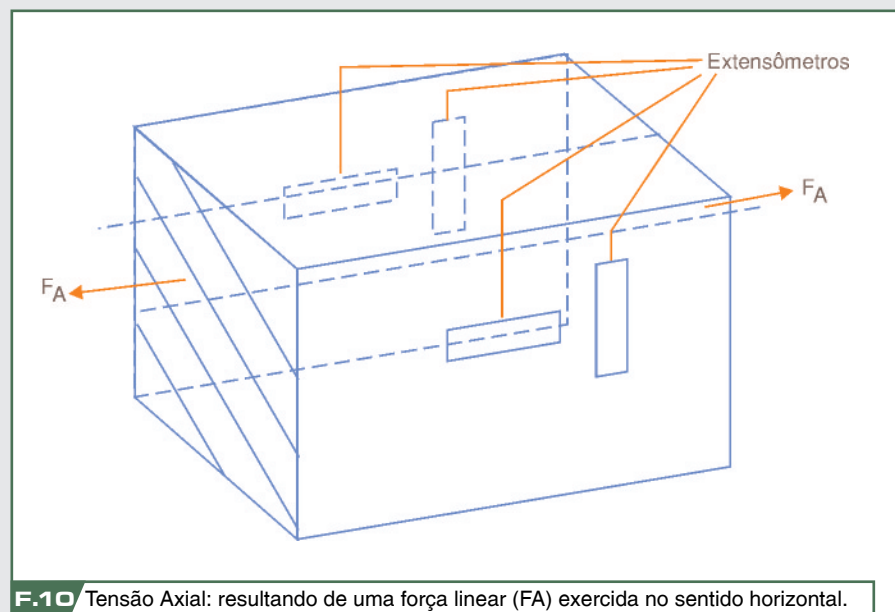
A **tabela 1** apresenta um resumo dos tipos de medidores e suas características gerais. Ao escolher-se a melhor maneira de efetuar uma medida com transdutores de força (*strain gages*), devem-se ter em consideração as características particulares para cada fabricante.

#### APLICAÇÕES

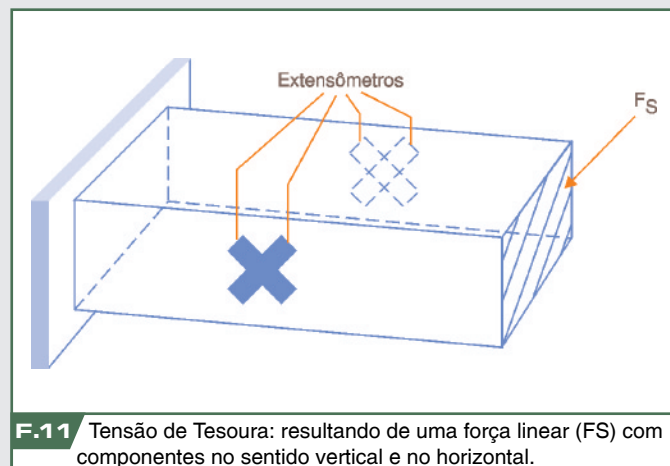
Os extensômetros são de grande



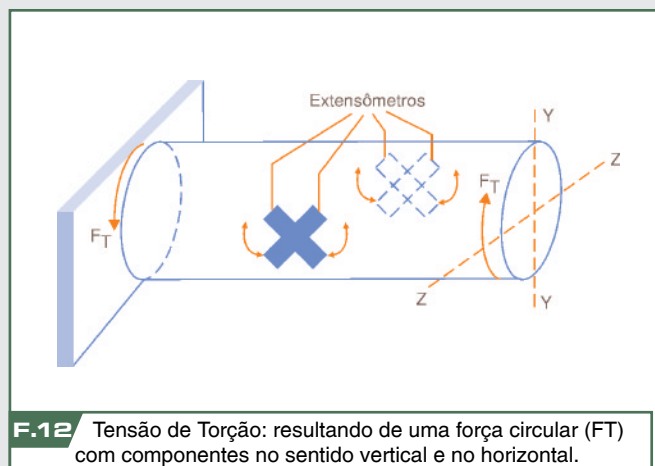
**F.9** Tensão de Dobra: resultando de uma força linear (FV) exercida no sentido vertical.



**F.10** Tensão Axial: resultando de uma força linear (FA) exercida no sentido horizontal.



**F.11** Tensão de Tesoura: resultando de uma força linear (FS) com componentes no sentido vertical e no horizontal.



**F.12** Tensão de Torção: resultando de uma força circular (FT) com componentes no sentido vertical e no horizontal.

utilidade na pesagem de artigos. Por exemplo, na base de silos de grãos, em balanças, na indústria aeroespacial, entre outras.

A **figura 13** apresenta um arranjo interno a uma balança vertical para grandes cargas. As células de carga ficam internas ao cilindro que sofre tensão mecânica decorrente do esforço de tração em cabos de aço de guindastes e de pontes rolantes, proporcionando sua deformação e, por conseguinte, a medida da força realizada.

Na Universidade de Taubaté, no Laboratório de Robótica e Instrumentação, foi construída uma garra para o ROBOTAU, constituída por duas lâminas de alumínio, cada qual

com quatro extensômetros. Seu intuito nessa construção é servir como medida para as deformações da garra, assim compensando seu posicionamento.



**F.13** Célula limitadora de Carga Modelo TC (Alfa Instrumentos Eletrônicos Ltda.).

## CONCLUSÃO

Mesmo passando despercebidos no dia-a-dia das pessoas, os extensômetros e as montagens para medição das forças por eles mensuráveis, ganham sua importância quando há necessidade de medições de grandes massas ou monitoramento de estruturas em construção ou em restauração, face a sua confiabilidade, precisão e sensibilidade.

\*Wendell de Queiróz Lamas é professor da Universidade de Taubaté, especializado em informática industrial, em instrumentação e em análise numérica.

Tipo da força aplicada	Configuração do medidor	Tipo da ponte	Sensibilidade (MV/V @ 1000 uE)	Características
Tensão axial		1/4	0,5	Boa: Fácil de implementar, mas deve utilizar uma célula de carga "espelhada" para compensar as variações de temperatura. Também responde à tensão de dobra.
		1/2	0,65	Melhor: Tem a variação na temperatura compensada, mas é sensível às tensões de dobra.
		1/2	1	Melhor: Rejeita as tensões de dobra, mas não compensa as variações de temperatura. Deve utilizar uma célula de carga "espelhada" para compensar as variações de temperatura.
		Completa	1,3	A melhor: Maior sensibilidade e compensa ambos: temperatura e tensão de dobra.
Tensão de dobra		1/4	0,5	Boa: Fácil de implementar, mas deve utilizar uma célula de carga "espelhada" para compensar as variações de temperatura. Também responde à tensão axial.
		1/2	1	Melhor: Rejeita a tensão axial e compensa as variações de temperatura.
		Completa	2	A melhor: Rejeita a tensão axial e compensa as variações de temperatura. Tem maior sensibilidade à tensão de dobra.
Tensão de torção e de tesoura		1/2	1	Boa: As células de carga podem ser montadas a 45 graus com relação ao eixo. Forças axiais e de dobra produzem tensão e são conseqüentemente rejeitadas.
		Completa	2	A melhor: É mais sensível que a formação exterior. Rejeita ambas as forças: axial e de dobra.

# Como aplicar inversores de frequência

Alaor Mousa Saccomano \*

Neste artigo, trataremos alguns aspectos importantes a serem considerados na utilização de inversores de frequência: aplicação de sistemas escalares e vetoriais, características gerais encontradas em vários inversores comercializados e parâmetros que devem ser considerados no efetivo emprego de inversores, além de uma rápida abordagem quanto a erros e defeitos.

**P**ara alcançar o efeito desejado e otimizar os investimentos, é sumariamente importante responder a algumas questões e, até mesmo, se aprofundar em um estudo de custo/benefício antes de instalar um inversor de frequência sobre um motor ou sistema. Em muitos casos, verifica-se que a adoção de medidas mais simples podem resultar em efeito similar à aplicação de um inversor em motor de indução assíncrono trifásico. Em algumas situações, é mais interessante a utilização de servomotor *brushless* quando o principal objetivo é posicionamento. Se o problema é com sistema de partida de longa inércia, a aplicação de *soft-starter* (partida eletrônica suave) pode ser uma solução melhor e mais econômica.

No controle de velocidade e torque para se estabelecer um melhor resultado sobre o sistema, seja no controle de velocidade de uma máquina-ferramenta, na variação de velocidade em sistemas de alimentação e dosagem, no controle de vazão ou fluxo de um processo, no controle de elevação em pontes rolantes, *cranes*, entre outros, a utilização de um inversor é fundamental.

Outra necessidade de aplicação se encontra no controle de velocidade de processos para economia de energia. Um exemplo disso está na utilização de controle do fluxo de ar em um sistema central de ar-condicionado. Em processos que possuem velocidade fixa em seus motores acionadores, e o fluxo é controlado via *dampers*, tem-se considerável perda de energia, pois a regulação do fluxo de ar se dá pelo escape do mesmo no sistema. É mais inteligente e econômico que a veloci-

dade do motor que aciona o ventilador/compressor seja controlada, de modo que, nos momentos de menor utilização de carga, a velocidade seja diminuída e conseqüentemente o fluxo de ar também. Diminuindo-se a velocidade, logicamente haverá uma redução da energia consumida pelo sistema motor-inversor, resultando em economia direta no processo.

Assim, antes de optar pela instalação e escolha de um inversor de frequência, alguns cuidados devem ser tomados quanto a:

- rede de alimentação;
- sistemas de proteção e seccionamento;
- interferência eletromagnética e blindagem;
- cabos e aterramentos;
- local de instalação e grau IP.

Os aspectos de carga x desempenho estabelecerão as informações cruciais para a escolha do tipo de inversor (escalar ou vetorial), e do tipo de controle (com ou sem malha de realimentação) no processo.

Além disso, quesitos como a interação do sistema inversor com o restante do processo ou máquina, isto é, como o equipamento se comunica com os demais equipamentos presentes ou como as informações do inversor são repassadas ao operador/supervisor, as interfaces IHMs necessárias, o grau de compactação do equipamento e o sistema de frenagem (quando necessário) também devem ser especificados pelo engenheiro ou técnico que deseja efetuar uma correta e eficiente aplicação de inversor no controle de motor de indução. Um ponto pouco discutido, principalmente por ser encarado

apenas como aspecto comercial, mas que gera dor de cabeça aos técnicos envolvidos, é a assistência técnica do equipamento. Certificar-se que a mesma possui competência e eficiência (atendimento rápido e confiável) é tão importante quanto o tipo de inversor que será aplicado.

Outras opções valiosas a se considerar na instalação se dão quanto à qualidade de energia das mesmas, se já existem problemas como fator de potência e fator de distorção, ou ainda se há bancos de capacitores para correção de fator de potência já instalados. Neste caso, cuidados especiais devem ser tomados, pois os inversores são cargas não-lineares, que normalmente resultam em piora para a atuação de capacitores de correção. E não esqueçamos do que é básico:

- tensão da rede;
- frequência da rede;
- local de instalação;
- sistemas de proteção específicos (fusível ultra-rápido e sensores);
- compatibilidade com o motor a ser acionado (potência, tensão de alimentação, frequência nominal).

## ENTENDENDO MELHOR A APLICAÇÃO - DETALHANDO O INVERSOR.

A primeira abordagem para a aplicação de um inversor de frequência não está no próprio equipamento ou no motor, mas sim na carga. (**figura 1**)

As considerações devem ser feitas a partir das necessidades e características próprias da carga. A velocidade da carga, seu torque, como se processa a aceleração da mesma, ciclo de trabalho, potência requerida, curva de torque x velocidade, rendimento e momento de inércia, são algumas das informações que devem ser respondidas pelo engenheiro ou técnico que irá especificar o equipamento de controle de velocidade-torque. Muita informação já deve estar disponível pelo próprio motor elétrico que já está instalado sobre a carga, se o processo for um retrofitting. Mas,



se iniciar do zero, o projeto deverá responder as solicitações já colocadas anteriormente, além de um bom conhecimento do processo que será “tocado” pelo conjunto motor-inversor, o que sem dúvida ajuda muito.

Os fabricantes de motores normalmente têm tabelados os tipos de cargas em função de velocidade x torque de aplicações mais comuns. Destacam-se:

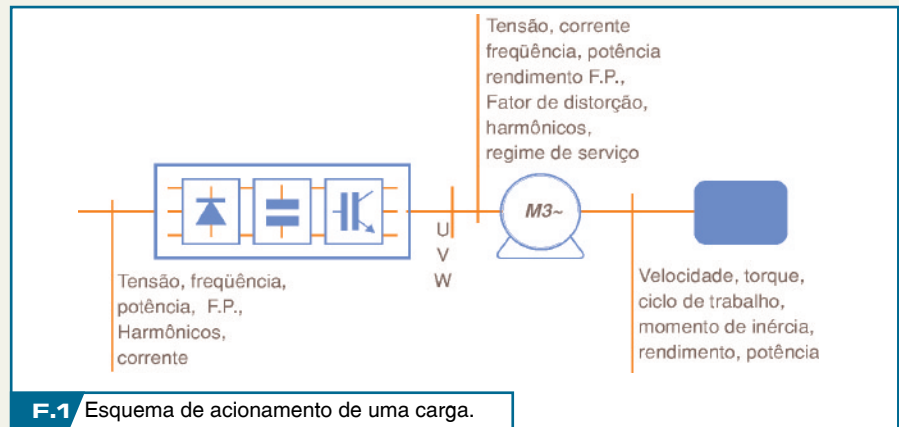
**Função constante** - A velocidade aumenta, mas o torque continua em seu valor inicial. Assim, não são esperados nesse tipo de aplicação sobresaltos de potência no motor ou inversor, ou mesmo sobretorques de partida.

**Função linear** - Neste caso, o torque é aumentado ponto-a-ponto, linearmente, até a velocidade nominal.

**Função quadrática** - As cargas tipificadas como função quadrática ou parabólica têm o aspecto de incremento rápido do torque com o aumento de velocidade. Normalmente, o torque de partida é baixo, mas se eleva rapidamente. Ventiladores e bombas, são alguns dos exemplos neste sistema de acionamento.

**Função hiperbólica** - Quando a carga, aumentando sua velocidade, tem diminuição de torque, mas necessidade de manter constante sua velocidade, como em um torno que vai desbastando a superfície do material, diminuindo seu raio. Como o torque é função direta do raio de ação da ferramenta, haverá a diminuição do torque da carga imposta ao motor, o que pode ocasionar variação de velocidade, o que é realmente indesejado.

No Brasil há diversos produtores que atuam no mercado e fornecem suporte para aplicação. Em seus *sites*, encontram-se muitas informações específicas que auxiliam a caracterização da carga. Um outro modo, quando a carga é de difícil caracterização, é tentar inferir o valor de torque e velocidade. Isto só é possível em cargas já instaladas, onde se deseja a aplicação de um inversor de frequência. É trabalhoso mas, em último caso, se torna uma solução viável. Deve-se proceder medindo a velocidade do sistema em seus diversos ciclos de trabalho e a corrente de consumo com um osciloscópio (via ponta de corrente ou *shunt*). Lembrando que o torque é função



direta da corrente, é possível obter uma amostra razoável do tipo de função torque-velocidade que o processo exige.

Quanto ao emprego de motores, a norma brasileira NBR 7094 explica muito sobre ciclos de trabalhos, cargas e partidas e outras informações relevantes que sempre municiam o projetista para uma perfeita aplicação.

Para caracterizar o universo da aplicação também é importante conhecer o ambiente para a instalação (Qual é a situação da rede de alimentação? Qual o local onde vai ser instalado? Será em um painel? Qual o grau de proteção IP necessário? Há algum banco de capacitores instalados na mesma rede?) e as necessidades de interfaceamento com a operação/supervisão (IHM, rede de supervisão, supervisor, qual é o controlador que atua sobre o inversor - CLP ou CNC?).

Algumas dicas já podem ser dadas como, por exemplo, a aplicação de inversores em sistemas de elevação. É interessante notar que, eventualmente, uma ponte rolante ou guindaste pode ser sobre-solicitado em termos de resposta de carga. O motor sempre responderá aos limites de sobretorque imposto, em muitos casos em até quase 100%. Assim, o inversor de frequência que acionará este tipo de máquina, deve estar preparado para manter o motor nestas situações críticas. Habitualmente, dispomos ao sistema inversor-motor a possibilidade de se trabalhar com valores mínimos de 50% de sobre-torque, o que nos leva a um sobredimensionamento do conjunto motor entre 50% a 150%, em algumas situações, por questões de segurança. A regra é não economizar nesse tipo de aplicação, e portanto: para não parar

o processo em situação crítica, é preciso sobredimensionar o equipamento. Quanto de *retrofitting* de motores para sistemas de elevação antigos, como rotor bobinado (motor de anéis AC-2), impor um inversor que possibilite pelo menos 100% de sobretorque é imprescindível, além de utilizar malhas fechadas neste controle de velocidade.

#### ESCALAR OU VETORIAL

Há alguns anos, o domínio da tecnologia escalar impedia, de certa forma, uma visão mais abrangente dos processos de controle de velocidade-torque em máquinas trifásicas de indução. Fazer um motor AC trifásico variar sua velocidade, conforme a necessidade do processo sem ter de se preocupar com os limites de velocidade de um coletor, nem com desgaste de escovas ou cuidados com o campo de excitação, já era um grande avanço. Quem já trabalhou com máquina de corrente contínua conhece os problemas, como o disparo por falta de campo: perdendo o campo em uma MCC, perde-se a referência de controle e acontece o fenômeno denominado disparo, com perda de torque e aumento impulsivo da velocidade do motor, levando-o em alguns casos à destruição. Daí a necessidade de constante monitoramento sobre a corrente do campo de excitação. Mesmo assim, em sistemas onde o controle de velocidade ocorre em uma faixa entre 10% a 150% da velocidade nominal, aplicar inversor em modo escalar é a solução mais viável quando se considera desempenho e custo.

O controle de velocidade, mantendo o fluxo estatórico (V sobre f ou Volts/Hertz) ou ainda por observação de

escorregamento, tem a vantagem de fácil implementação e de constar na maior parte dos produtos comercializados. Qualquer carga, que possua patamar de controle de torque constante para variação de velocidade, ou mesmo de funções quadráticas, pode ser controlada via um inversor escalar com, por exemplo, ventiladores, calandras, bombas, entre outros tipos de carga. O afinamento deste controle pode ser feito adotando-se a realimentação (*encoder*, *resolver*, tacogerador), que atua na malha de controle de velocidade, resultando em melhor controle do processo. Na maior parte dos casos, a malha interna ou de controle de corrente (indiretamente do torque), não é aplicada ao produto, mas sim um sistema de limitação de corrente. Isto quer dizer que na maioria das situações, os inversores escalares trabalham com torque absoluto, ou constante em valor quase máximo, permitindo ainda a possibilidade de *boost* de torque em momentos críticos, como na partida. Muitas vezes, estes valores de *boost* de torque são programáveis no inversor, delimitando valores de tempo que podem chegar a alguns minutos de aplicação de sobre-torque, com valores em torno de 2 a 3 vezes o nominal.

Outro exemplo de aplicação de controle escalar se dá quando um mesmo inversor atuará sobre vários motores.

Resumindo, se a sua aplicação não necessita de variação rápida de aceleração (resposta dinâmica em até 5 ms), variação de velocidade em função da variação de carga, controle de torque com precisão de até 10% e nunca tenha a necessidade de torque em velocidade zero, associado a vantagem de baixo custo e robustez do equipamento, então o problema se resolve com um inversor escalar. A melhora do desempenho será sentida na utilização de malha de realimentação de velocidade. A possibilidade escalar *sensorless* neste caso deve ser pouco explorada, devido ao pobre desempenho da maior parte dos inversores na situação de carga e variação da mesma.

Um inversor vetorial com atuação *sensorless* é uma solução abrangente para o controle de velocidade e torque de máquinas na maioria das vezes, senão todos os envolvidos pela atuação de um inversor escalar. Resposta dinâmica rápida e precisão de veloci-

dade de até 0,5%, fazem dos equipamentos dotados dessa tecnologia muito mais atraentes em suas aplicações. Na realidade, a única distinção entre um vetorial *sensorless* e um com *encoder* (ou outro tipo de realimentação posicional), está na malha fechada do sistema e na parametrização do inversor para a utilização da mesma. Em muitos casos, principalmente em *retrofitagem* de máquina, não é muito fácil adequar um sensor de velocidade no eixo do motor ou outro por ele acionado. Em outros, o custo de cabos e sistemas gerais para realizar a realimentação podem inviabilizar o projeto. Na maior parte dos inversores hoje existentes no mercado, através da *setagem* de simples parâmetros, consegue-se um elemento escalar ou vetorial, com ou sem realimentação. Por exemplo, um inversor modelo CFW09 da WEG (*figura 2*), pode ser ajustado para trabalhar com o tipo de controle desejado, definido por um parâmetro (P202):

- 0 V/f (60 Hz)
- 1 V/f (50 Hz)
- 2 V/f Ajustável
- 3 Vetorial *Sensorless*
- 4 Vetorial com *Encoder*.

No caso de um G5 da Yaskawa (*figura 3*), a escolha é realizada através do parâmetro A1-02:

- 0 V/f *sensorless*
- 1 V/f com realimentação
- 2 Vetorial *sensorless*
- 3 Vetorial de fluxo.

Para parametrização de um inversor, sempre é imprescindível conhecer a aplicação. Mais um exemplo: acionar uma centrífuga, de alta inércia, o que em muitas situações deve-se utilizar um *boost* de torque na partida. Se for empregado um equipamento Siemens, modelo Micromaster, o parâmetro P079 - "Elevação da corrente de partida (%)" - permite que seja ajustado um *boost* de tensão (elevação) de modo que a corrente de partida pode ser especificada para até 250% da nominal do motor, até que a frequência de trabalho desejada (velocidade de referência) seja alcançada. Os valores a serem especificados podem ser de 0 a 250.

#### AJUSTANDO A OPERAÇÃO

Uma vez definido o universo da aplicação, pode-se escolher o inversor e definir quais serão os parâmetros a

serem "setados" (ajustados) e proceder com a parametrização essencial. Para tanto, uma boa observada no manual do fabricante e informações junto ao pós-venda são um bom caminho a seguir. A maior parte dos inversores possui funções genéricas que analisaremos a seguir. Mas antes, uma questão importante a ser entendida é quanto ao modo como o inversor age no motor que está controlando, no aspecto de alcançar a velocidade desejada, seja no ligamento, mudança de valor desejado de velocidade, frenagem ou solicitação da carga. Na verdade, o que deve ser especificado são as rampas de aceleração e desaceleração (*figura 4*).

Estes valores são, na realidade, parâmetros a serem definidos no inversor. O que se faz é atuar sobre os ganhos dos controladores de malha de velocidade (PI ou PID, ou mesmo um outro controlador mais ativo). Observe o detalhe em diagrama de blocos no artigo "Controle de velocidade e torque de motores trifásicos" publicado na revista Mecatrônica Atual nº 8 (fevereiro/março de 2003). A definição da rampa deve ser pautada quanto à necessidade da carga e disponibilidade de desempenho do motor. Assim um valor de rampa muito rápido, pode levar a carga a ter sobressaltos, o que em alguns casos não é aconselhável (esteiras transportadoras e elevadores). Rampas mais longas servem muito bem para acelerar grandes inércias, como centrífugas e moinhos. Rampas rápidas podem sobreaquecer o motor, principalmente na desaceleração. Ainda sobre a rampa, os momentos críticos se encontram nas bordas, no início e fim da rampa, onde ocorre uma abrupta descontinuidade da aceleração, podendo gerar sobressaltos de velocidade e torque. Em muitos



**F.2** Inversor modelo CFW09, da WEG.

Problema	Ação	Causas prováveis
Sobrecorrente na saída	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificar fases de alimentação</li> <li>- Aumentar o tempo de rampa</li> <li>- Rever a carga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Curto entre duas fases</li> <li>- Rampa de aceleração muito rápida</li> <li>- Inércia da carga muito alta.</li> </ul>
Sobretensão do <i>link</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificar a tensão, a mesma deve ser no máximo 15% acima da nominal</li> <li>- Aumentar o tempo de desaceleração</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta tensão de alimentação; alta inércia de carga</li> <li>- Rampa de desaceleração muito rápida</li> </ul>
Subtensão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificar fusível do <i>link</i></li> <li>- Medir tensão da rede, não deve ser menor que 25% da nominal</li> <li>- Aumentar o tempo de desaceleração</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fusível do link aberto ou contator/tiristor de disparo do link não entrou</li> <li>- Baixa tensão da rede</li> <li>- Rampa de desaceleração muito rápida</li> </ul>
Falta de fase ou subtensão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medir alimentação e verificar fusíveis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixo valor de tensão ou falta fase</li> </ul>
Sobret temperatura nos dissipadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificar ventilador</li> <li>- Liberar passagens de ar</li> <li>- Limpar filtros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ventilação forçada com defeito</li> </ul>
Erro de memória/ <i>watchdog</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificar aterramento</li> <li>- Sensoreamento da tensão do <i>link</i> DC com defeito</li> <li>- Verificar a versão da EPROM quando utilizá-la para reprogramar outro inversor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ruído elétrico</li> <li>- Erro de memória</li> <li>- Conflito de versão</li> </ul>
Curto terra fase de saída	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inserir reatância na entrada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacitância entre cabos muito alta</li> </ul>
Sobret temperatura no motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificar temperatura do motor</li> <li>- Verificar rolamentos do motor</li> <li>- Verificar carga</li> <li>- Testar sensor PTC ou termistor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Excesso de carga ou rotor travado</li> <li>- Baixa isolamento</li> </ul>
Capacitância para terra muito alto, falta a terra	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalar reatância trifásica em série na entrada</li> <li>- Diminuir parâmetro de frequência de chaveamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cabos longos &gt;50m</li> <li>- Frequência de chaveamento alta</li> </ul>
Motor não gira	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalar filtros de RFI próximos do Inversor, um para cada fase, próximos um do outro e aterrar na chapa de fixação juntos</li> <li>- Afastar os cabos de alimentação do inversor em relação a outros circuitos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erro de fiação de controle/referência ou de potência</li> </ul>
Flutuação de velocidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aperto de todas as conexões</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mau contato nos cabos de potência ou referência</li> </ul>
Velocidade incompatível com a programada ou muito baixa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificar polaridades da malha de realimentação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Descontrole de velocidade</li> </ul>
Interferência EMI	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalar filtros de RFI próximos do Inversor, um para cada fase, próximos um do outro e aterrar na chapa de fixação juntos</li> <li>- Afastar os cabos de alimentação do inversor em relação a outros circuitos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ruídos em sistemas próximos</li> <li>- <i>Resetagem</i> de micros e PLCs</li> </ul>
Aumento desproporcional do conjunto de harmônicas e baixo FP	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inserção de indutância no <i>link</i> DC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cabo aquecendo, ruídos em equipamentos</li> </ul>

da rampa como uma função limite - rampa S ou integração temporal do início/ fim de rampa. Das funções genéricas, podemos destacar:

**Partida com o motor girando ou fly start** - possibilidade de permitir que o inversor energize o motor em movimento. Se esta função não for bem ajustada/empregada, ocorrerá sobre-tensão no circuito intermediário (*link DC*). Valores de rampa de aceleração para esta função normalmente são diferentes dos valores *pré-setados* para uma aceleração normal.

**Jog** - esta função normalmente está associada a uma entrada digital, que é programada para receber sinal *source* (positivo) ou *sink* (negativo). Quando atuada, mantém o motor com velocidade constante, definido nos parâmetros de frequência de Jog ou similar. É utilizada para ajuste de posição de máquinas.

**Rejeição de frequências ou exclusão de frequência de ressonância** - na variação de velocidade, o conjunto vibra, além de que, nos momentos de aceleração e desaceleração, passa por toda a gama de frequências até o valor de velocidade desejado. Poderá acontecer, que dada frequência, tenha batimento com a frequência complexa própria do sistema; isto fará com que a mesma se amplifique, aumentando excessivamente o ruído e vibração do conjunto. Essa função exclui a viabilidade de utilizar esta frequência na variação de velocidade do motor

**Frequência de PWM ou frequência de pulsação** - as chaves de potência do inversor (IGBTs Power Mosfets, Transistores de Potência ou MCTs) são chaveados segundo a frequência de PWM definida na parametrização do motor. Valores baixos de chaveamento (1,6 a 4 kHz) têm a vantagem de limitar as perdas de chaveamento (tempo de subida e descida no acionamento das chaves de potência) e diminuir a interferência de alta frequência. A contrapartida é que o ruído acústico no motor é muito desagradável. Se elevarmos a frequência de chaveamento para níveis maiores (10kHz...20kHz), o ruído estará na faixa inaudível, porém aumenta-se consideravelmente as perdas de chaveamento e interferência de RFI.

**Multivelocidade** - esta função é uma combinação das entradas digitais (que são acessórios) do inversor,

onde uma vez setadas, impõe velocidade e sentido definido ao inversor.

**Proteção contra sobre temperatura ou P<sub>t</sub>** - esta função realiza o constante monitoramento da temperatura dos elementos chaveadores, ou também via sensor PTC ou termistor dentro do motor, supervisionando a temperatura do motor, que é a grande responsável pela maior parte das falhas.

**Self-tuning ou auto-ajuste** - os sistemas que utilizam Controle Vetorial necessitam, também de levantamentos de valores de indutância de dispersão ( $\sigma L_s$ ), corrente de magnetização ( $I_\mu$ ) constante rotórica ( $L_R/R_R$ ), resistência do estator ( $R_s$ ), constante de torque ( $T_M$ ) e indutância estatórica ( $L_s$ ). Estes valores nem sempre são fáceis de serem encontrados pelo projetista. No auto-ajuste, o próprio inversor se encarrega via algoritmos de estimação e identificação, do levantamento destes dados junto o motor.

## E A INSTALAÇÃO?

Até aqui, não falamos quase nada sobre procedimentos e dicas de instalação de inversores. Na realidade, esse assunto merece por si só um artigo que faremos futuramente.

## RESOLVENDO PEQUENOS PROBLEMAS E DEFEITOS

Muitos dos erros e defeitos podem ser pequenos problemas como mau dimensionamento de protetores (utilizar sempre um fusível ultra-rápido - categoria aR - para proteger o inversor), ou falta de reatâncias de rede, ou mesmo problemas de EMI e fuga a terra. Antes de contatar a assistência técnica, que pode demorar, pode-se tentar algumas soluções rápidas.

**ATENÇÃO:** conheça bem os limites impostos por sua garantia, para não mexer onde não deve e, em consequência disso, vir a perdê-la.



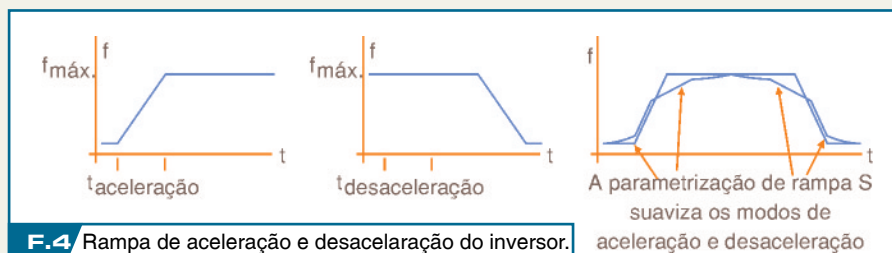
F.3 Inversor modelo G5, da Yaskawa.

Elaboramos uma pequena e simples tabela para um apoio inicial a manutenção. São dados genéricos, pois cada fabricante tem seu próprio sistema construtivo, arranjo de projeto e códigos de falhas. O fundamental é se ter noção de onde pode ocorrer o erro: (**tabela 1: Erros e defeitos**).

## CONCLUSÃO

Os aspectos de definição e aplicação de inversores de frequência para acionamento de motores de indução assíncronos trifásicos (MI), são consideravelmente extensos e detalhados. A experiência nos mostra que nunca um caso é igual a outro. O objetivo deste artigo é chamar a atenção do leitor de Mecatrônica Atual para alguns dos muitos detalhes interessantes quanto a aplicação de inversores. Não abordamos ainda os acessórios do sistema, como IHM, rede de comunicação, entradas e saídas digitais/analógicas, etc. Para um futuro próximo, artigos que abordem os procedimentos de manutenção, estudos de casos de aplicação e resolução de defeitos em campo e em bancada serão produzidos. Para questões mais urgentes, mande-nos um e-mail para a Seção do Leitor. ■

\*Alaor Mousa Saccamano é professor do departamento de Engenharia da UNIP (Campus Alpha-ville) e diretor da MAC TREIN Consultoria e Treinamento S/C



F.4 Rampa de aceleração e desaceleração do inversor.