

**COMUNICAÇÕES COM SUBESTAÇÕES:  
QUANDO SE DEVE USAR EIA-232, EIA-485 E FIBRA ÓTICA?**

por

Karl Zimmerman

Edmund O. Schweitzer III

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES, INC.

## **COMUNICAÇÕES COM SUBESTAÇÕES: QUANDO SE DEVE USAR EIA-232, EIA-485 E FIBRA ÓTICA?**

### **Resumo**

Este artigo compara as comunicações usando EIA-232, EIA-485 e fibra ótica em termos de velocidade, segurança patrimonial e ocupacional, configurações de rede, análise de falhas e economia. Inicialmente, o trabalho identifica as características da comunicação como canais físicos. Em seguida, discute modos de melhor usar esses canais, incluindo as topologias estrela e de barramento, e as velocidades de transmissão de dados envolvidas em cada um.

O resultado é uma tabela comparativa e uma discussão que esclarecem as compensações, vantagens e desvantagens, desempenho e custos de cada opção.

Os engenheiros de proteção são obrigados a tomar decisões a respeito das melhores maneiras de comunicar com os dispositivos de proteção. Este trabalho fornece a história e os dados necessários para se tomar decisões embasadas, incluindo quando estas ferramentas de comunicação são apropriadas e quando ferramentas de desempenho ainda mais alto podem ser necessárias.

### **Introdução**

Os padrões da indústria EIA-232 e EIA-485 descrevem o hardware de comunicações mais comum utilizado nos relés digitais no campo. O hardware tem toda probabilidade de aparecer nos lançamentos futuros, mesmo em produtos com comunicações mais avançadas. Além disso, novos avanços tornam a fibra ótica uma alternativa prática, econômica e segura em relação ao cabo de comunicações metálico.

Quais são os objetivos da comunicação com relés e outros dispositivos?

1. Utilização dos dados do relés para proteção e controle
2. Não colocar a proteção em risco
3. Tornar o sistema de potência mais seguro, mais confiável e mais econômico.

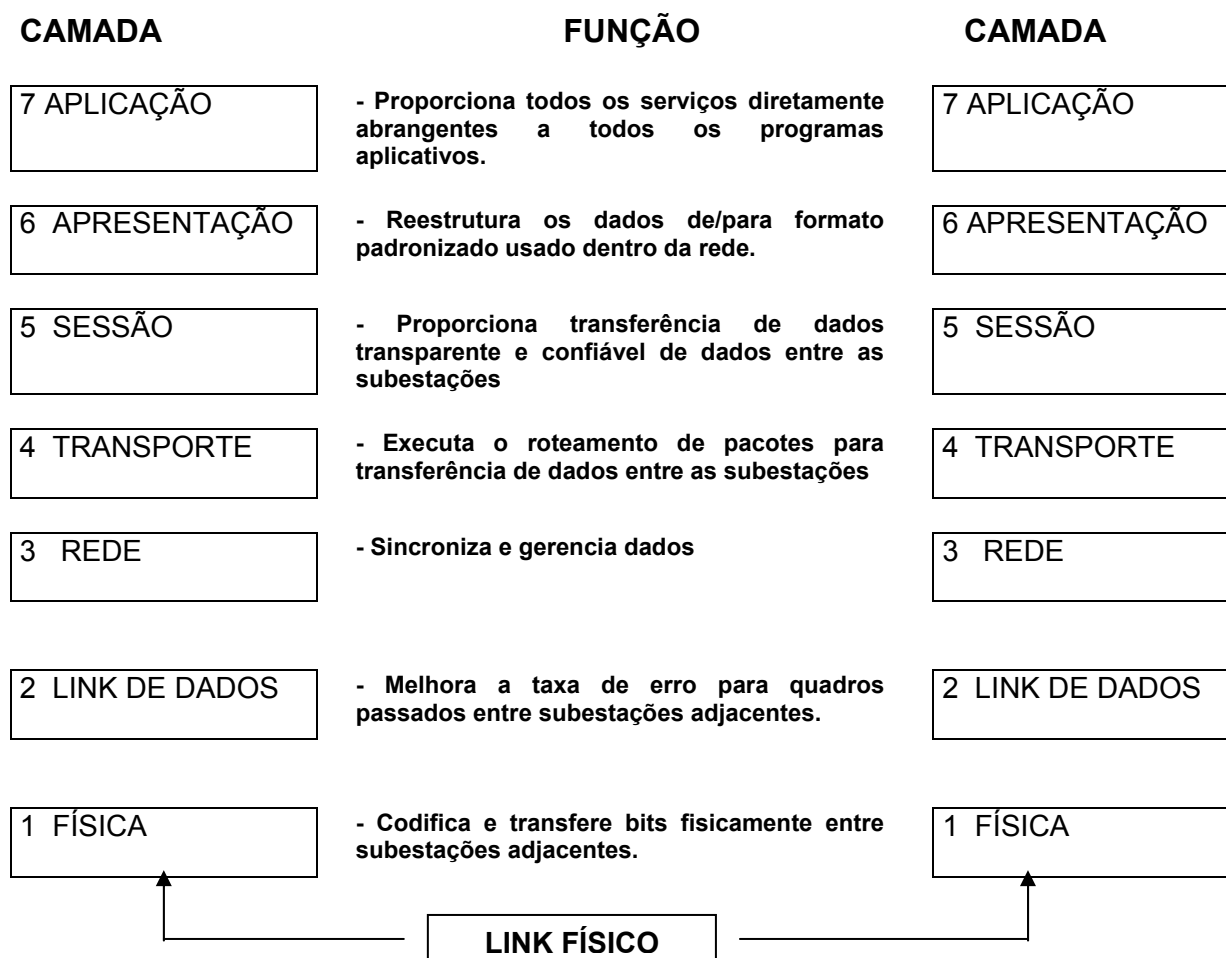
Aqui estão alguns exemplos específicos:

- Fazer varredura e atualização de dados de medição, demanda e sinalização a cada segundo
- Executar funções de controle de disjuntor (desligar/ligar) em menos de um segundo
- Arquivar relatórios de eventos dos relés para recuperação posterior
- Efetuar sincronismo de tempo de dispositivos múltiplos através da mesma conexão física
- Acessar múltiplos dispositivos através de um canal de comunicação
- Enviar funções de controle ou desligamento de um relé para outro em menos de meio ciclo.

Como podemos conectar os dispositivos para executar essas funções? Neste trabalho, desejamos discutir as aplicações das comunicações com EIA-232, EIA-485 e fibra ótica a velocidades abaixo de 40 kbits/segundo.

### Modelo de Sete Camadas

O modelo de interconexão de sistemas abertos (OSI), de sete camadas, produzido pela International Standards Organization é mostrado na Figura 1.



**Figura 1 – Modelo de Interconexão de Sistemas Abertos**

Aqui estão alguns protocolos de camada física comuns e suas características gerais:

#### EIA-232

- Aplicações ponto a ponto
- Distância limitada
- Baixa velocidade (<20 kbits/s)

#### EIA-485

- Aplicações *Multidrop* (multiponto)
- Boa distância
- Velocidades baixa e intermediária (até 10 Mbit/s)

IEEE 802.3: “Carrier-Sense Multi-Access with Collision Detection” (Ethernet) (protocolo de rede de comunicação que impede duas fontes de transmitirem ao mesmo tempo, aguardando um momento de silêncio e então tentando transmitir novamente).

Destinada como rede de área local (LAN)  
Alta velocidade (até 100 Mbit/s)  
Muitas opções de meios físicos

IEEE 802.5 “Token Ring” (rede na qual um dispositivo pode transmitir dados tomando uma ficha (*token*) livre que circula pela rede em anel e incluindo a mensagem depois dela.

Configuração LAN alternada  
Proporciona comunicações determinísticas

As camadas físicas EIA-232- e EIA-485 suportam muitas camadas de aplicação, incluindo aqueles listadas abaixo:

**Tabela 1: Alguns protocolos que podem usar EIA-232 ou EIA-485**

Comandos e respostas ASCII	Inclui comandos e respostas “orientadas para humano” usadas pelos relés de muitos fabricantes e outros Dispositivos, como “METER” “SET” ou “STATUS”
Comandos e respostas binários	Um programa de software separado necessário para comunicar com relés ou um formato de dados para interfacear com outros dispositivos
Modbus	Protocolo mestre-escravo de baixa velocidade, suportado pela maior dos integradores de sistema, PLC’s e outros dispositivos.
IEC 870-5	Protocolo mestre-escravo de baixa velocidade, usado inicialmente na Europa
DNP 3.0	Baseado na IEC 870-5, permite comunicações <i>peer-to-peer</i> , reporte por exceção para melhor rendimento. DNP 3.0 é uma prática recomendada pelo Comitê de Subestações do IEEE.
SYMAX	Protocolo Square D PLC, link de dados mestre-escravo
HDLC (Controle de Link de Dados de Alto Nível)	Protocolo de camada de link de dados usado com conexões ponto a ponto. Ele maneja algumas das funções básicas de verificação de erros e repetição de tentativas.
Via de Dados	Protocolo Allen Bradley baseado em PLC, topologia de barramento mestre-escravo.

## Comunicações em Alta Velocidade

Determinadas aplicações de proteção e controle requerem velocidades mais altas, porém são encontradas somente com maior custo e complexidade. Por exemplo, se nós desejamos movimentar grandes blocos de dados em tempo reduzido, como registros RDP ou longos relatórios de eventos provenientes dos relés de proteção, podemos querer velocidades muito acima de 40 kbit/s.

Consideremos uma aplicação de falha de disjuntor. Um desligamento de um, entre diversos dispositivos, aciona um temporizador. Se o disjuntor não interrompe a corrente de falta antes do temporizador expirar, temos de desligar todos os disjuntores adjacentes ao disjuntor com a falha. Agora, considere esta proteção usando comunicações ao invés de fiação de controle e relés de bloqueio. Todos os sinais de desligamento de disjuntor serão transmitidos através do trajeto de comunicações. Cada dispositivo conectado precisa responder no prazo de alguns milissegundos. Isso pode exigir velocidades mais altas e sistemas que acomodem comunicações *peer-to-peer*.

No entanto, diversos obstáculos são encontrados no caminho dos sistemas de comunicações em alta velocidade. Pode uma única falha do sistema de comunicações impedir a correta proteção do sistema de potência? Qual tipo de redundância temos de implementar? Em quanto irá a comunicação avançada aumentar o custo de cada dispositivo? Embora os sistemas de comunicações em alta velocidade sejam promissores, os engenheiros devem levar em conta todos os fatores.

Algumas vezes, um canal de 10 a 20 kbits/segundo é suficientemente rápido para proteção de alta velocidade. Considere que um canal de 9600 bits/segundo transmita dados a:

$$\frac{9600 \text{ bits/s}}{60 \text{ ciclos/s}} = 160 \text{ bits/ciclo}$$

Suponha que uma mensagem usada para transmitir um sinal de transferência de disparo para um relé remoto em um esquema de desligamento piloto tenha 2 bytes (16 bits) de extensão. A 160 bits/segundo, ela teoricamente leva apenas 1/10 de um ciclo (16/160) para transmitir essa mensagem de ponto a ponto.

Behrendt (6) mostra uma aplicação prática do uso de EIA-232 para comunicar sinais de um relé a outro durante a metade de um ciclo.

## Topologia Estrela vs. Barramento

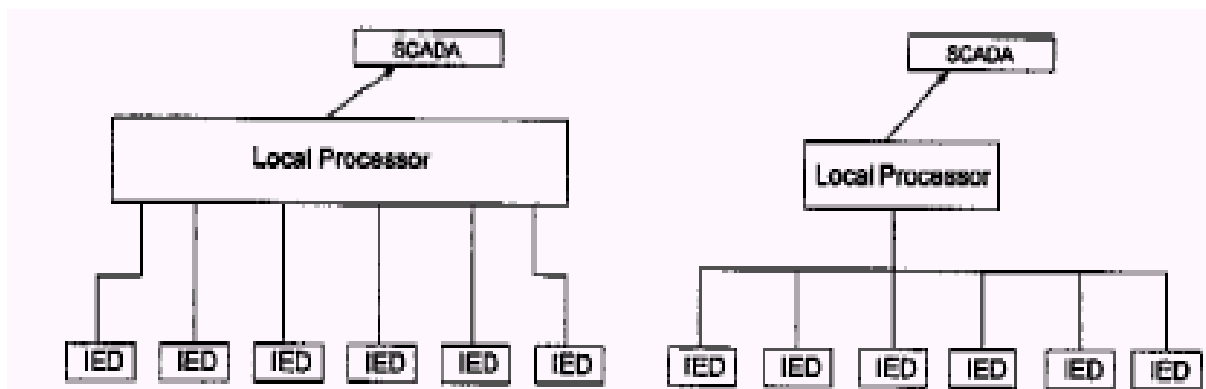


FIGURA 2: TOPOLOGIA ESTRELA

FIGURA 3: TOPOLOGIA DE BARRAMENTO

### Topologias em Estrela

A topologia estrela é extremamente comum nas atuais comunicações das subestações. O SCADA mestre é o núcleo que comunica com as RTU's nas radiais. Os sistemas telefônicos também aplicam largamente as topologias em estrela no nível de comutação local antes de se ramificar para as redes em um nível de sistema.

Do ponto de vista da instalação, as topologias em estrela são simples. Todas as comunicações são como caminhos que passam por todos os postos, de volta para o processador.

Na prática, EIA-232 é mais freqüentemente empregado nas topologias em estrela com um processador "mestre" de comunicações, ou PLC, para controlar e manejar os dados provenientes dos dispositivos "escravos" interconectados. Os dispositivos EIS-485 podem ser empregados nas topologias em estrela, porém mais freqüentemente são usados nas topologias de barramento.

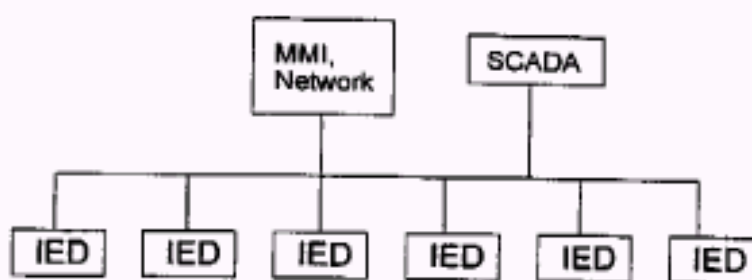


FIGURA 4: TOPOLOGIA DE BARRAMENTO "PEER-TO-PEER"

### Topologias de Barramento

EIA-485 foi projetado para topologias de barramento. Porém, as topologias podem ser do tipo mestre-escravo ou *peer-to-peer*. Em uma rede tipo *peer-to-peer*, qualquer dispositivo pode comunicar com qualquer outro dispositivo. Uma topologia de

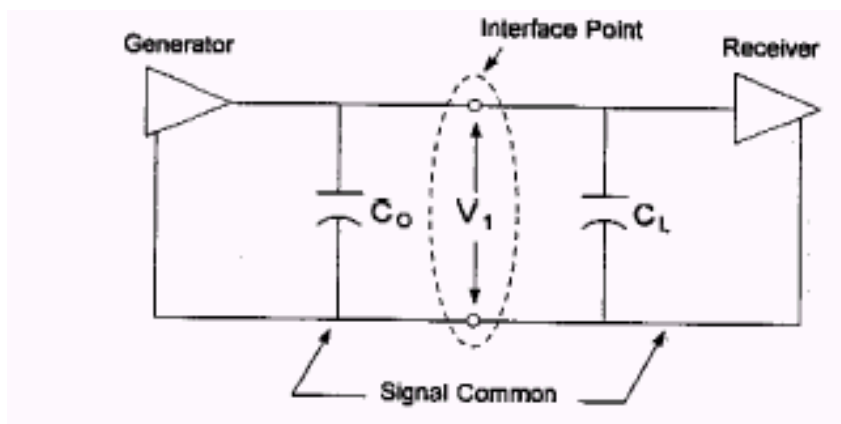
barramento usando EIA-485 pode ser muito mais lenta do que uma topologia em estrela porque a velocidade global do sistema depende do número de dispositivos interligados. EIA-232 pode ser aplicado nas topologias de barramento se nós aplicarmos dispositivos de interfaceamento para converter EIA-232 em EIA-485 e usarmos um protocolo *multidrop*.

## Análise de Características de EIA-232, EIA-485 e Fibra Ótica

### EIA-232

A Norma EIA/TIA-232-E, da EIA, define a interligação entre equipamento terminal de dados (DTE) e equipamento de comunicação de dados (DCE), empregando intercâmbio de dados serial binário. Por definição, o interface é um modo de comunicação ponto a ponto. A norma define:

- Características do sinal elétrico
- Características mecânicas da interface
- Descrição funcional dos circuitos de intercâmbio
- Interfaces padrão para algumas configurações específicas do sistema



Generator=gerador. Interface point=Ponto de interface. Receiver=Receptor.  
Signal common=Comum do sinal

FIGURA 5 : CIRCUITO EQUIVALENTE A EIA-232

$C_0$  é a capacidade total efetiva do excitador, medida no ponto de interface, incluindo qualquer cabo até o citado ponto.

$C_L$  é a capacitância total efetiva do terminador, medida no ponto de interface, incluindo qualquer cabo até aquele ponto (<2500 pF).

$V_1$  é a tensão no ponto de interface (-5 a -15 V e +5 a +15 V).

Para os circuitos de intercâmbio de dados, o sinal é 1, em binário (também chamado "Marcação") quando a tensão é mais negativa do que -3V. O sinal é 0, em binário (também chamado de "Espaçamento") quando a tensão é mais positiva que +3 V, em relação ao terra do sinal. Entre +3 e -3V, é chamado de região de transição. A norma diz que, para circuitos de intercâmbio de dados, o tempo requerido para o

o sinal passar através da região de transição precisa ser de 1 ms ou 4% do intervalo da unidade (time de bit), dependendo da duração nominal do elemento do sinal.

EIA-232 especifica conexão de 25 pinos, porém nós podemos usar uma conexão de 9 pinos para a maioria das aplicações.

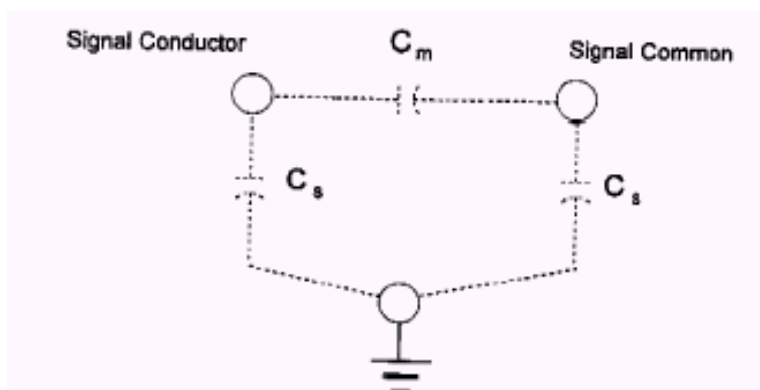
**Tabela 2: Designações de Pinos da EIA-232**

Descrição da EIA-232	DTE (Computador, Relé ou Processador de Comunicação) Designações de Pinos
Blindagem	1
Dados Transmitidos	2
Dados Recebidos	3
Solicitação de envio (pronto para receber)	4
Disponível para enviar	5
DCE pronto	6
Terra do sinal/Retorno Comum	7
Detector de Sinal de Linha Recebido (Portadora)	8
Terminal de Dados Pronto (DTR)	20

Solicitação de envio, Disponível para Enviar, DCE Pronto, Detector de Sinal de Linha Recebido e Terminal de Dados Pronto são usados para *handshaking* (sinais de estabelecimento de comunicação) de hardware. Se a interface EIA-232 usa *handshaking* de *software*, estes sinais podem não ser usados. Os pinos vagos podem alimentar sinais de códigos de tempo IRIG-B ou tensões para dispositivos externos.

**Qual é o comprimento máximo em que posso passar um Cabo para Aplicações EIA-232?**

O Apêndice A da EIA/TIA-232-E proporciona um cálculo simplificado do comprimento máximo de cabo para um cabo de interligação entre dispositivos DCE e DTE.



Signal conductor =condutor do sinal. Signal common=comum do sinal

FIGURA 6: CAPACITÂNCIA DE UM CABO DE INTERCÂMBIO EIA-232

$C_m$  é a capacitância mútua entre condutores. Para cabos blindados,  $C_{..}$  é a capacitância de condutor para blindagem. Para cabos não blindados,  $C_{..}$  é a capacitância espúria para o terra. Neste exemplo, nós desprezamos o desequilíbrio entre condutores e blindagem.  $C_{..}$  na Figura 7 é a soma de  $C_{..}$  e  $C_{..}$ .

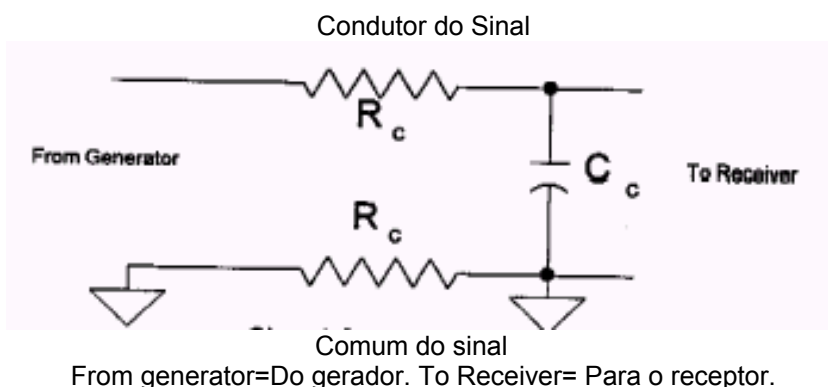


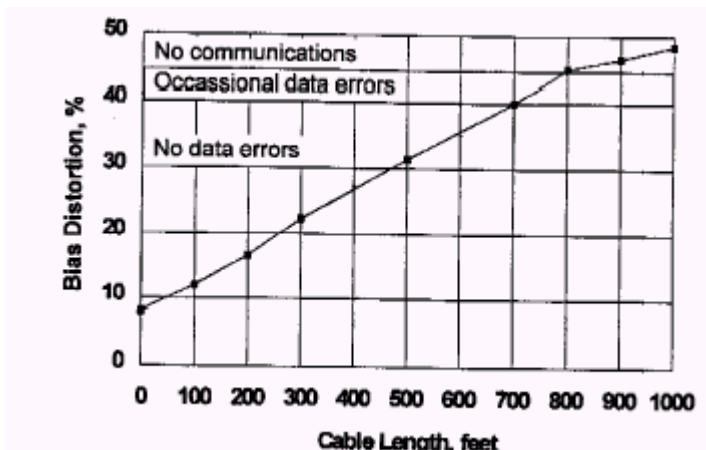
FIGURA 7 : MODELO SIMPLIFICADO PARA CABO DE INTERCÂMBIO EIA-232 MOSTRANDO RESISTÊNCIA DO CABO  $R_c$  E CAPACITÂNCIA,  $C_c$

Para EIA-232, a capacitância total máxima é 2500 pF. Um cabo típico tem cerca de 50 pF/pé. Portanto, se nós seguirmos rigorosamente a norma EIA-232, os trajetos de cabos ficam limitados a 50 pés, e isso não leva em conta a capacitância na entrada do receptor.

A principal consequência de se violar o requisito de 2500 pF é que a quantidade de tempo necessária para ir da Lógica 1 (-3 V) para Lógica 0 (+3 V) e vice-versa será maior do que os 4% de intervalo da unidade admitido pela Norma EIA-232. Quanto mais alta a capacitância, maior a distorção da onda. Esse tipo de distorção, chamado de "distorção polarizada", pode causar erros de dados.

Para poder achar os limites práticos, nós testamos um circuito EIA-232 entre um processador de comunicações e um relé em diferentes taxas de baud e comprimentos de cabos. Nós medimos a distorção polarizada para cada caso. Executamos um arquivo de *script* contínuo para checar quanto a erros de dados. Não detectamos qualquer erro de dados até 1000 pés a 2400 e 9600 baud. A 19,2 kbaud, detectamos erros de dados acima de 700 pés. Parece que os UARTs (Receptor/Transmissor Assíncrono Universal), os chips usados para essas tarefas de comunicação, manejam muito bem a distorção de *bias* até 40%.

A 19,2 kbaud:



Bias distortion, % = % de distorção polarizada. No communications=Sem comunicação.  
 Occasional data errors=Erros de dados ocasionais. No data errors=Nenhum erro de dado.  
 Cable length, feet = comprimento do cabo, pés.

FIGURA 8: DISTORÇÃO POLARIZADA vs. COMPRIMENTO DO CABO PARA TESTE DA EIA-232

Aqui estão duas formas de onda, uma mostrando 10% e a outra mostrando 40% de polarização.

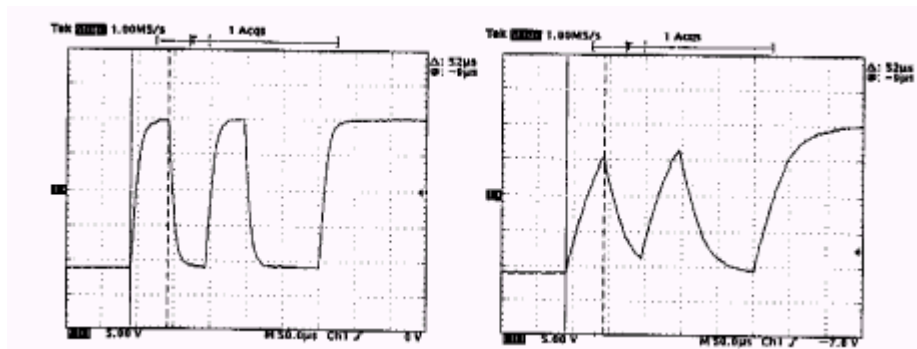


FIG. 9: 10% DE DISTORÇÃO POLARIZADA

FIG. 10: 40% DE DISTORÇÃO POLARIZADA

Tendo em vista que não detectamos erros com até 40% de distorção polarizada, a seleção de um limite superior da aplicação de 10% nos dá uma margem bastante confortável. A tabela a seguir apresenta comprimentos máximos de cabo blindado bem conservadores para taxas de baud de 2400, 9600 e 19,2 kbaud, se nós considerarmos uma distorção de 10%, tendo em mente que isso não conforma rigorosamente com a EIA-232. Uma fonte independente (2) observou comprimentos de cabo aceitáveis ainda maiores na EIA-232 e também admitiu uma distorção polarizada de 10%.

Tabela 3: Limites de comprimento de cabo devido a Capacitância do Cabo, permitindo 10% de Distorção Polarizada.

Taxa de Baud	Comprimento Máximo do Cabo	
	(Teste de Relé)	(Teste Independente [2])
2400	400*	1000
9600	100	250
19200	50	(não fornecido)

\* Limita para 100 pés se o cabo não é eletricamente isolado das fontes de interferência elétrica.

Acreditamos que a diferença entre o teste do relé e o teste independente é provavelmente decorrente dos capacitores no relé, colocados para a proteção contra surtos.

### Fontes de Interferência

Modems e outros dispositivos auxiliares requerem uma alimentação de energia. Essas fontes de força introduzem outros trajetos de interferência elétrica. Nós podemos reduzir a interferência elétrica, fornecendo tensão da porta de comunicações para alimentar os modems ou outros dispositivos conectados externamente.

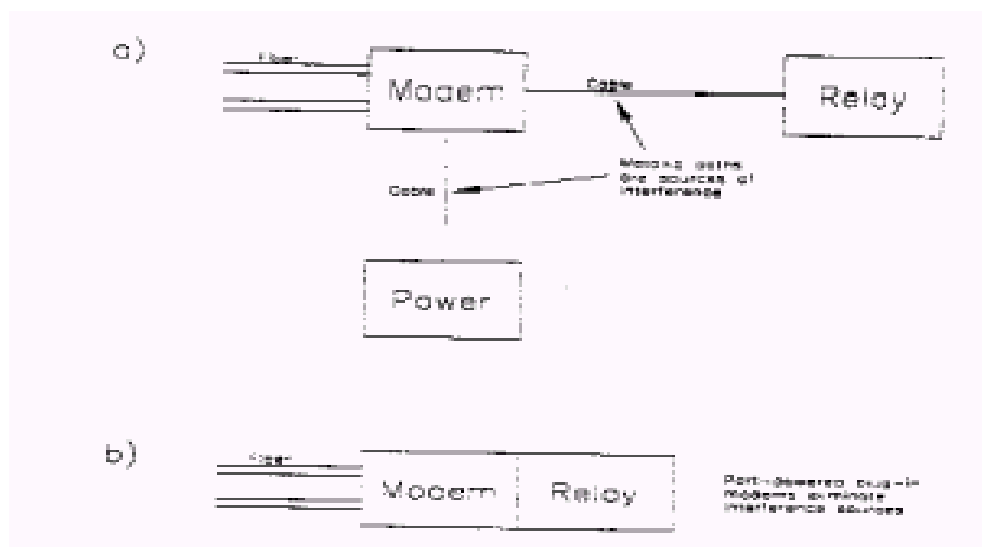


FIGURA 11: ELIMINAR FONTES DE INTERFERÊNCIA COM MODEMS PLUGÁVEIS

Qual é a capacidade dos circuitos EIA-232 para suportar surtos? Nós nos esforçamos para determinar como uma forma de onda SWC severa afeta as comunicações com relação ao aterramento da blindagem de cabos, comprimentos dos cabos e taxas de baud.

Para esse teste, nós colocamos um transiente num condutor paralelo com o cabo de comunicações entre um processador de comunicações e um relé. Nós usamos comprimentos de cabo de 30 e 100 pés. Este foi o arranjo de teste:

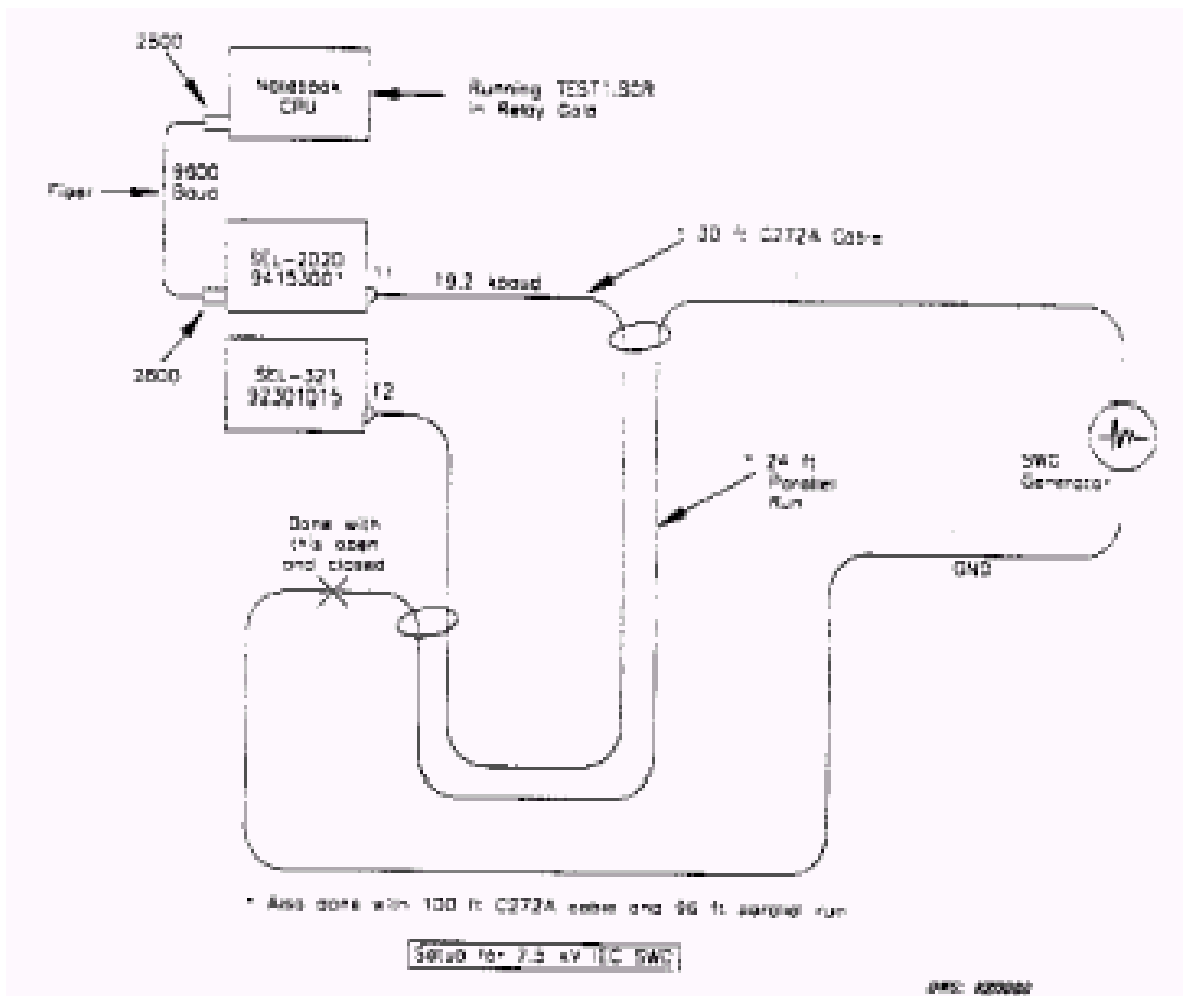


FIGURA 12: ARRANJO DE INTERFACE DE TESTE EIA-232

Nós aplicamos 2 minutos (4 x 30 s) de SWC contínua (40 vezes por segundo), baseado na Norma IEC-255-22-1, Classe III, porém mais severa. Abaixo, um sumário dos resultados.

Nem todas as portas EIA-232 são criadas iguais. Nós aplicamos a forma de onda SWC com e sem o nosso circuito de proteção de porta MOV standard, de capacitor-resistor, na entrada.

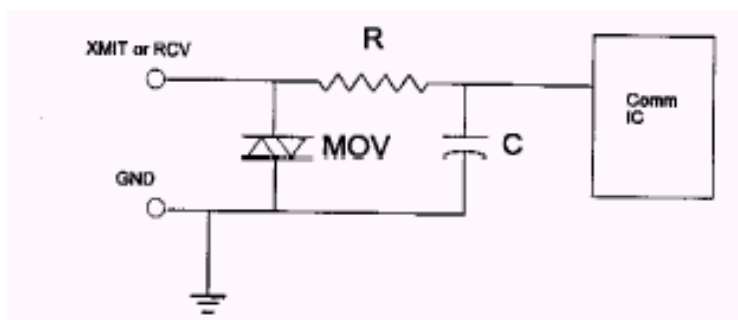


FIGURA 13: CIRCUITO DE PROTEÇÃO DE PORTA EIA-232 USADO POR ESTE FABRICANTE

Sem a proteção da entrada, foi necessário apenas um surto de SWC para danificar a entrada EIA-232 desprotegida. Com a proteção na entrada, nenhum dano ocorreu em qualquer das entradas EIA-232, independente da blindagem. (A proteção para portas raramente é encontrada em equipamentos comerciais).

Em seguida, aplicamos o teste aos circuitos protegidos com e sem aterramento nas blindagens do cabo. Erros de dados ocorriam se qualquer das extremidades do cabo tinha uma blindagem não aterrada. O aumento do comprimento do cabo (de 30 para 100 pés), ou o desligamento do aterramento da blindagem em ambas as extremidades aumentava o número de erros. Com ambas as extremidades blindadas, nenhum erro de dados ocorria a 30 pés. A 100 pés, apenas alguns erros de dados ocorriam. (Lembre-se, isto é aplicando-se 2 minutos de SWC contínua!!). Em resumo, nós concluímos:

- Sempre aterre a blindagem do cabo nas duas extremidades.
- Aplique as entradas EIA-232 com proteção contra surtos de tensão. (Padrão nos relés SEL).
- Limite o comprimento do cabo em 50 pés para 19,2 kbaud, 100 pés para 9600 baud e abaixo.
- Se você não tiver certeza sobre a proteção para a porta ou interferência, então elimine o problema com fibra ótica.

### EIA-485

Uma aplicação típica para EIA-485 consiste de um dispositivo mestre e um cabo de par torcido, que vai do mestre para um dos dispositivos, em seguida, daquele dispositivo para outro dispositivo e assim por diante. Por definição, a EIA-485 é uma rede de conexão em cadeia entre múltiplos dispositivos. Até 32 transmissores/receptores podem compartilhar o mesmo canal de dados.

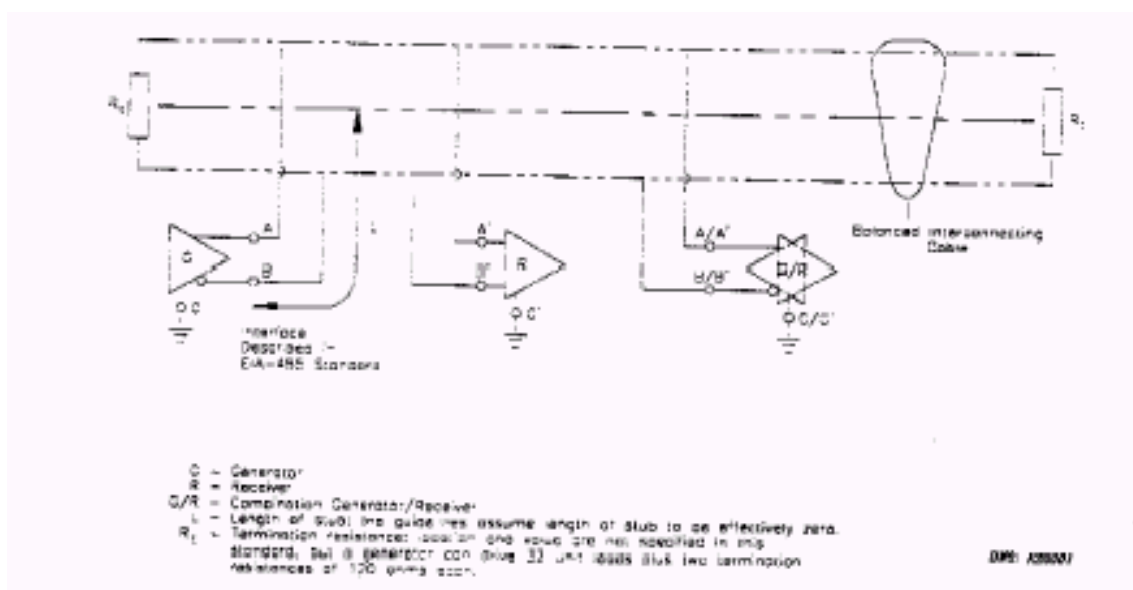


FIGURA 14: APLICAÇÃO DE INTERLIGAÇÃO MULTIPONTO EIA-485.

A tensão com circuito aberto da fonte (gerador) medida entre os dois terminais de saída tem de ser 1,5 a 6,0 volts. A tensão medida ao longo do cabo de interligação deve ser de 1,5 a 5,0 volts.

A diferença mais significativa entre EIA-232 e EIA-485 é que o receptor EIA-485 determina binário 1 (MARK ou OFF) e binário 0 (SPACE ou ON) na tensão do terminal A para terminal B (Figura 14) e não do terminal para terra. O terminal A será negativa em relação ao terminal B para o estado binário 1. O terminal A será positivo com relação ao terminal B para o estado binário 0.

O padrão EIA-485 define as características elétricas dos geradores e receptores conectados neste arranjo. Abaixo é dado um sumário de outros importantes aspectos da EIA-485.

**Comprimentos do cabo:** EIA-485 em geral pode operar a distâncias mais longas do que a EIA-232. Da mesma forma como a EIA-232, a capacitância distribuída do cabo limita a velocidade e a distância. A tabela abaixo mostra alguns limites práticos para comprimentos de cabo da EIA-485 (2):

**Tabela 4: Limites de Comprimento de Cabo EIA-485**

<b>Velocidade (taxa de Baud)</b>	<b>Comprimento Máximo do Cabo</b>
90 kbaud	4000 pés
1 Mbaud	400 pés
10 Mbaud	40 pés

Cada dispositivo conectado adiciona capacitância. Se os projetistas não forem cuidadosos, a capacitância interna dos transmissores e receptores EIA-485 poderá reduzir a velocidade e as distâncias práticas da rede.

**Conexão:** Um cabo (semi-duplex) de par torcido ou dois cabos (duplex completo) de par torcido. A implementação de EIA com quatro fios requer dois condutores para transmitir e dois para receber. A vantagem do duplex completo é que o mestre tem pleno controle sobre o sistema. O mestre pode transmitir uma mensagem de alta prioridade enquanto recebe uma resposta de um dispositivo, sem interrompê-la.

**Velocidade:** A taxa de dados máxima para EIA-485 é de 10 Mbits/s. Isso parece ser uma excelente alternativa para arranjos de barramento, onde todos os dispositivos conectados têm capacidade de comunicação avançada. No entanto, a maioria dos dispositivos instalados está restrita a baixas velocidades.

Uma barra de EIA-485 operando em altas velocidades precisa ser tratada como uma linha de transmissão. Ela precisa ser terminada na sua impedância característica, tipicamente 100 ohms, em cada extremidade. Os projetistas precisam evitar linhas curtas a partir do barramento, para prevenir reflexos indesejáveis.

## Fontes de Interferência

Nós executamos testes em circuitos EIA-485 similares aos testes com forma de onda SWC que executamos no circuito EIA-232. Para um cabo de 100 pés a 19,2 kbaud, não tivemos erros de dados, desde que fossem observadas as regras para aterramento correto do circuito. Nós tivemos um erro de dados quando conectamos a referência do chassis na referência do circuito em um dos dispositivos “escravo”. Figura 15 mostra uma conexão típica a quatro fios (duplex completo).

EIA-485 desempenha melhor porque as referências de tensão são independentes de um condutor de terra. Por exemplo, o circuito de transmissão é baseado na tensão proveniente de A (T+) para B (T-), e não de A para terra ou B para a terra.

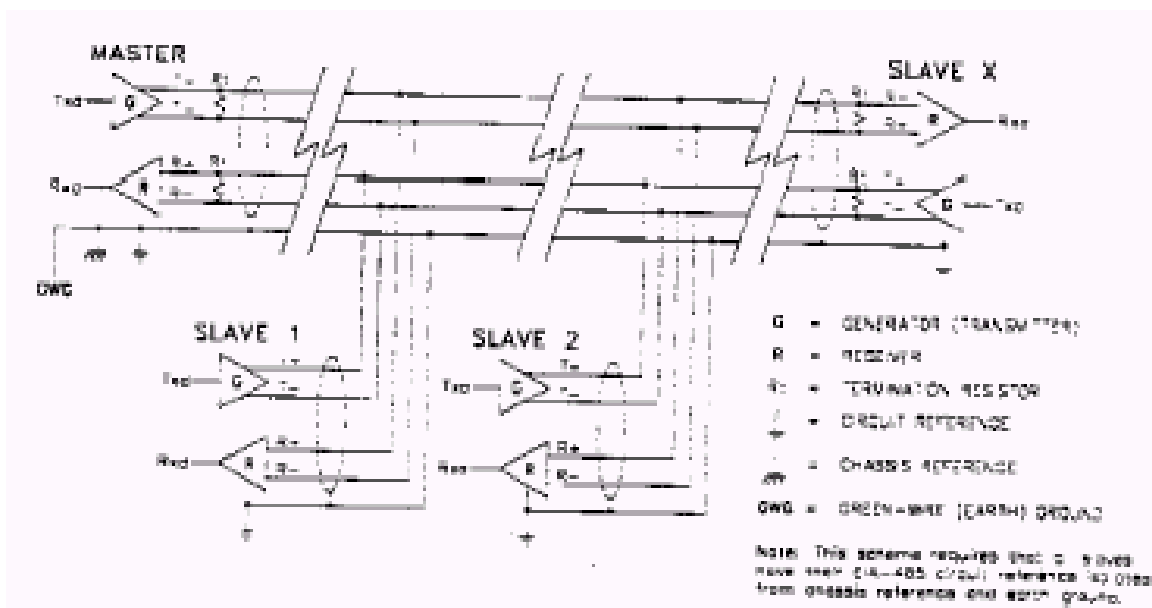


FIGURA 15: REDE EIA-485 “MULTIDROP” A QUATRO FIOS TÍPICA (RECOMENDADA)

## Fibra Ótica

A fibra ótica proporciona isolação elétrica entre dispositivos de comunicação e isola o pessoal e o equipamento de tensões perigosas e Elevação do Potencial de Terra (GPR). A mesma é totalmente imune a ruído produzido pelos campos eletromagnéticos e pode ser roteada em áreas onde o uso de cabo metálico seria perigoso ou geraria corrupção dos dados. Novos avanços tornam a fibra ótica uma alternativa prática, econômica e segura em relação aos meios metálicos para comunicação.

Nós podemos aplicar a fibra ótica como um aperfeiçoamento de virtualmente qualquer protocolo de camada física. A fibra ótica apresenta vários modos, diâmetros físicos e larguras de faixa.

A fibra de modo simples usa diâmetros menores (por exemplo, 9  $\mu\text{m}$ ) e é usada para distâncias mais longas e velocidades mais altas.

A fibra multimodo é ideal para comunicações dentro da subestação. Atenuação mais alta produz um sinal de qualidade mais baixo. Largura de faixa mais alta significa que taxas de dados mais altas são possíveis. A tabela seguinte mostra características típicas da fibra multimodo.

**Tabela 5: Características da Fibra Multimodo**

Diâmetro (µm)	índice	(Atenuação, db/km)			(Largura de faixa, MHz – Km)		
		650 (visível)	850	1300 nm	650	850 (visível)	1300 nm
50.0	graduado		2.7	0,7		400.0	400.0
62.5	graduado		3.2	0.9		160.0	300.0
100.0	graduado		4.0			100.0	200.0
200.0	passo	8.0	6.0	30.0	10.0	20.0	

Aplicação e comparação do custo para o menor (50µm) versus o maior (200 µm) diâmetro de fibra ótica:

**Tabela 6: Comparação de aplicações e custos de dois projetos de fibra ótica**

Diâmetro do cabo	50 µm	200 µm
Tipo de conector	Conectores ST	Conectores Pino V*
Custo do cabo	\$0.90/pé	\$1.25/pé
Custo de terminação do conector	\$13 por extremidade	\$2 por extremidade
Processo de terminação do conector	requer epóxi e polimento	engastamento e clivagem
Tempo de terminação do conector	10 a 15 minutos por extremidade	1 minuto por extremidade
Largura de faixa	Até 400 MHz/ km	10 a 20 MHz / km
Atenuação	3 db/km	6 – 8 db/km
Comprimento de onda	infravermelho não visível	Comprimento de onda visível, fácil teste do sinal
Custo do transceptor	\$150 cada extremidade	\$150 cada extremidade

\* Pino V é marca registrada da SpecTran Corporation.

### Comparação e Recomendações

Nesta seção, examinamos as vantagens e desvantagens do uso da EIA-232, EIA-485 e fibra ótica para comunicações de subestação com relação a:

- Velocidade
- Quais dispositivos posso conectar?
- Segurança
- Análise de falhas
- Custo

## Velocidade

Para poder comparar a velocidade, devemos considerar o número de dispositivos conectados, os dados que desejamos receber e com qual rapidez devemos coletar dados. Temos de determinar quais funções de proteção e controle, se houver, precisamos executar através das comunicações.

Abaixo é dada uma estimativa do tamanho e tempos de transmissão dos objetos de dados típicos.

**Tabela 7: Tamanho e Tempos de Transmissão Estimados de Objetos de Dados Típicos**

Objeto dos Dados	Tamanho (bytes)	Tempo de transmissão a 9600 baud
Comando de operação rápida do disjuntor	6	7 ms
Resposta do <i>Medidor Rápido</i> binário	80	92 ms
Comando Medidor ASCII	200	229 ms
Relatório de Eventos ASCII (11 ciclos, 4 amostras/ciclo)	6 k	7 s
Relatório de Evento ASCII (11 ciclos, 16 amostras/ciclo)	21 k	25 s
Relatório de Eventos ASCII (300 ciclos, 16 amostras/ciclo)	570 k	11 min.

O tamanho e os tempos de transmissão dos objetos de dado cobrem uma ou duas ordens de magnitude. Felizmente, os menores objetos (*medidor Rápido* binário, operação rápida do disjuntor) são os mais críticos em termos de tempo. No entanto, a transmissão de um objeto grande (por exemplo, um relatório de eventos ASCII) pode potencialmente atrasar os menores (por exemplo, medição). As soluções incluem:

1. Separar os objetos menores e críticos dos objetos grandes e menos críticos, em duas redes. Sistemas redundantes poderiam justificar a duplicação, porém isso dobra o custo da rede.
2. Usar um canal que seja suficientemente rápido para manejar o objeto maior e não atrase excessivamente os objetos menores e críticos. Isso requer que os canais sejam de duas a três ordens de magnitude mais rápidos, o que geralmente não é disponível com os dispositivos implantados atualmente. Além do mais, com qualquer capacidade de canal dada, há uma mensagem suficientemente grande para inaceitavelmente atrasar um dado rápido e crítico.
3. Dividir objetos grandes em pacotes menores e interogue mensagens tanto críticas como não críticas à mesma taxa. Isso permite o recebimento de objetos maiores a uma velocidade mais lenta, sem atrasar as mensagens críticas.
4. Priorizar a medição e controle em um nível mais alto do que os relatórios de eventos, de modo que a mensagem pequena e crítica possa passar através

das mensagens longas e menos críticas, sem interromper as mensagens mais longas. Neste caso, as mensagens binárias rápidas coexistem com as mensagens mais lentas.

### Exemplo 1: Sistema de Barramento EIA-485 vs. Sistema Estrela EIA-232

Considere um sistema simples com dez dispositivos conectados a um processador local (por exemplo, processador de comunicações, PLC ou computador). O processador local é varrido pelo sistema SCADA. Nós desejamos ler dados de medição dos IED's o mais rapidamente possível, com todos os dispositivos comunicando a 9600 baud.

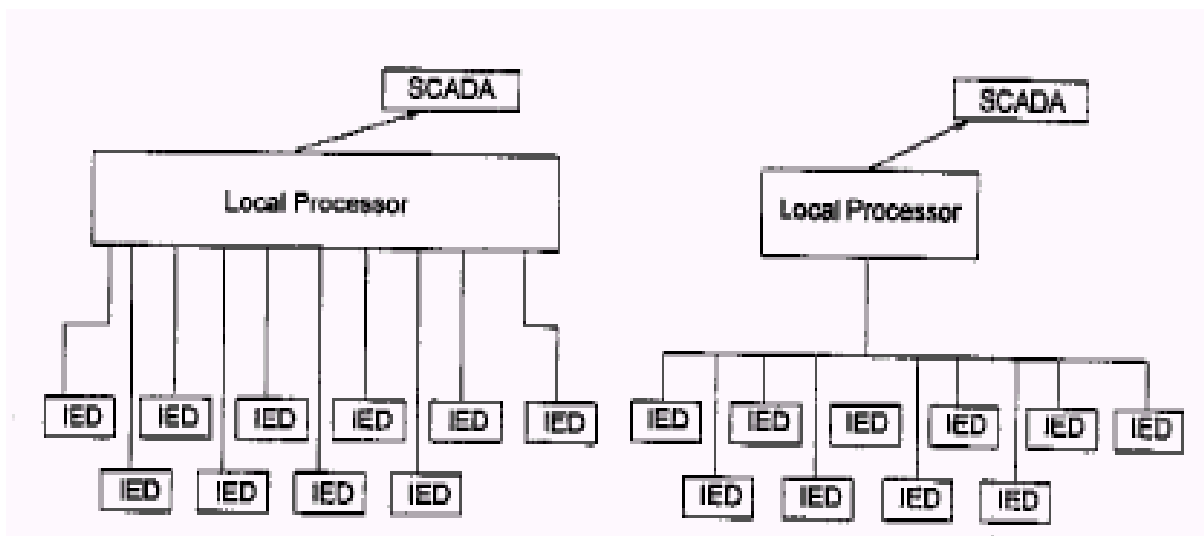


FIGURA 16: SISTEMAS ESTRELA E BARRAMENTO, COM DEZ DISPOSITIVOS

Agora, considere como os sistemas EIA-232 e EIA-485 se comparam se cada mensagem de medição tem 80 bytes de extensão. Nós desejamos renovar aqueles dados para o máster o mais rapidamente possível.

Para o sistema EIA-232 em estrela, cada dispositivo comunica com o processador local a 9600 baud. Se nós supusermos que o processador local está disponível 75% do tempo, temos uma nova largura de faixa efetiva de cerca de 7200 bits por segundo. Nenhum endereçamento é necessário.

A performance do sistema EIA-485 depende do número de dispositivos conectados. Neste exemplo, o sistema é desenhado para manejar um máximo de 9600 baud, de modo que a largura de faixa disponível para cada IED para transferência de dados é de apenas 960 baud. Além do mais, cada dispositivo requer um endereço o que retarda ainda mais a transferência de dados, porque as mensagens ficam mais compridas. Se esse *overhead* for de 25 por cento, a nova largura de faixa efetiva por dispositivo passa a ser de 720 baud. Tendo em vista que atraso inerente no link de comunicações, nós não precisamos adicionar atraso para o processador local.

Nós supomos que cada byte contém 1 bit de partida, 8 bits de dados e 1 bit de parada (10 bits = 1 bit de dados). Portanto, para o sistema de 10 dispositivos e 9600 baud:

EIA-232 Estrela: 800 bits / 7200 bits por segundo = 0,1111 s por pacote de dados

EIA-485: 800 bits / 720 bits por segundo = 1,1111 s por pacote de dados

Para este sistema, EIA-232 é 10 vezes mais rápida do que EIA-485. Colocado de outra maneira, o sistema de barramento EIA-485 exigiria uma velocidade de:

$9600 \times (1,1111/0,1111) = 96.000$  baud para dar o mesmo rendimento do sistema estrela EIA-232 de 9600 baud para o processador local. Para qualquer dos sistemas, o processador local tem de extrair e formatar dados para comunicar com o máster do SCADA.

### **Exemplo 2: Comparação de três Configurações de Rede: a) Barramento EIA-485 Simples, b) Estrela EIA-232 de Três Fileiras e c) Estrela EIA-232 de Duas Fileiras**

Parâmetros:

**Velocidade:** 19,2 kbaud com 11 bits / baud (1 de partida, 8 de dados e 2 bits de parada), de modo que cada byte requer  $11/19200 = 0,00057$  s = 0,57 ms.

**Dados a Coletar:** Dados de medição e status de entradas e saídas de cada dispositivo. A resposta dos dados de medição e status de cada dispositivo tem 20 bytes de extensão. Um total de 30 dispositivos conectados.

**Processador Local:** Neste exemplo, o processador local usa o protocolo Modbus para extrair dados dos dispositivos conectados. A aquisição de dados consiste de uma solicitação de 8 bytes, uma mensagem de resposta de 5 bytes, mais 20 bytes de dados. Nós adicionamos um retardo de resposta do dispositivo (baseado no uso do protocolo Modbus) de 500 ms. Também, dependendo da aplicação, o processador local pode ter de esperar um curto tempo para assegurar que cada solicitação seja respondida pelos dispositivos conectados ( $T_{wait}$ ).

O atraso na resposta do dispositivo é o tempo entre o momento que um dispositivo individual recebe uma solicitação até o momento que ele responde à solicitação. Nós selecionamos um atraso de resposta do dispositivo de 500 ms como um atraso conservador, de pior hipótese.

$T_{wait}$  é o tempo que o processador local aguarda entre o recebimento de uma mensagem até a emissão de sua solicitação seguinte. Para esses exemplos,  $T_{wait}$  é de 115 ms.

O parâmetro  $n$  é igual ao número de dispositivos (IED) a partir dos quais os dados são coletados para uma única resposta.

$T_{response}$  é o tempo entre o momento em que um processador local envia uma solicitação até o momento em que recebe uma resposta completa.

$T_{scan}$  é o tempo requerido para coletar dados de todos os dispositivos conectados. Para um dispositivo conectado,  $T_{scan} = T_{response} + T_{wait}$ .

Para uma solicitação de dados Modbus com  $n = 1$ , o tempo de resposta é:

$$\begin{aligned}
 T_{response} &= (13 + 20 \cdot n) \times 0,57 + 500 \\
 &= 11.4 \times n + 507.4 \text{ ms} \\
 &= 519 \text{ ms}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{scan} &= T_{response} + T_{wait} \\
 &= 519 + 115 \\
 &= 634 \text{ ms.}
 \end{aligned}$$

**NOTA:** Em todos cálculos de tempo de dados, o retardo da resposta do dispositivo é a parte dominante do tempo. Desconfie de qualquer análise que não inclua esse fator.

### Exemplo 2a: Barramento EIA-485 Simples

Neste exemplo, cada IED é considerado como um dispositivo “escravo” Modbus e pode comunicar diretamente com o processador local, usando os parâmetros descritos previamente.

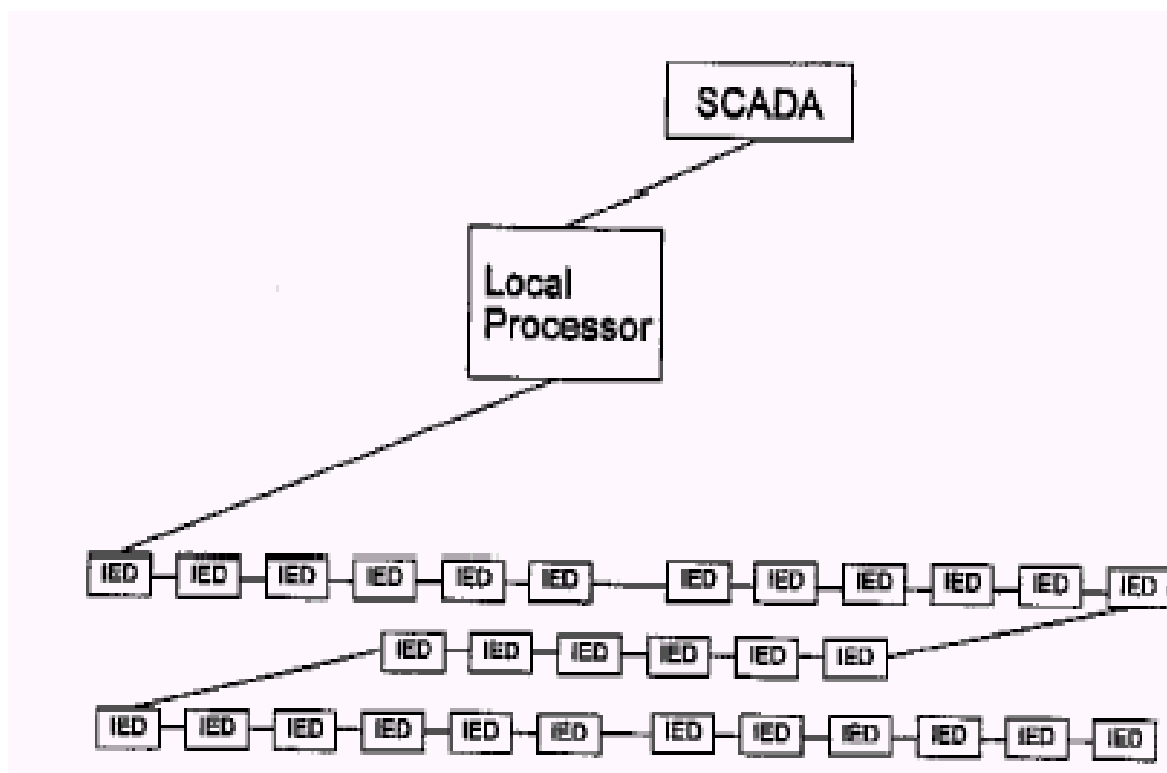


FIGURA 17: REDE DE BARRAMENTO EIA-485

Nós coletamos dados de medição usando Modbus, com uma conexão EIA-485 de duplex completo. O processador local solicita dados dos IED's, um de cada vez. Portanto,  $n = 1$ . O tempo de resposta é:

$$T_{\text{response}} = 11.4 \times 1 + 507.4 \text{ ms} = 519 \text{ ms}$$

Temos de emitir essa solicitação 30 vezes (1 por IED). Portanto, o nosso melhor tempo de varredura é:

$$T_{\text{scan}} = (T_{\text{response}} + T_{\text{wait}}) \times 30 = 19.02 \text{ segundos}$$

Se o nosso projeto pede um tempo de varredura de um segundo, e  $T_{\text{wait}} = 0$ , o sistema exigiria um atraso de resposta de dispositivo inferior a 14 ms (*versus* 500 ms), a 19,2 kbaud. Mesmo se a taxa de baud fosse infinita, o atraso de resposta do dispositivo teria de ser inferior a 33 ms!

### Exemplo 2b: Estrela EIA-232 de Três Fileiras Usando Processadores de Comunicações

Os exemplos 2b e 2c utilizam um processador de comunicações. Nós podemos aplicar um processador de comunicações para extrair e formatar dados de numerosos dispositivos conectados e outros processadores de comunicações. Assim que o dado é coletado, o mesmo pode ser movido para dentro de registros para ser lido pelo processador local. Essencialmente, o processador de comunicações (CP1 na Figura 18) atua como o dispositivo “escravo” do Modbus. Ao mesmo tempo, o processador de comunicações atua como um núcleo para uma topologia estrela, extraíndo dados dos dispositivos e renovando os seus registros de dados simultaneamente. Neste exemplo, nós conectamos dez dispositivos a cada processador de comunicações.

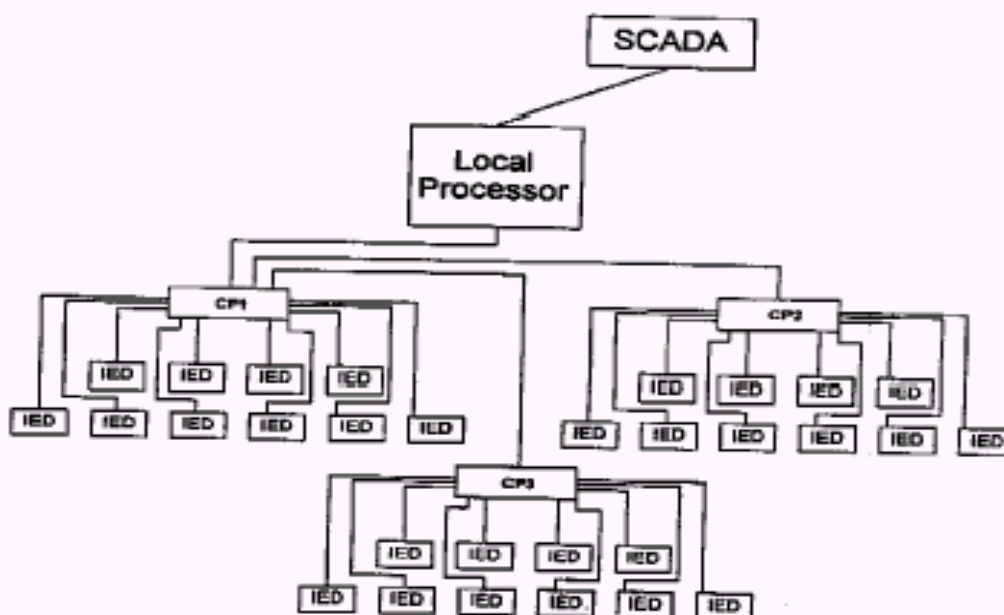


FIGURA 18: REDE EIA-232 ESTRELA DE TRÊS FILEIRAS.

O processador de comunicações usa protocolo *Fast Meter* binário para comunicar com os IED conectados. Este protocolo consiste de uma solicitação de 2 bytes, uma resposta de 130 bytes e 300 ms de latência da resposta do dispositivo. A 19,2 kbaud, o tempo total para que esta mensagem seja processada é:

$$T_{\text{Fastmeter}} = (132 \text{ bytes} \times 0.57 \text{ ms/byte}) + 300 \text{ ms} = 375 \text{ ms}$$

Levam mais 500 ms para que o processador de comunicações decomponha e mova o dado *Fast Meter* para dentro dos registros adequados, para que o processador local possa ler. Portanto, o dado é renovado a cada 875 ms no processador de comunicações, ficando disponível para ser lido pelo processador local.

Os dados provenientes dos dispositivos conectados a CP2 e CP3 “passam através” de CP2 e CP3 para CP1. O processador local lê os dados em CP1 usando o protocolo Modbus. Cada aquisição do processador de comunicações requer  $11.4 \times 10 + 507.4$  ms (usando os parâmetros iniciais), onde  $n = 30$  porque cada aquisição de dado está coletando dados de 30 dispositivos.

Com  $n = 30$ , o nosso tempo de resposta de cada processador de comunicações é:

$$T_{\text{response}} = 11.4 \times 30 + 507.4 = 849 \text{ ms}$$

Portanto, o nosso melhor tempo de varredura é:

$$\begin{aligned} T_{\text{scan}} &= T_{\text{response}} + T_{\text{wait}} \\ &= 849 + 115 = 0,964 \text{ segundo} \end{aligned}$$

Também, temos de levar em contato a latência para os processadores de comunicações. São necessários 375 ms para extrair dados dos dispositivos, mais 500 ms para mover o dado dentro de um processador de comunicações (875 ms no total). Se nós adicionarmos mais uma “fileira”, teremos de acrescentar mais 1 segundo de latência. Portanto, os dados que estão sendo varridos têm uma idade de  $0,964 + 0,875 + 1,000 + 2,839$  segundos, na pior hipótese.

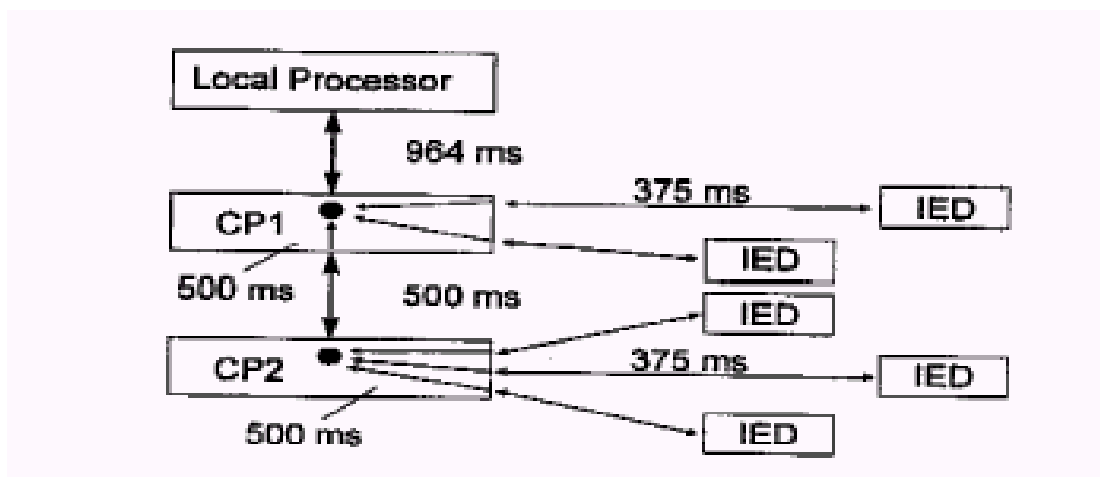


FIGURA 19: TEMPOS DA REDE EIA-232 ESTRELA DE TRÊS FILEIRAS

## Exemplo 2c: Sistema EIA-232 Estrela de Duas Fileiras

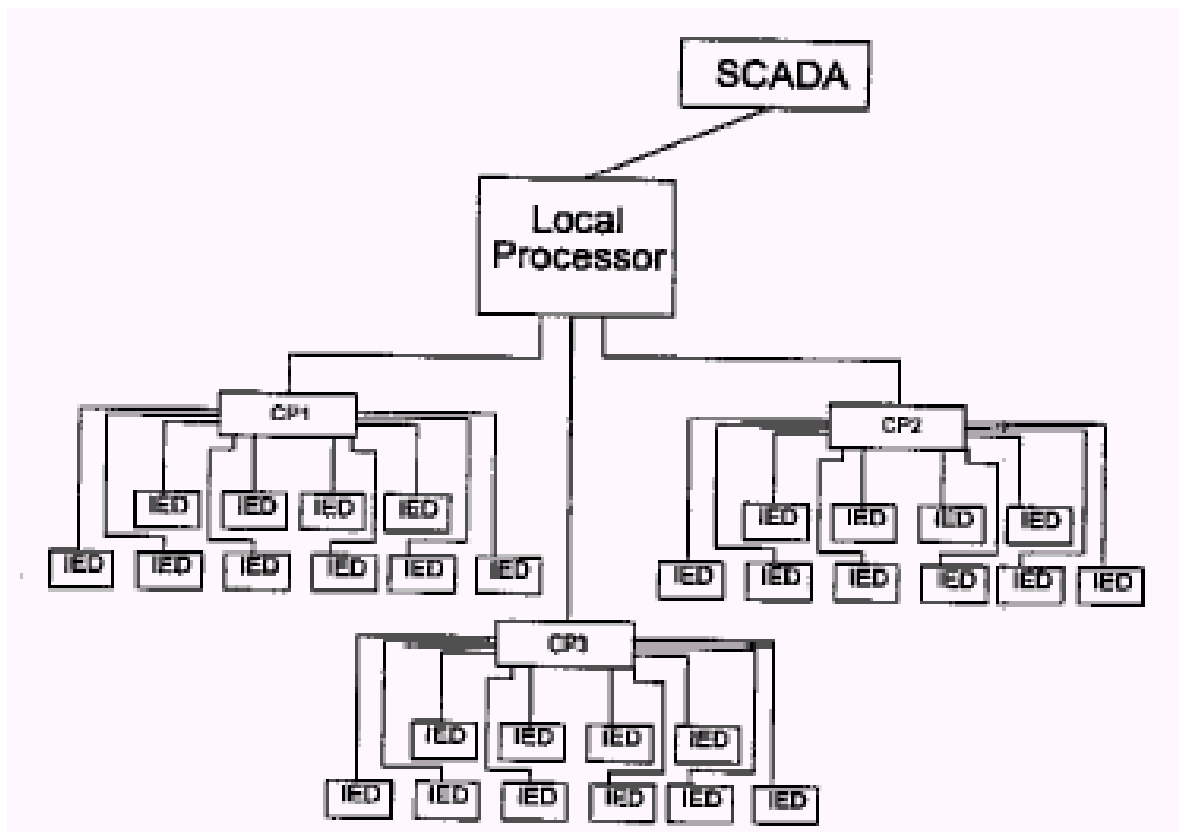


FIGURA 20: SISTEMA EIA-232 ESTRELA DE DUAS FILEIRAS

Agora, consideremos os 30 dispositivos conectados a três processadores de comunicações, similar ao Exemplo 2b. Neste caso, no entanto, nós usamos o processador local para emitir solicitações de dados via Modbus EIA-232 a todos os três processadores de comunicações simultaneamente. Isso requer uma conexão direta entre o processador local e cada um dos três processadores de comunicações. Também, o processador local tem de rodar três aplicativos Modbus simultaneamente (um para cada processador de comunicações).

Tendo em vista que cada aquisição de dados está coletando dados provenientes de dez dispositivos,  $n = 10$ . O nosso tempo de resposta é:

$$T_{\text{response}} = 11.4 \times 10 + 507.4 = 621 \text{ ms}$$

O nosso melhor tempo de varredura é:

$$T_{\text{scan}} = T_{\text{response}} + T_{\text{wait}}$$

$$= 621 + 115$$

$$= 0,736 \text{ s}$$

Se nós adicionarmos os 875 ms de latência para o processador de comunicações, a base de dados inteira é atualizada a cada  $0,736 + 0,875 = 1,611$  segundos.

Tabela 8 compara a velocidade dos três exemplos de sistemas. A tabela mostra os melhores tempos de varredura nas taxas de baud de 9600 e 19200, e a latência máxima de dados a 19200 baud.

**Tabela 8 : Comparação da Velocidade de Três Configurações de Sistema no Exemplo 2**

Configuração do Sistema	Melhor Tempo de Varredura		Latência Máxima do Dado
	9600 baud	19,2 kbaud	19,2 kbaud
EIA-485 Barramento Simples	19,950 s	19,020 s	19,020 s
EIA-232 Estrela, 3 Fileiras	1,320 s	0,964 s	2,839 s
EIA-232 Estrela, 2 Fileiras	0,860 s	0,736 s	1,611 s

### Quais Dispositivos Posso Conectar?

Os sistemas EIA-485 de barramento parecem ideais para interconectar qualquer dispositivo que suporte um determinado protocolo. Na prática, no entanto, todos os dispositivos conectados são usualmente provenientes de um mesmo fabricante e têm os mesmos *drivers* de porta de comunicação. Infelizmente, a qualidade de implementação de protocolos no âmbito da indústria atualmente não está totalmente isenta de falhas. Mesmo se um esforço fosse feito para usar os mesmos protocolos, ainda poderia resultar em dificuldades para resolver incompatibilidades.

É um desafio integrar sistemas usando dispositivos arbitrários de diversos fabricantes, porém com um processador de comunicações em uma topologia estrela e um mix de EIA-232, EIA-485 e fibra ótica (onde necessário), nós podemos conectar dispositivos com diferentes protocolos de software. A comunicação com cada dispositivo pode ser conduzida em uma taxa de baud diferente, quando necessário. As funções críticas em termos de tempo, da mesma forma como atualização de dados de medição e status ou operação de disjuntores, podem usualmente ser atendidas quando todos os dispositivos estão corretamente conectados e configurados. Funções menos críticas, tais como coletar relatórios de evento ou checar configurações, usualmente são mais fáceis de implementar.

### Segurança

Tanto EIA-232 como EIA-485 requerem condutores metálicos para ligar os dispositivos interconectados. Dentro da casa de controle, condutores metálicos ficam sujeitos a ruído elétrico, porém as tensões induzidas estão tipicamente dentro de limites seguros. Para EIA-232, o aterramento de um cabo blindado nas duas extremidades melhora a imunidade aos ruídos elétricos. No entanto, fora da casa de controle, os cabos metálicos estão sujeitos a perigosos níveis de tensão devido à elevação do potencial de terra e tensões induzidas eletromagneticamente. A tentação de instalar cabo com comprimento mais longo é particularmente alta para EIA-485, onde os cabos podem ser dispostos com maior distância. No entanto, nós não desejamos estar na pele do técnico ou electricista ocupado com a confecção da terminação de um longo cabo metálico no momento em que ocorrer uma falha à terra!

### Elevação do Potencial de Terra e Tensões Induzidas Eletromagneticamente:

Quando ocorre uma falta à terra, a corrente de falta de seqüência zero se distribui através das fontes do sistema de aterramento do sistema de potência, tais como enrolamentos de transformador conectados em Y aterrado, terra de gerador e capacitores derivação. A corrente de falta também retorna através de trajetos alternativos, tais como condutores de neutro, fases boas, cabo de aterramento aéreo e blindagem dos cabos metálicos. As faltas à terra produzem tensões de elevação do potencial de terra (GPR), que a malha de terra de uma subestação alcança em relação a um ponto de aterramento remoto. A Norma IEEE 80, "Guide for Safety in AC Substation Grounding", não especifica uma GPR máxima segura. No entanto, algumas concessionárias permitem GPR de até 20 kV.

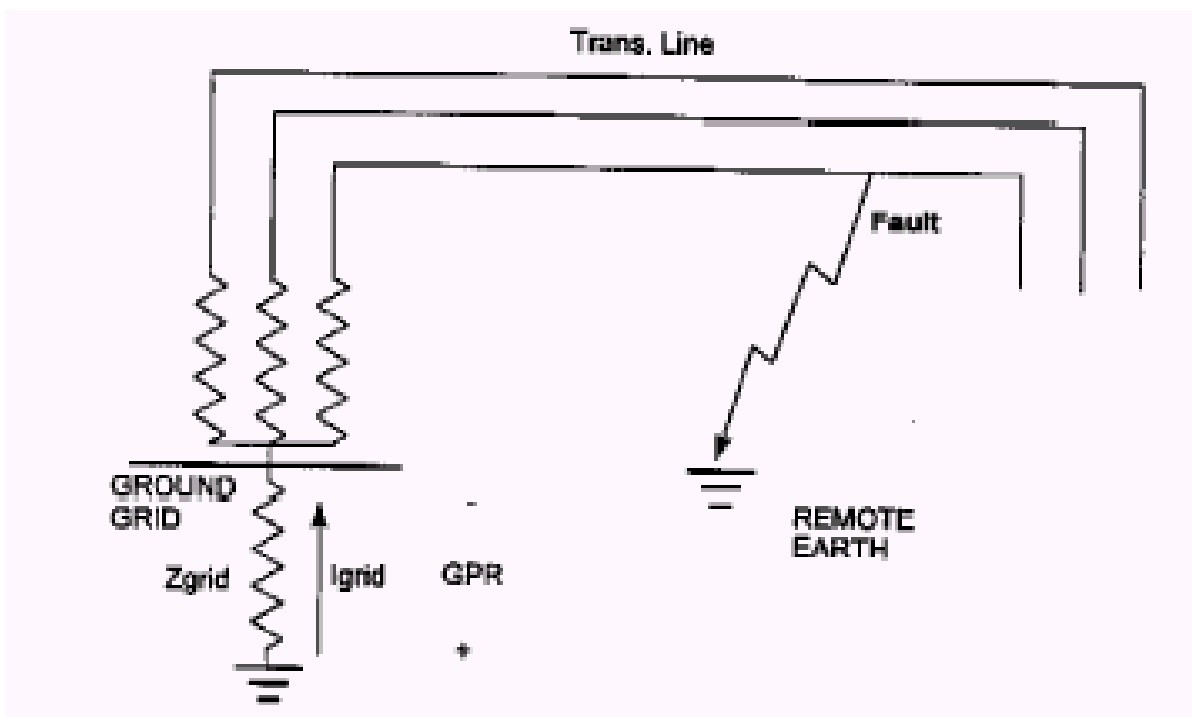


FIGURA 21: ELEVAÇÃO DO POTENCIAL DE TERRA DEVIDO A FALTA REMOTA

Além do mais, faltas à terra produzem tensões induzidas eletromagneticamente que podem ser transmitidas para cabos de comunicações metálicos. A magnitude depende da separação e da extensão da exposição indutiva entre a fonte e as linhas de comunicação, magnitude da corrente de falta e resistividade de terra. Mesmo sob condições normais, o ruído elétrico pode ser transmitido para os cabos de comunicação. O cabo blindado melhora a proteção contra ruído elétrico, porém não é imune às tensões induzidas, que são perigosamente altas para o equipamento ou pessoal.

A nossa recomendação é: **Nunca use comunicações metálicas fora da casa de controle em uma subestação.** Aqui estão algumas das possíveis conseqüências de fazer isso:

1. Risco de choque ou eletrocução
2. Danos à proteção e controle

3. Danos aos circuitos de comunicações
4. Erros de transferência de dados no trajeto das comunicações.

Como já discutimos, o cabo de fibra ótica é imune a interferência elétrica e potenciais perigosos. A conversão de sinais das camadas físicas EIA para fibra ótica é de baixo custo e fácil de ser implementada com os dispositivos modernos.

Outra prática perigosa é projetar dispositivos que isolem eletricamente o dispositivo do restante do relé. Neste caso, a tensão na porta pode ser significativamente diferente da tensão na referência de terra do relé. O técnico se torna o caminho elétrico para a diferença de potencial. Sempre use fibra ótica para essas aplicações para evitar o risco deste perigo para a segurança.

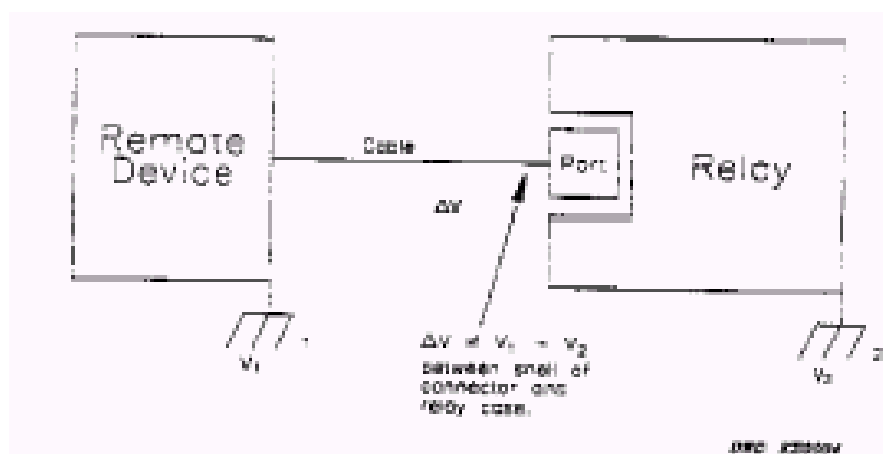


FIGURA 22: PORTAS ISOLADAS PODEM SER PERIGOSAS

### Análise de Falhas

Em um arranjo de rede EIA-485 mestre-escravo em cascata, a análise de falhas pode ser dificultada. Por exemplo, você pode instalar o primeiro e segundo dispositivos em uma série de conexões com bons resultados, em seguida instalar um terceiro dispositivo e perder comunicação com o primeiro dispositivo. Uma vez que a conexão começa em um único mestre se estende a cada dispositivo, encontrar o problema pode ser comparado a descobrir um mau contato em uma rede de lâmpadas de árvore de natal.

As topologias estrela são muito mais fáceis de analisar as falhas. Se um dos dispositivos conectados apresentar falha em se comunicar corretamente, ele pode ser facilmente isolado e reparado. Em um arranjo mestre-escravo usando EIA-232 em uma configuração estrela, cada dispositivo tem uma única conexão com o mestre.

### Custo

A comparação de custos depende grandemente do sistema (por exemplo, número de dispositivos conectados, comprimentos de cabo, dentro/fora da casa de controle, requisitos de velocidade, etc.). Por exemplo, o custo de par torcido metálico usado para EIA-485 é inferior ao custo do cabo de fibra ótica; no entanto, a diferença está

ficando menor. EIA-485 duplex completo requer dois cabos. Dentro da casa de controle, os custos de cabo deve ser ligeiramente inferiores se nós pudermos fazer a conexão em cascata entre cada dispositivo.

Além dos sérios riscos para a segurança, a instalação de cabo metálico fora da casa de controle apresenta custos ocultos. Por exemplo, se os dispositivos forem localizados em disjuntores no pátio da subestação, uma vala ou conduite separado poderá ser necessário para conectar entre os dispositivos. Caso contrário, temos de passar condutores do dispositivo, de volta através da casa de controle e de volta para outro dispositivo.

O uso de conexão EIA-485 de rede em cascata é provavelmente menos cara para os sistemas onde:

- a velocidade não for crítica
- todos os dispositivos conectados estão dentro da casa de controle
- todos os dispositivos conectados prontamente acomodam EIA-485

EIA-232 e fibra de vidro podem acomodar sinais de código de tempo IRIG-B no mesmo cabo.

## **CONCLUSÕES**

EIA-232 e EIA-485 são camadas físicas comuns. Já se encontram em serviço centenas de milhares de relés e outros dispositivos que usam essas interfaces. Numerosos protocolos de camada de aplicação usam EIA-232 e EIA-485. Sistemas de comunicações de alta velocidade usando topologias de barramento podem se tornar mais comuns na medida que os custos de hardware diminuem e se abrem os protocolos de camada de aplicação.

Para velocidades inferiores a 40 kbits/segundo, EIA-232 empregada em uma topologia estrela com um processador de comunicações é muito mais rápida para recuperação de dados de medição críticos ou executar funções de controle do que EIA-485 em uma topologia de barramento. O uso de EIA-232 e EIA-485 juntos pode melhorar a velocidade, dependendo do sistema.

EIA-232 conectada de relé para relé a 10-20 kbits/segundo é suficientemente rápida para proteção de alta velocidade.

EIA-485 é menos onerosa e preferida para aplicações na casa de controle onde velocidades muito mais baixas são aceitáveis para funções não críticas.

Nunca passe cabo metálico para comunicações fora da casa de controle. Se os dispositivos forem localizados no pátio, use fibra ótica para segurança e imunidade a ruídos. Mesmo para algumas instalações dentro da casa de controle, nós preferimos fibra ótica na medida que os custos diminuírem.

As topologias em estrela geralmente são mais fáceis de analisar os defeitos do que as topologias de barramento, porque nós podemos isolar e testar cada dispositivo individualmente.

A tabela a seguir resume a comparação entre EIA-232, EIA-485 e dois tipos de fibra ótica.

**Tabela 9: Comparações de Aplicações e Custos de EIA-232, EIA-485 e Fibra Ótica**

Categoria	EIA-232 Estrela	EIA-485 Barramento (Duplex completo)	Fibra ótica 50µm	Fibra ótica 200 µm
<b>Velocidade</b>	Limitada a 20 kbits/s. Pode alcançar 1 – 2 s de tempo de varredura para medição e status de I/O, inferior a 1 s para controle de disjuntores.	Até 10 Mbits/s. No entanto, taxas de varredura muito lentas (>10 s) quando aplicado com a maioria dos dispositivos. Adequado para funções mais lentas e não críticas.	Maior que 1000 Mbits/s.	Maior que 100 Mbits/s.
<b>Comprimentos de Cabo</b>	50 pés (19,2 kbaud), 100 pés (9600 baud e abaixo).	40 pés (10 Mbaud) e 4000 pés (90 kbaud).	> 5 milhas	1500 pés (mais longo para muitas aplicações)
<b>Dispositivos conectados</b>	EIA-232 onipresente. Precisa ter conector de 9 ou 25 pinos para EIA-232. Com processador de comunicações, pode acomodar diferentes protocolos de aplicação.	Usa 1 (semi-duplex) ou 2 (duplex completo) cabos de par torcido. Todos os dispositivos conectados devem usar o mesmo protocolo de aplicação.	Terminação de fibra ou conversor de EIA para fibra é necessário.	
<b>Segurança</b>	Cabo metálico é suscetível de interferência elétrica. OK para trajetos de 50 a 100 pés nas casas de controle. Aterrar a blindagem nas duas pontas.	Cabo metálico, suscetível de interferência elétrica. OK para trechos mais longos na casa de controle. Observar prática de aterramento recomendada. Longos trechos de cabo fora das casas de controle expõem o pessoal e equipamento a perigosos níveis de tensão.	Cabo de fibra ótica recomendado para qualquer trecho de cabo fora da casa de controle.	
<b>Análise de Falhas</b>	Conexões ponto a ponto geralmente mais fáceis de diagnosticar.	Mais difícil de isolar problemas na conexão de rede em cascata.	Equipamento especial infravermelho é necessário	Comprimento de onda visível ideal para aplicações nas subestações.
<b>CUSTO DE:</b>				
<b>Converter de EIA para Fibra</b>			\$150 – 500	\$150
<b>Porta de comunicação</b>	\$10/Dispositivo	\$55/Dispositivo	\$125-300/dispositivo	\$124-300/dispositivo
<b>8 pés de cabo, com terminações</b>	\$30	\$5	\$33	\$14
<b>50 pés de cabo, com terminações</b>	\$43	\$34	\$71	\$67

## Agradecimentos

Agradecimentos especiais a Randy Norheim, da SEL, pela execução dos testes de interferência elétrica com EIA-232 e EIA-485 e a David Wood, da SEL, pelo fornecimento de inestimável introspecção para a revisão deste trabalho.

## Referências

1. EIA/TIA Standard, EIA/TIA-232-E, Interface Between Data Terminal Equipment and Data Circuit - Terminating Equipment Employing Serial Binary Data Interchange, July 1991.
2. John E McNamara, *Technical Aspects of Data Communication*, 2nd Ed., Digital Press, 1982.
3. ANSI/IEEE Standard 367-1987, IEEE Recommended Practice for Determining the Electrical Power Station Ground Potential Rise and Induced Voltage from a Power Fault.
4. EIA Standard, EIA-485, Standard for Electrical Characteristics of Generators and Receivers for Use in Balanced Digital Multipoint Systems, April 1983.
5. Graham Clough, Tony Guilante, Jay Gosalia, *Basic Communications for the Relay Engineer*, 20th Annual Western Protective Relay Conference, October 1993, Spokane, WA, USA.
6. Kenneth C. Behrendt, P.E., *Relay-to-Relay Digital Logic Communication for Line Protection, Monitoring, and Control*, Minnesota Power Systems Conference, October 1996, St. Paul, MN, USA.