

## AVALIAÇÃO DE TOPOLOGIAS COM FIBRAS ÓPTICAS PARA REDES LOCAIS MINI-MAP E MAP/EPA

**AUTORES:** Marcelo Moraes de Azevedo  
Amplus Informática S.A.  
Rua Barão do Flamengo, 32/110. andar  
Rio de Janeiro - RJ - CEP 22220

Aloysio de Castro Pinto Pedroza  
COPPE/UFRJ - Programa de Engenharia Elétrica  
Cidade Universitária - Centro de Tecnologia - Bloco H  
Caixa Postal 68504  
Rio de Janeiro - RJ - CEP 21945

**RESUMO:** A versão 3.0 do projeto MAP especifica para o nível físico das arquiteturas Mini-MAP e MAP/EPA a opção banda portadora de 5 Mbps do padrão IEEE 802.4. Uma versão com fibras ópticas foi definida pelo padrão IEEE 802.4H, já existindo na especificação MAP 3.0 uma previsão para sua futura aceitação. Considerando que o padrão IEEE 802.4H admite variadas alternativas de implementação, procura-se nesse trabalho investigar algumas opções com o objetivo de selecionar a mais adequada a um futuro uso local.

### 1 - INTRODUÇÃO

A versão 3.0 do projeto MAP (Manufacturing Automation Protocol) [1] prevê arquiteturas de redes locais apropriadas a diferentes ambientes de automação industrial. A arquitetura MAP completa, por exemplo, baseia-se em um conjunto de 7 camadas de protocolos padronizados, especificando a versão banda larga de 10 Mbps do padrão IEEE 802.4 para o nível físico. Essa escolha permite a transmissão simultânea de dados, voz e vídeo através de distâncias da ordem de dezenas de quilômetros, viabilizando a construção de uma rede local com capacidade de integrar setores variados de uma fábrica.

A necessidade de redes locais mais simples e com tempos de resposta apropriados a aplicações críticas de tempo real deu origem às arquiteturas Mini-MAP e MAP/EPA. A arquitetura Mini-MAP especifica apenas os níveis 1, 2 e a porção superior do nível 7 do modelo de referência OSI. A arquitetura MAP/EPA (Enhanced Performance Architecture), embora estruturada em 7 camadas, admite o acesso direto do nível 7 ao nível 2. Essa última opção é apropriada a aplicações que exigem baixos tempos de resposta, como é o caso de controle de processos.

Tanto a arquitetura Mini-MAP como a arquitetura MAP/EPA especificam a versão banda portadora de 5 Mbps do padrão IEEE 802.4 para o nível físico, permitindo uma redução significativa de custos em relação à versão banda larga. A aplicação típica dessas arquiteturas é a integração de

equipamentos pertencentes a setores especializados da produção, comumente referenciados como células de produção.

A especificação MAP 3.0 não inclui opções de implementação com fibras ópticas, por considerar que não existem ainda padrões estáveis tecnicamente nem suficiente retorno experimental sobre tais opções. Além disso, existe um cuidado de que novas opções sejam introduzidas gradualmente, de forma a não criar dúvidas entre usuários e fabricantes. Todavia, são reconhecidas as seguintes vantagens no uso de fibras ópticas:

- . Imunidade a ruídos;
- . Possibilidade de uso em ambientes eletricamente hostis;
- . Segurança para a instalação e para o fluxo de dados;
- . Elevadas taxas de transmissão;
- . Isolamento elétrico;
- . Peso reduzido;
- . Atenuação independente da taxa de transmissão;
- . Possibilidade de transmissão em longa distância.

Considerando tais vantagens, a especificação MAP 3.0 prevê o uso futuro de fibras ópticas nas seguintes aplicações principais:

- . Redes instaladas em ambientes eletricamente hostis;
- . Redes de alto desempenho para comunicação em tempo real: nesse caso, a fibra óptica poderá ser um importante componente da arquitetura, proporcionando, por exemplo, maiores taxas de transmissão;
- . Redes que exijam segurança no fluxo de dados, não permitindo a instalação de derivações não autorizadas no meio;
- . Redes instaladas em áreas contendo gases ou poeiras explosivas, etc., nas quais o uso de um meio intrinsecamente seguro é desejável;
- . Redes instaladas em ambientes nos quais interferências causadas por relâmpagos, por exemplo, podem afetar o desempenho das comunicações;
- . Redes que necessitem de isolamento entre pontos referenciados a diferentes potenciais de terra.

Esse trabalho apresenta topologias com fibras ópticas aplicáveis a arquiteturas Mini-MAP e MAP/EPA, com o objetivo de selecionar a opção mais adequada a um futuro uso local.

Na próxima seção, são descritos os tipos de redes de fibras ópticas sendo considerados pela especificação MAP 3.0.

Na seção 3, são apresentadas alternativas de topologias para o padrão IEEE 802.4H, seguindo-se uma comparação entre as mesmas.

## 2 - TIPOS DE REDES DE FIBRAS ÓPTICAS SOB CONSIDERAÇÃO

A especificação MAP 3.0 considera dois tipos de redes de fibras ópticas para uma futura inclusão como opções de nível físico:

- . Redes IEEE 802.4 com taxa de 10 Mbps;
- . Redes IEEE 802.5 com topologia em duplo anel reconfigurável, taxa de 16 Mbps e máximo de 100 estações.

A inclusão de tais opções como parte da especificação MAP está condicionada à disponibilidade de produtos de diversos fabricantes, padrões aprovados no estágio DIS, testes de conformidade, "bridges" e roteadores para conexão a redes banda larga e banda portadora, além de suporte a características de gerência de nível físico que se mostrarem necessárias.

A princípio serão considerados somente sistemas monocal, sem capacidade de transmissão simultânea de voz, vídeo ou outros canais de dados. Para construção futura de sistemas de grande capacidade, há uma tendência para adoção de redes FDDI (Fiber Data Distributed Interface) de 100 Mbps [16].

No caso do padrão IEEE 802.4, vem sendo desenvolvida uma versão com fibras ópticas desde 1985. Em julho de 1987, foi incluída nesse padrão uma versão para uso experimental (IEEE 802.4H). Essa versão admite variadas alternativas de implementação, tendo procurado não especificar o uso de uma topologia particular ou dar preferência ao uso de dispositivos ativos ou passivos no meio físico [2] [3]. Velocidades de 5, 10 e 20 Mbps foram propostas.

O padrão IEEE 802.4H define dois tipos de sistemas, classificados segundo a sensibilidade dos receptores ópticos (Tab. 2.1). Sistemas de alta perda permitem comportar até 32 estações ligadas por cabos de 500 m em uma topologia do tipo estrela passiva. Sistemas de perda moderada podem ser usados com topologias como estrela ativa, pequenas estrelas passivas e barra linear ativa.

TIPO DE SISTEMA	POTENCIA ACOPLADA A FIBRA 62,5/125 $\mu\text{m}$ NA TRANSMISSÃO	SENSIBILIDADE DO RECEPTOR	MÁXIMO DE PERDAS ADMITIDO
PERDA MODERADA	- 10 a - 14 dBm	- 34 dBm	20 dB
ALTA PERDA	- 10 a - 14 dBm	- 44 dBm	30 dB

TAB. 2.1 - Tipos de sistemas definidos pelo padrão IEEE 802.4H

O método usado para especificar o padrão IEEE 802.4H define um conjunto de primitivas para acesso ao meio físico. Para uma implementação particular ser aderente ao padrão, basta que a mesma utilize essas primitivas. A eficiência desse método de especificação já foi comprovado praticamente, tendo sido possível conectar três tipos de implementação diferentes numa rede única [3].

O padrão IEEE 802.5 especifica originalmente um anel com taxa de 4 Mbps, usando par trançado como meio de transmissão. Essa especificação original é considerada inadequada para uso industrial, estando em consideração somente uma nova versão de 16 Mbps com fibras ópticas. O uso de características de reconfiguração (anel dual com sentidos de rotação opostos) desenvolvidas pelo subgrupo 802.5C também estão especificadas.

O uso de redes IEEE 802.5 com fibras ópticas é considerado uma alternativa adequada para sistemas com as seguintes exigências:

- . Mais de 32 estações;
- . Taxas superiores a 10 Mbps;
- . Tempos de resposta inferiores a 5 ms;
- . Raio de alcance da rede superior a 2 Km;
- . Impossibilidade de algum tipo de falha única causar falha generalizada na rede;
- . Impossibilidade de uma falha em algum cabo ou LED provocar o isolamento de uma estação.

Apesar de proporcionar níveis de desempenho e confiabilidade elevados, a implementação IEEE 802.5 de 16 Mbps utilizando anéis duais com fibras ópticas apresenta alguns aspectos que tendem a dificultar sua introdução. Entre estes, podem-se citar:

- . Versão de 16 Mbps com fibras ópticas e facilidades de reconfiguração automática para o padrão IEEE 802.5 ainda não totalmente estáveis tecnicamente [4];
- . Indisponibilidade de circuitos integrados VLSI para uma versão de 16 Mbps do padrão IEEE 802.5;
- . Indisponibilidade de produtos para redes MAP já desenvolvidos com base no padrão IEEE 802.5;
- . Diferenças na velocidade e método de acesso tendem a dificultar a implementação de bridges e roteadores para conexão a redes IEEE 802.4;
- . Custo e complexidade provavelmente superiores a de implementações IEEE 802.4 banda portadora ou IEEE 802.4H.

No caso de redes IEEE 802.4H, é esperada uma aceitação mais acelerada, com base nos seguintes aspectos:



- . Correções introduzidas a partir do Draft K do padrão IEEE 802.4 tornaram-no' mais estável, tendo sido inclusive retirada a recomendação que limitava a versão com fibras ópticas a uso experimental [5];
- . Disponibilidade de circuitos integrados VLSI para a versão de 10 Mbps do padrão IEEE 802.4;
- . Possibilidade de aproveitamento imediato de produtos já desenvolvidos para redes MAP, como por exemplo placas controladoras e modems ópticos;
- . Semelhança na velocidade e método de acesso facilitam a implementação de bridges e roteadores para conexão a outras redes IEEE 802.4;
- . Possibilidade de implementações economicamente competitivas com redes banda portadora de 5 Mbps, com diversas vantagens frente a estas.

Os aspectos favoráveis ao uso de redes IEEE 802.4H já foram comprovados na primeira rede MAP desse tipo, instalada numa planta da General Motors em Oshawa (Ontário, Canadá). O sucesso dessa implementação justificou a expansão da rede para um novo prédio da planta, estando prevista a conexão de 280 robôs e 150 CLPs (controladores lógicos programáveis) [6].

A disponibilidade da tecnologia de comunicações ópticas no país e as vantagens proporcionadas pelo uso de redes IEEE 802.4H, particularmente em ambientes industriais, justificam uma possível utilização de redes desse tipo no parque industrial brasileiro. Considerando a flexibilidade de implementação admitida pelo padrão IEEE 802.4H, torna-se conveniente investigar diferentes soluções para uma escolha apropriada. Na próxima seção, são apresentadas diversas opções de implementação, seguindo-se um estudo de comparação entre as mesmas.

### 3 - TOPOLOGIAS PARA REDES LOCAIS IEEE 802.4H

A fibra óptica é um meio de transmissão capaz de proporcionar vantagens como total imunidade a ruídos, ausência de irradiação, longo alcance, elevada banda passante e alta confiabilidade. Todavia, a aplicação da tecnologia de fibras ópticas a redes locais não é imediata, principalmente no caso de uma das topologias mais utilizadas: a barra. As dificuldades de se implementar uma arquitetura com fibras ópticas capaz de emular uma barra de acesso múltiplo resultou no desenvolvimento de soluções bastante diversas.

Considerando-se o caso de redes IEEE 802.3 (CSMA/CD), é possível identificar pelo menos quatro tipos de soluções já disponíveis comercialmente: estrela ativa, estrela ativa síncrona, anel ativo e estrela passiva [7]. Estas soluções foram encaminhadas ao grupo 802.8A para avaliação e posterior recomendação ao grupo

IEEE 802.3, de forma a desenvolver-se um padrão baseado em uma das soluções.

A implementação de uma rede IEEE 802.4 com fibras ópticas pode ser feita de diferentes formas, uma vez que o padrão especifica apenas primitivas de acesso ao meio físico. A seleção de uma implementação particular deve ser feita segundo critérios como confiabilidade, custo e complexidade. Considerando que a aplicação inicial prevista para redes IEEE 802.4H é a integração de equipamentos em células de produção, deve-se tentar desenvolver soluções para um sistema de comunicação em tempo real de baixo custo, alta confiabilidade, alta imunidade a ruídos e capaz de proporcionar alcances da ordem de até alguns poucos quilômetros.

Com base nessas exigências, serão apresentados nessa seção diferentes tipos de topologias aplicáveis a redes IEEE 802.4H. Inicialmente, são descritas três tipos de topologias utilizando dispositivos ativos em série com o meio físico: barra linear com derivações ativas, estrela ativa e anel ativo. Em seguida, são apresentadas topologias totalmente passivas: barra simples com derivações passivas, barra dupla com derivações passivas e estrela passiva. Após descrever-se os princípios operacionais de cada topologia, procura-se estabelecer suas principais vantagens e desvantagens. Segue-se à apresentação das topologias uma comparação entre as mesmas, com o objetivo de selecionar uma implementação adequada ao parque industrial do país.

Entre os critérios usados para comparação das topologias destacam-se aspectos como confiabilidade, complexidade e custo de implementação, flexibilidade de instalação, quantidade de nós conectados e demanda de meio de transmissão. Esse último parâmetro é uma medida em metros da quantidade de fibras ópticas necessária para instalação do sistema, sendo referenciado no restante do texto pela variável  $D$ .

Para comparar a demanda de meio de transmissão entre as diferentes topologias, é suposta uma aplicação envolvendo  $N$  estações dispostas uniformemente ao longo de uma circunferência. O cálculo da demanda de meio transmissão ( $D$ ) usou princípios encontrados no trabalho de Wiencko e Claus [10].

### 3.1 - BARRA LINEAR COM DERIVAÇÕES ATIVAS

Esse tipo de implementação utiliza como suporte de transmissão um cabo duplex de fibras ópticas com derivações ativas instaladas em série (Fig. 3.1). A conexão de cada nó à rede é feita através de uma unidade de acesso ao meio (MAU) ativa. As MAUs regeneram a amplitude e retemporizam os sinais ópticos, permitindo a construção de redes com alcance elevado sem necessidade de repetidores. Chaves ópticas embutidas nas MAUs realizam a função de "bypass" dos circuitos em caso de desligar-se a estação. O aumento da perda no enlace, todavia, limita a quantidade de MAUs adjacentes desenergizadas a aproximadamente três. Esse problema pode ser minimizado utilizando-se MAUs com alimentação própria.

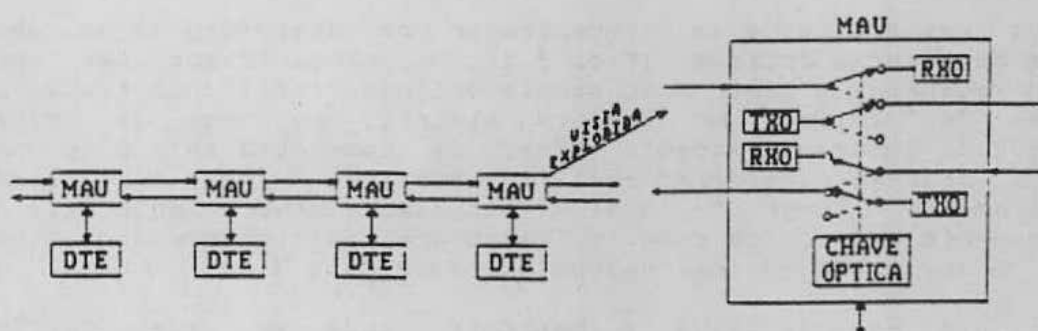


Figura 3.1. - Barra linear com derivações ativas

A topologia em forma de barra linear com derivações simplifica a instalação em ambientes industriais. Geralmente nas áreas de produção o cabo principal da rede é disposto em canaletas elevadas, realizando-se a conexão de equipamentos através de cabos de derivação. Cabos de derivação de maior comprimento permitem inclusive isolar o cabo principal da rede de equipamentos instalados em ambientes de temperatura elevada ou corrosivos.

A possibilidade de existirem MAUs desenergizadas em série aumenta os requisitos de sensibilidade e faixa dinâmica dos receptores ópticos, implicando em maior custo e complexidade para os mesmos. A necessidade de quatro pontos de terminação óptica por nó também é uma desvantagem, aumentando significativamente o custo do sistema. A chave óptica utilizada para "bypassar" MAUs desenergizadas são um desenvolvimento tecnológico relativamente recente, ainda existindo dúvidas quanto à sua confiabilidade e possibilidade de queda nos custos.

Para uma barra linear com derivações ativas, a demanda de meio de transmissão é dada por:

$$D = 4(N-1)R_{sen}(180^\circ/N) \quad (3.1)$$

Em caso de falha em uma MAU ou cabo óptico, a rede é particionada em duas. Embora cada uma das redes permaneça operacional isoladamente, não há possibilidade de se estabelecer comunicação entre as mesmas. Para aplicações industriais, essa característica em geral é inaceitável, devido à possibilidade de isolamento de equipamentos fundamentais de uma célula de produção. O uso de redundância não é aconselhável, por elevar ainda mais o custo e a complexidade do sistema.

A inserção de novas estações, embora simples, provoca a parada do sistema, a menos que seja realizada nas extremidades da rede.

### 3.2 - ESTRELA ATIVA

Essa topologia utiliza um concentrador ativo como elemento central da rede. Cada um dos nós é conectado a uma MAU local, que

por sua vez é ligada ao concentrador por intermédio de um cabo duplex de fibras ópticas (Fig. 3.2). O concentrador tem por função regenerar e distribuir sinais ópticos, realizando também a detecção de colisão no domínio elétrico no caso de redes IEEE 802.3. Embora o aspecto físico da topologia seja o de uma estrela, pode-se considerar essa implementação um caso particular de barramento linear, no qual o barramento propriamente dito é extremamente curto (no caso, o "backplane" do concentrador) e os cabos de derivação são externamente longos (até 2 Km).

A topologia estrela ativa é bastante usada em redes padrão IEEE 802.3 com fibras ópticas. Em geral os concentradores são construídos de forma modular, possuindo em média 30 portas. Grandes sistemas podem ser formados conectando-se concentradores numa estrutura em árvore de até três níveis (hierarquia contendo no máximo 5 concentradores em série), possibilitando nesse caso a conexão de milhares de nós [8] [9].



Fig. 3.2 - Topologia com estrelas ativas em cascata

Além de já ter sido utilizada em testes de conformidade da proposta IEEE 802.4H, a topologia estrela ativa está sendo considerada pelo grupo IEEE 802.8A, que tem por objetivo recomendar implementações com fibras ópticas ao grupo IEEE 802.3 para posterior padronização. Dois tipos básicos de implementação foram apresentados ao grupo IEEE 802.8A: estrela ativa e estrela ativa síncrona [7].

A estrela ativa é suportada por diversos fabricantes (Xerox, Siemens, Synoptics, Bicc, etc.), possibilitando uma implementação simples de MAUs e portas dos concentradores. Uma vez que o acúmulo de "jitter" é aceitável, não é preciso retemporizar pacotes em portas comuns de conexão de estações. Para a conexão entre concentradores, necessária para criar sistemas de maior porte, são usadas portas especiais que realizam retemporização e regeneração de preâmbulos de pacotes.

A estrela ativa síncrona é suportada por um fabricante (Chipcom), utilizando MAUs especiais para a conexão com o concentrador. Embora a topologia seja idêntica a de uma estrela ativa comum, a sinalização entre MAUs e concentradores é síncrona. Quando um pacote é entregue a uma MAU, o mesmo é armazenado numa FIFO e transmitido em sincronismo com o concentrador. Essa abordagem procura eliminar a necessidade de portas especiais para conexão com outros concentradores ou mesmo repetidores conectando outros



tipos de segmentos. Por outro lado, as funções de retemporização são distribuídas entre as MAUs.

Por utilizar somente enlaces ponto-a-ponto, não é necessário o uso de receptores de alta sensibilidade e faixa dinâmica ampla, bem como emissores de alta potência. Embora essa característica possibilite uma redução de custos, são ainda necessários quatro pontos de terminação óptica por estação.

Normalmente utiliza-se uma sinalização especial (IDLE) entre MAUs e o concentrador quando não estão sendo transmitidos pacotes. Essa sinalização permite uma implementação simples de um sistema de monitoração de falhas, com LEDs de supervisão localizados no concentrador. Por outro lado, torna-se necessário manter os emissores acesos continuamente, com ciclo de trabalho de 50%. Essa característica, embora possa reduzir a confiabilidade do sistema, facilita sua instalação e manutenção, uma vez que a potência óptica nas fibras é constante. A potência óptica constante traz também como benefício a redução da complexidade dos receptores ópticos.

Para uma estrela ativa com um único concentrador, a demanda de meio de transmissão é dada por:

$$D = 2NR \quad (3.2)$$

Sob o aspecto de confiabilidade, uma falha generalizada em um concentrador desconecta todas as estações ligadas ao mesmo. Para redes com até 30 estações e um concentrador único, que é o caso típico de uma célula de produção, esse tipo de falha compromete totalmente o sistema. Para redes contendo vários concentradores interligados, o problema é atenuado.

Para aumentar a confiabilidade do sistema, procura-se projetar concentradores com arquitetura modular, utilizando um mínimo de componentes comuns e fontes de alimentação duais [7][8][9]. Cada módulo possui 3 a 4 portas para conexão de MAUs, realizando ainda funções de monitoração de falha própria e nos enlaces. Em caso de falha em um módulo, são desconectadas apenas as estações ligadas às suas portas. Sistemas com tal arquitetura tem encontrado grande aceitação em automação de escritórios e automação bancária. Para essas aplicações, os níveis de confiabilidade e segurança proporcionados por uma estrela ativa com fibras ópticas supera o de redes convencionais, com as vantagens adicionais de monitoração localizada de falhas e alcances elevados.

A inserção de novas estações é bastante simplificada pela arquitetura modular do sistema, não sendo necessário interromper o funcionamento da rede nesse caso.

### 3.3 - ANEL ATIVO

A topologia em anel ativo difere fundamentalmente da topologia em barra linear, sendo entretanto uma das implementações estudadas para estabelecer-se uma futura proposta com fibras ópticas para o

padrão IEEE 802.3. O suporte de transmissão é um anel unidirecional formado por uma única fibra, na qual são instaladas em série MAUs especiais capazes de emular uma rede CSMA/CD (Fig. 3.3). A implementação em anel ativo de redes 802.3 encontra-se disponível comercialmente já há algum tempo, tendo sido criada pela Fibercom.

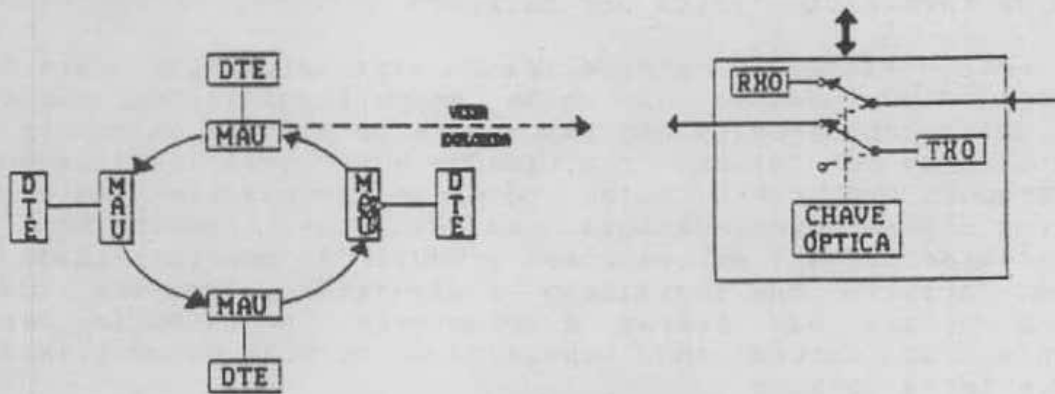


Fig. 3.3 - Anel ativo

A implementação CSMA/CD exige o uso de um mecanismo especial para detecção de colisões denominado código de acesso ao anel (RAC). Esse código é único para cada MAU, que ao transmitir um pacote insere o RAC em substituição aos primeiros bits do preâmbulo. Se durante a transmissão uma MAU receber um pacote cujo RAC não seja o seu, é detetada uma colisão. Ao receber um pacote com seu próprio RAC, a MAU se encarrega de retirá-lo do anel [10].

As MAUs incluem ainda circuitos de retemporização e chaves ópticas para "bypass" em caso de falta de energia. Admite-se que até três MAUs adjacentes estejam desenergizadas. A taxa de sinalização no anel é de 40 MHz, embora a taxa efetiva de transmissão seja de 10 Mbps. O número máximo de estações conectadas por anel é 100.

O custo e complexidade de implementação das MAUs é significativo, devido às características de emulação do método de acesso CSMA/CD, retemporização, chaves ópticas de "bypass" e receptores com maiores sensibilidade e faixa dinâmica. Um aspecto favorável é o uso de apenas dois pontos de terminação óptica por nó.

A implementação em anel ativo não é tolerante a falhas nas MAUs ou fibras ópticas. Uma falha única é capaz de interromper o funcionamento do sistema como um todo. Uma versão contendo anéis duais com sentidos de rotação opostos chegou a ser discutida pelo grupo IEEE 802.8A, sendo abandonada devido ao grande aumento de custo e complexidade.

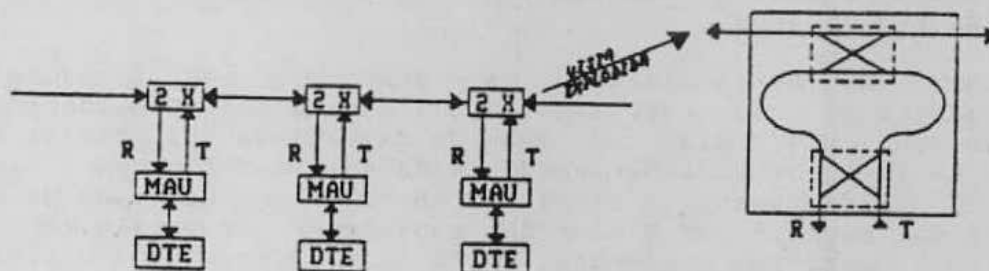
A demanda de fibra óptica em um sistema com anel simples é dada pela expressão:

$$D = 2NR \text{sen}(180^\circ/N) \quad (3.3)$$

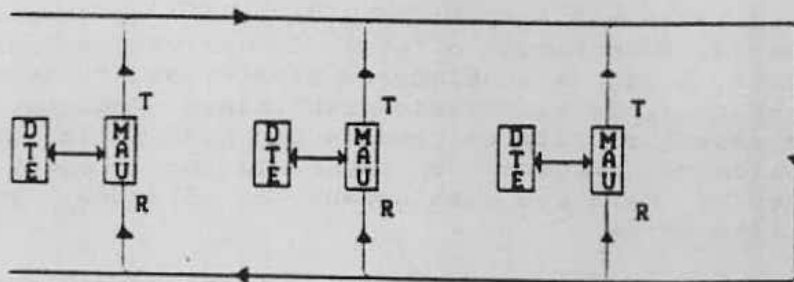
A inserção de novas estações, embora simples, provoca a parada temporária do sistema.

### 3.4 - BARRA SIMPLES COM DERIVAÇÕES PASSIVAS

Nesse tipo de implementação, o suporte de transmissão é totalmente passivo, sendo formado por uma barra linear ou em forma de U (11) e acopladores ópticos passivos (Fig. 3.4). Cada nó possui uma MAU local, sendo a transmissão de sinais no meio físico realizada integralmente no domínio óptico através de uma barra única.



A) Barra simples linear



B) Barra simples em U

FIG. 3.4 - Barra simples com derivações passivas

As topologias passivas proporcionam implementações com níveis de confiabilidade elevados, uma vez que não utilizam dispositivos ativos em série com o meio de transmissão. No caso da barra simples, a quebra de uma fibra ou uma falha em um acoplador óptico provoca o particionamento do sistema em redes independentes. Para a barra em U, uma falha desse tipo provoca o isolamento de todas as estações posicionadas à esquerda da falha, ficando as mesmas impossibilitadas de estabelecer comunicação entre si e com o restante do sistema.

As topologias em barra com derivações são bastante convenientes para ambientes industriais, adequando-se bem ao "lay-out" típico de distribuição de cabos e possibilitando a instalação do cabo principal da rede afastado de ambientes corrosivos ou de alta temperatura.

A demanda de meio de transmissão para a barra linear com derivações passivas é dada pela expressão:

$$D = 2(N-1)R \sin(180^\circ/N) \quad (3.4)$$

Para a barra em U com derivações passivas, a demanda de meio de transmissão é dada por:

$$D = 4(N-1)R_{sen}(180^\circ/N) \quad (3.5)$$

Um dos aspectos desfavoráveis no uso de barras com derivações passivas é o número limitado de conexões, devido à perda nos acopladores ópticos.

No caso da barra linear, as derivações são formadas por acopladores do tipo estrela 2 X 2 interligados. Considerando-se acopladores comerciais com taxa de divisão de 50%, tem-se que a perda causada por cada derivação instalada em série com o meio é de 4 dB. Além disso, a perda na inserção ou retirada de sinal óptico da barra é de 8 dB. Sem considerar as perdas em fibras ópticas, conectores e emendas, obtém-se um máximo de 3 derivações para sistemas de perda moderada e 5 derivações para sistemas de alta perda.

É possível utilizar nas extremidades da rede acopladores tipo Y, com menor perda, aumentando o total de derivações para 5 e 7, respectivamente. O uso de acopladores simétricos ("sintonizados") permite aumentar ainda mais essas quantidades. Todavia, se forem considerados aspectos práticos como perdas nas fibras, conectores e emendas, além de margens de segurança no projeto, não é possível conectar mais que uma dezena de estações, mesmo para sistemas de alta perda.

No caso da barra em U, as derivações são formadas por acopladores tipo Y. A perda em acopladores tipo Y comerciais com taxa de divisão de 50% é da ordem de 4 dB, o que limita o número de estações a 3 em sistemas de perda moderada e 5 em sistemas de alta perda. O uso de acopladores sintonizados permite conectar um maior número de estações, sendo os limites teóricos para sistemas de perda moderada e alta iguais a 10 e 30, respectivamente [11]. Considerações de ordem prática, todavia, reduzem esses totais a menos de 10 estações, mesmo para sistemas de alta perda.

Outro problema inerente a redes em barra com derivações passivas é a larga faixa de variação de potência de sinais ópticos. Tal característica aumenta a complexidade dos receptores, que devem ser projetados com uma ampla faixa dinâmica. Essa dificuldade pode ser contornada através de técnicas de "sintonia" da rede. Tais técnicas consistem em ajustar a potência dos transmissores e inserir atenuadores em série com os receptores, de forma a tornar a faixa de variação de potência óptica o mais estreita possível. Essa abordagem, entretanto, implica em uma maior complexidade de instalação.

A inserção de novas estações é dificultada em redes com número de estações próximo do limite, uma vez que podem ser exigidas paradas prolongadas para eventuais procedimentos de ajuste e sintonia.



### 3.5 - BARRA DUPLA COM DERIVAÇÕES PASSIVAS

Esse tipo de implementação utiliza duas barras unidirecionais com derivações passivas (Fig. 3.5). Cada nó possui uma MAU local com quatro pontos de terminação óptica [12]. São usados acopladores ópticos passivos do tipo  $\pi$  para acessar o meio de transmissão.

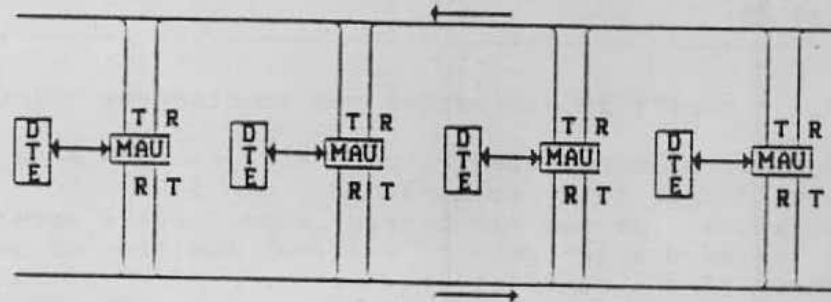


FIG. 3.5 - Barra dupla com derivações passivas

A topologia em barra dupla apresenta níveis de confiabilidade elevados, uma vez que não utiliza dispositivos ativos em série com o meio de transmissão. A quebra de uma fibra ou uma falha em um acoplador óptico provoca o particionamento do sistema em redes independentes.

A topologia em forma de barra com derivações facilita a instalação em ambientes industriais, podendo também garantir a passagem do cabo principal da rede afastado de ambientes hostis.

Com relação à demanda de meio de transmissão, tem-se para a barra dupla com derivações passivas:

$$D = 4(N-1)R \text{sen}(180^\circ/N) \quad (3.6)$$

O número de estações conectadas é limitado pelas perdas nos acopladores ópticos. Para acopladores tipo  $\pi$  comerciais, a perda causada por cada derivação instalada em série com o meio é de 6 dB. A perda na inserção ou retirada de sinal da barra é de 5 dB. Sem considerar as perdas em fibras ópticas, conectores e emendas, obtém-se um máximo de 3 derivações para sistemas de perda moderada e 5 derivações para sistemas de alta perda. É possível conectar as estações situadas nas extremidades diretamente na barra, usando somente dois pontos de terminação óptica. Dessa forma, é possível aumentar esses totais para 5 e 7.

Uma técnica mais eficiente consiste no uso de acopladores com taxa de acoplamento otimizada em função do número de estações [12]. Considerando-se acopladores idênticos, a Tab. 3.1 mostra o número máximo de derivações, para diferentes valores de perda de excesso para os acopladores.

PERDA DE EXCESSO (dB)	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0
SISTEMA DE PERDA MODERADA (20 dB)	4	4	3	3	3
SISTEMA DE ALTA PERDA (30 dB)	9	7	6	5	5

TAB. 3.1 - Limite de derivações com acopladores idênticos

Utilizando-se acopladores simétricos ("sintonizados"), é possível praticamente dobrar as quantidades da Tab. 3.1. Todavia, considerações como perdas nas fibras, conectores e emendas, além de margens de segurança para o sistema, limitam na prática o total de derivações a menos de uma dezena.

A necessidade de receptores com larga faixa dinâmica aumenta a complexidade e o custo dos mesmos. Esse inconveniente pode ser contornado com técnicas de ajuste de potência, o que requer transmissores com nível de potência variável e atenuadores ópticos. Essa abordagem, todavia, dificulta a instalação e pode incorrer em paradas prolongadas do sistema no caso de inserção de novas estações.

### 3.6 - ESTRELA PASSIVA

A topologia em estrela passiva vem sendo utilizada com sucesso em redes IEEE 802.3, sendo a única implementação passiva considerada pelo grupo IEEE 802.8A. Desenvolvida pela Codenoll [7], já se encontra disponível também uma versão para o padrão IEEE 802.4.

A topologia em estrela passiva baseia-se em um acoplador óptico  $N \times N$  como elemento central de difusão de sinais (Fig. 3.6). Cada nó possui uma MAU local com dois pontos de terminação óptica, sendo a conexão ao acoplador  $N \times N$  feita através de cabos duplex de fibras ópticas. Os transmissores das MAUs são ligados às  $N$  entradas do acoplador e os receptores às suas  $N$  saídas. O sinal óptico transmitido por cada MAU é dividido no acoplador, sendo entregue às  $N$  saídas. O acoplador  $N \times N$  é construído de forma a apresentar boa uniformidade na divisão de potência.

A topologia descrita utiliza um acoplador estrela transmissivo, contendo  $N$  portas de entrada e  $N$  portas de saída. É possível implementar uma estrela passiva usando-se um acoplador reflexivo, com  $N$  portas bidirecionais. Nesse caso, a conexão entre cada MAU e o acoplador é feita com uma única fibra. Todavia, são exigidos nas MAUs acopladores direcionais, que aumentam a perda nos enlaces. O aumento de custo causado pelos acopladores direcionais e pela necessidade de receptores mais sensíveis em geral não justifica o uso do acoplador reflexivo. Mesmo exigindo o dobro de quantidade de fibra, sistemas com acopladores transmissivos apresentam menor custo.

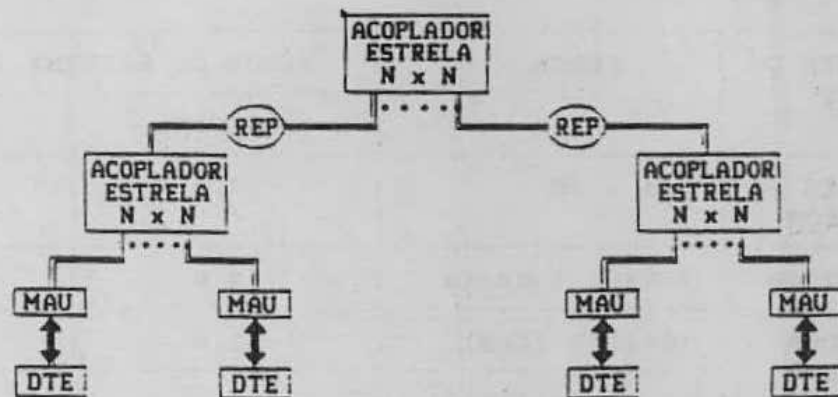


FIG. 3.6 - Estrelas passivas interligadas por repetidores

A topologia em estrela passiva proporciona implementações de alta confiabilidade. A quebra de um cabo de fibras ópticas isola unicamente a estação conectada ao mesmo. Embora o acoplador  $N \times N$  seja um ponto único de falha geral do sistema, sua característica passiva lhe assegura uma taxa de falhas muito reduzida. Normalmente, o acoplador é selado num invólucro metálico, sendo posteriormente fixado num módulo para instalação em bastidores de 19". As portas de entrada e saída recebem conectores, que posteriormente são fixados no painel do módulo. Esse tipo de montagem protege o acoplador e o mantém livre de esforços mecânicos, proporcionando robustez e confiabilidade.

A perda de inserção de um acoplador estrela ( $P_i$ ) possui duas componentes, a perda por divisão ( $P_d$ ) e a perda de excesso ( $P_e$ ):

$$P_i = P_d + P_e \quad (3.7)$$

A perda por divisão equivale à perda de um acoplador  $N \times N$  ideal, sendo dada por:

$$P_d = 10 \log N \quad (3.8)$$

A perda de excesso procura representar as características não-ideais do acoplador, sendo tipicamente da ordem de 2 dB para acopladores  $8 \times 8$  e 4 dB para acopladores  $32 \times 32$ . A componente principal da perda de inserção deve-se à divisão de potência no acoplador. Uma vez que a perda por divisão cresce logaritmicamente com a quantidade de portas, é possível conectar um número razoável de nós a um acoplador estrela.

A Tab. 3.2 mostra um cálculo prático de perdas, resultando em 8 nós para sistemas de perda moderada e 32 nós para sistemas de alta perda. Considera-se que o comprimento de fibra entre os nós e o acoplador é de 500 m.

COMPONENTE DO ENLACE	PERDA	PERDA DO SISTEMA (dB)	
		MODERADA	ALTA
CONECTORES NO ACOPLADOR	2 x 1 dB	2.0	2.0
FIBRA ÓPTICA	1 Km x 4 dB/Km	4.0	4.0
ACOPLADOR ESTRELA	(9+2)dB (8x8)	11.0	-
	(15+4)db(32x32)	-	19.0
MARGEM DE SEGURANÇA	3 dB	3.0	3.0
TOTAL	-	20.0	28.0

TAB. 3.2 - Cálculo de perdas para a topologia estrela passiva

O limite prático de 32 estações é adequado para uso em células de produção. Desejando-se aumentar a quantidade de estações, é possível interligar estrelas passivas através de repetidores ativos. Para uma estrutura em árvore de três níveis com acopladores 32 x 32, é possível conectar 32 x 31 x 31 = 30.752 estações. A redução de confiabilidade causada pelo uso de dispositivos ativos pode ser contornada sem muita dificuldade através de repetidores duais.

Sob o aspecto de demanda de meio de transmissão, tem-se para uma estrela passiva N x N:

$$D = 2NR \quad (3.9)$$

A inserção de novas estações no sistema é imediata, podendo-se utilizar portas reservadas para expansão ou adicionar novos acopladores estrela através de repetidores.

#### 4 - COMPARAÇÃO DE TOPOLOGIAS PARA REDES LOCAIS IEEE 802.4H

As diversas topologias apresentadas podem ser usadas na implementação de redes locais para uso em ambientes industriais, utilizando as primitivas de acesso ao meio físico definidas pelo padrão IEEE 802.4H. Uma comparação baseada em critérios como confiabilidade, complexidade e custo de implementação, flexibilidade de instalação, quantidade de nós conectados e demanda de meio de transmissão permitirá definir a solução mais adequada a aplicações industriais.



Do ponto de vista de confiabilidade, as topologias passivas parecem ser as mais adequadas. Dentre estas, destaca-se a estrela passiva, permitindo implementações na qual a falha em um cabo provoca o isolamento de uma única estação. Embora o acoplador estrela represente um ponto de falha generalizada do sistema, sua característica passiva e a possibilidade de construção robusta garantem altos níveis de confiabilidade à rede. As topologias passivas em barra simples ou dupla são mais sensíveis a falhas em cabos e acopladores ópticos, as quais podem causar particionamento da rede ou mesmo isolamento de um grupo de estações.

As topologias do tipo barra linear com derivações ativas e anel ativo apresentam problemas inerentes de confiabilidade, não sendo tolerantes a falhas em cabos ópticos ou MAUs. A topologia em estrela ativa é em muitos aspectos semelhante à estrela passiva, permitindo que a falha em um cabo provoque o isolamento de uma única estação. A confiabilidade do concentrador ativo pode ser aumentada com o uso de uma arquitetura modular, redução de componentes comuns aos módulos e uso de fontes de alimentação duais.

Sob os aspectos de custo e complexidade das MAUs, torna-se a princípio mais interessante selecionar topologias que utilizem apenas dois pontos de terminação óptica por nó. São exemplos de topologias com essa característica o anel ativo, a barra simples com derivações passivas e a estrela passiva.

No caso do anel ativo, existe um acréscimo significativo de complexidade devido aos circuitos necessários para emular um barramento, além da necessidade de chaves ópticas e receptores com ampla faixa dinâmica. A barra simples com derivações passivas também exige receptores de alta sensibilidade e ampla faixa dinâmica, podendo essa exigência ser relaxada com técnicas de sintonia da rede. A estrela passiva, por sua vez, não requer receptores com faixa dinâmica muito larga, uma vez que a principal componente de perda do sistema situa-se no acoplador estrela. Esse último componente é em geral construído para apresentar boa uniformidade na divisão de potência óptica.

Quanto à facilidade de remoção e inserção de estações, as topologias em estrela são as que apresentam maior flexibilidade. No caso da estrela ativa, concentradores com arquitetura modular podem facilmente ter seu número de portas variado, podendo-se ainda conectar concentradores em cascata de forma a permitir a conexão de um grande número de estações. Para topologias em estrela passiva, é possível dimensionar acopladores estrela de forma a manter portas reservadas para expansão, ou conectar novos acopladores através de repetidores ativos. Em ambos os casos, a inserção ou retirada de estações não exigirá em geral qualquer paralisação do sistema, a menos de eventuais reconfigurações de software provocadas pela alteração em sua estrutura lógica.

Com relação a demanda de meio de transmissão, pode-se observar na Fig. 4.1 o comportamento das diversas topologias apresentadas:

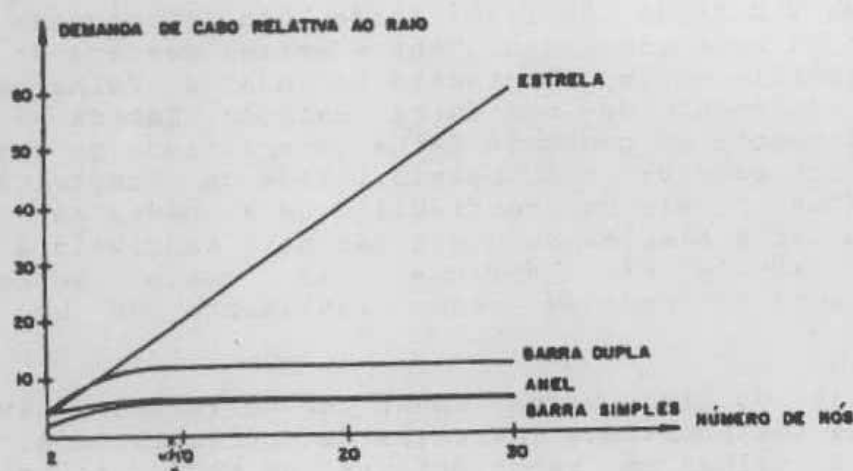


FIG. 4.1 - Demanda de meio de transmissão para diferentes topologias

Nota-se pela Fig. 4.1 que a demanda de meio de transmissão para topologias em estrela é bem maior do que a de topologias em barra ou anel. Todavia, a figura representa um caso limite no qual os nós estão dispostos uniformemente sobre uma circunferência. Se a distribuição dos nós é randômica, a quantidade de cabo necessária para topologias em barra ou anel aumenta. Por outro lado, é possível nesse caso selecionar um posicionamento ótimo para o acoplador estrela ou concentrador, de forma a minimizar a demanda de cabo de topologias em estrela.

Com relação à quantidade de nós conectados, observa-se um limite prático inferior a 10 estações para barras com derivações passivas. A estrela passiva admite um máximo de 8 ou 32 nós, respectivamente para sistema de perda moderada e alta. Um maior número de nós pode ser obtido interligando-se estrelas passivas através de repetidores ativos. As topologias ativas, por sua vez, permitem a conexão de uma grande quantidade de nós, com destaque para sistemas formados por estrelas ativas interligadas em cascata.

## 5 - CONCLUSÃO

A comparação estabelecida na seção 4 mostra que a topologia em estrela passiva se destaca por sua altíssima confiabilidade, baixo custo e complexidade das MAUs, facilidade de remoção e inserção de estações e uma quantidade de nós conectados adequada ao uso em células de produção. Um aspecto desfavorável é a maior demanda de cabos ópticos, sendo que em casos práticos de instalação a diferença com relação à demanda observada para topologias em anel ou barra não é tão acentuada como no caso limite exposto.

A redução de custos de fibras ópticas nos últimos anos atenua a desvantagem de maior demanda de cabos para topologias em estrela. Para redes do tipo Ethernet, por exemplo, implementações em estrela passiva se tornam em muitas aplicações mais econômicas do

que implementações convencionais em barra com cabo coaxial [13]. Tal característica poderá também ser observada com frequência em redes padrão IEEE 802.4, sendo que no caso de aplicações industriais as vantagens proporcionadas por uma implementação com fibras ópticas frente a redes banda portadora com cabo coaxial são inúmeras.

Embora a topologia física preferencial para distribuição de cabos em áreas de produção sejam em geral a de uma barra com cabos de derivação, a instalação de uma estrela passiva não traz muitos inconvenientes. O maior volume de cabos pode ser bem suportado por canaletas elevadas, devido às reduzidas dimensões e peso de cabos ópticos. Os cabos podem deixar as canaletas em pontos apropriados para conexão aos nós da rede, à semelhança de cabos de derivação. O acoplador estrela, por sua vez, pode ser mantido em locais afastados de ambientes poeirentos, corrosivos ou de temperatura elevada.

A seleção da topologia em estrela passiva é também vantajosa do ponto de vista da disponibilidade local de tecnologia e componentes. Cabos de fibras ópticas já se encontram disponíveis no mercado nacional há vários anos, já tendo sido desenvolvidos também alguns acopladores estrela [14]. A tecnologia de produção desses acopladores, além de detetores e emissores, deverá estar dominada pela indústria nacional dentro de algum tempo.

Internacionalmente, observa-se a redução de custos de fibras e componentes ópticos, bem como o desenvolvimento de acopladores estrela de baixo custo construídos com fibras plásticas [15].

A primeira rede MAP com fibras ópticas, instalada em uma planta da GM em Oshawa (Ontário, Canadá), proporcionou resultados capazes de justificar sua ampliação, estando prevista a conexão de 280 robôs e 150 CLPs. Essa rede é baseada em uma estrutura de estrelas passivas e ativas interligadas em cascata. As células de produção são integradas com estrelas passivas de oito portas. Essas estrelas passivas são ligadas a dois concentradores ativos de 32 portas cada, que realizam a função de regeneração de sinais. Os concentradores ativos, por sua vez, são conectados por uma estrela passiva central.

As vantagens apresentadas pela topologia estrela passiva frente a outras implementações IEEE 802.4H também já foram reconhecidas pela especificação MAP 3.0, que a relaciona para uma possível inclusão como opção de nível físico. Tal opção poderá se mostrar particularmente útil para as arquiteturas Mini-MAP e MAP/EPA.

Os resultados e perspectivas de redes IEEE 802.4 com fibras ópticas vem motivando o rápido desenvolvimento de estudos de padronização. O padrão IEEE 802.4H sofreu correções nos últimos meses, devendo brevemente atingir um estágio de maior estabilidade para uma futura padronização definitiva.

## 6 - BIBLIOGRAFIA

- [1] MAP/TOP Users Group of SME, "Manufacturing Automation Protocol Specification Version 3.0", Julho 1987
- [2] IEEE 802.4, "IEEE Standard 802.4 - Token Passing Bus Access Method and Physical Layer Specifications", Draft L, Agosto 1988
- [3] MARSH, C.H., JONES, J.R., "Passive Star Configured Fiber Optic LANs", SPIE Vol. 841, 1987
- [4] WHITE, D.W., "By this Token", LAN Magazine, Setembro 1988
- [5] IEEE 802.4J4, "Minutes of the IEEE 802.4J4 Working Group", Ontario, Maio 6, 1988
- [6] SUSCA, P., "GM Plant Expanding Fiber MAP Net", Lightwave, Setembro 1988
- [7] THOMPSON, G.O., "Comparison of Several Methods of Implementing a Fiber Optic IEEE 802.3 Ethernet", SPIE Vol. 841, 1987
- [8] STOROZUM, S.L., SAULNIER, J.L., "An Ethernet Active Star Fiber Optic Distribution System", SPIE Vol. 841, 1987.
- [9] TRUMAN, A.K., SMITH, R.W.; SCHMIDT, R.V., "Active Star Configured Fiber Optic CSMA/CD LANs", SPIE Vol. 841, 1987
- [10] WIENCKO, J.A., CLAUS, R.O., "Characteristic of Fiber Optic Local Area Networks with a Ring Architecture", SPIE Vol. 841, 1987
- [11] SUH, S.Y., GRANLUND, S.W.; HEGDE, S.S., "Fiber Optic Local Area Network Topology", IEEE Communications Magazine, Vol. 24, No.8, Agosto 1986
- [12] RODRIGUES, P.H.A. "Otimização do Número de Estações em Redes Locais de Fibras Ópticas com Barramento Duplo", Anais do 3o. Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (3o. SBRC), 1985
- [13] CODEN, M.H., SCHOLL, F.W., "Implementation of a Fiber Optic Ethernet Local Area Network", Technical Symposium East of the SPIE, 1983
- [14] RAUEN, S., "Acoplador Estrela para Redes Locais de Comunicação via Fibra Óptica", Anais do 1o. Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (1o.SBT), 1983
- [15] XU, J., DRIVER, R.D., GANIS, J., MAACK, D.R., "Direct Bonding Yields Low-Cost Plastic Star Couplers", Laser Focus, Abril 1988
- [16] FERRAL, W., "FDDI's Future in Automation", Lightwave, Março 1988