

# Um Protocolo MAC FDDI Aperfeiçoado para o Serviço de Comutação por Pacotes de uma Rede FFOL

José Luiz Timbó Elmiro

Dezembro de 1992

Diretoria de Informática da Marinha  
Teófilo Otoni 4 - Centro  
Rio de Janeiro, RJ, 20090  
E-mail: GS0E@BRMAR.BITNET

## Sumário

Os projetos do FFOL (Fiber Distributed Data Interface Follow-On LAN), conduzidos pelo ANSI, estão em andamento para especificar uma nova rede espinha dorsal de interconexão de alta performance [3]. Trabalhos de pesquisa recentes [5] endereçaram a questão do aperfeiçoamento do protocolo de controle de acesso ao meio (MAC) do FDDI básico. Este aperfeiçoamento se fundamenta em um aumento vazão de uma rede de área local para valores acima das suas taxas nominais de transferência.

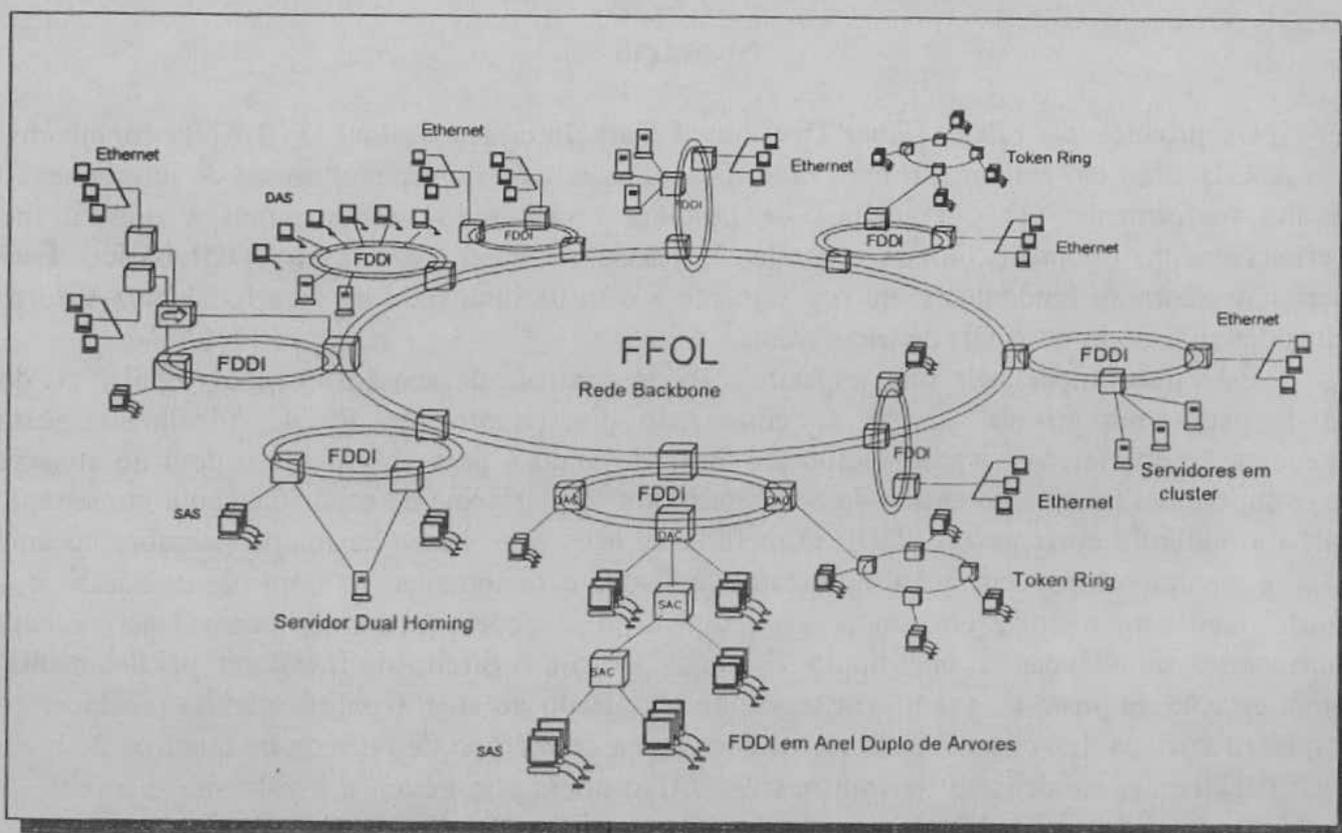
Este trabalho delinea uma especificação de controle de acesso ao meio, similar ao do FDDI, para emprego no serviço de comutação por pacotes do FFOL. Idealmente, esta especificação aperfeiçoa a vazão efetiva da rede, elevando-a para valores da ordem de até três vezes superiores àqueles do enlace de banda passante. A estratégia de especificação é consistente com a arquitetura corrente do FDDI. O método de acesso de token de tempo passante no anel FDDI é mantido. A especificação, no entanto, adiciona características ao controle de acesso que transformam este método em um acesso paralelo a partições lógicas do meio físico e com transmissões simultâneas no anel duplo. Estações ganham o direito de transmitir paralelamente, com a estação de posse do token, em segmento não usado do anel. Confirmação de recebimento de quadro enviada de volta no anel oposto e mudança do método de retirada de quadros do meio físico habilitam o paralelismo de transmissões. Algoritmos que geram e escalonam o direito de acesso paralelo são analisados.

## 1. Introdução

Conforme o número de pontos de enlace FDDI se amplia no mercado, aumenta a cada dia a necessidade de se dispor de uma rede de área local de maior performance para interconectar anéis FDDI de 100 megabits por segundo. Recentemente, o ANSI, através do seu comitê X3T9.5, deu início aos trabalhos de desenvolvimento de requisitos do conjunto de projetos que constituirão o FFOL (Fiber Distributed Data Interface Follow-On LAN), com expectativas de conclusão do processo inicial de padronização por volta de 1995. O FFOL tenderá a ser construído com base na arquitetura corrente do FDDI. Versões superiores escaláveis do FDDI

poderão prover taxas de transferência de dados bem mais elevadas do que os atuais 100 megabits por segundo. Desta forma, características do protocolo FDDI possivelmente poderão ser implementadas no método de acesso do FFOL. Se existe uma previsão para que o padrão PMD (Physical Layer Medium Dependent) do FFOL suporte taxas da ordem de 1 gigabit por segundo, um fator elevado de utilização da rede de até 3 gigabits pode ser alcançado com o aperfeiçoamento do protocolo de controle de acesso ao meio (MAC) do FDDI.

O FFOL será usado como uma rede de área local para servir de rede **backbone** de interconexão de múltiplas redes FDDI. Uma possível especificação do MAC do FFOL poderá ser a do uso do método de acesso **timed-token ring** para se implementar os serviços exigidos. A topologia sugerida é a de uma rede **backbone** de anel duplo FDDI escalada para altas taxas de transferência com nós de dupla junção ligando as redes FDDI de 100 megabits por segundo. Estes nós FFOL são concentradores/roteadores inteligentes como mostra a Figura 1. A **backbone** FFOL suporta o tráfego agregado de múltiplas redes FDDI.



**Figura 1:** FFOL como Rede Backbone para Múltiplas Redes FDDI

Este trabalho esboça uma especificação para o protocolo de controle de acesso ao meio do serviço de comutação por pacotes do FFOL. Este MAC é um aperfeiçoamento do protocolo MAC do FDDI básico.

As principais contribuições estão na modelagem da camada MAC para uma operação no anel duplo com transmissão paralela em segmentos de anéis particionados logicamente e com transmissões simultâneas nos dois anéis. Uma consistência com o padrão FDDI corrente é uma importante decisão de projeto que pode simplificar o processo de padronização. Em [1,4], este

MAC foi especificado para um protocolo FDDI aperfeiçoado, usando um modelo formal denominado *Systems of Communicating Machines*.

A seção seguinte, apresenta a descrição do protocolo MAC, incluindo a estrutura MAC e formatos de quadros. Na seção 3, o protocolo de Acesso Paralelo Controlado por Token de Tempo é apresentado. Algoritmos para gerar e escalonar nos anéis o direito de transmissão paralelo em segmento lógico particionado são analisados. A retirada (**stripping**) de quadros do meio físico pelas estações de destino bem como mudanças de configuração da rede são analisadas. A seção 4 conclui o trabalho.

## 2 Descrição do Protocolo

Embora o protocolo de controle de acesso ao meio (MAC) descrito neste trabalho seja diferente do FDDI original quanto à utilização do meio físico, as características de operação são as mesmas em ambos os protocolos, principalmente as características **timed-token** do FDDI. As estações esperam por um token passante no anel para transmitir seus dados deterministicamente. Elas concordam na escolha do tempo alvo para a rotação do token. Os timers tempo de rotação do token (TRT), tempo de posse do token (THT) e os contadores funcionam, neste protocolo MAC FFOL sugerido, da mesma maneira que no FDDI. Também, os processos de reclame do token, inicialização do anel e beacon, característicos do protocolo FDDI, neste protocolo sugerido não sofrem alterações. O escalonamento do anel para este protocolo suporta o serviço de pacotes do FDDI original.

Na realidade, uma diferença chave entre os dois protocolos encontra-se no emprego, por parte deste protocolo FFOL, de uma segunda Unidade de Dados de Protocolo (UDP) de controle de acesso denominada de **subtoken**. Esta UDP dá direito a outra estação para transmitir paralelamente em segmento de anel logicamente particionado. Adicionalmente, o uso do segundo anel efetivamente ativo, realizando transmissões simultâneas com o primeiro anel, diferencia este método daquele usado pelo FDDI original. Estas características, aumentam potencialmente a vazão total da rede para um máximo valor que, idealmente, pode atingir até tres vezes o valor da largura de banda de enlace. Se o MAC do FFOL proposto pelo ANSI X3T9.5 está sendo projetado para permitir enlaces de até 1 gigabit por segundo, valores da ordem de 2 a 3 gigabits de vazão na rede poderão ser alcançados com o emprego deste método aperfeiçoado no serviço de comutação por pacotes suportado pelo protocolo.

### 2.1 A Organização MAC/PHY

O alcance de uma alta vazão total da rede é essencialmente baseado no uso simultâneo dos dois anéis, empregando-se uma estrutura específica para as camadas MAC/PHY. Para se alcançar uma alta performance com o uso simultâneo de ambos os anéis, um protocolo FDDI exige modificações na sua corrente estrutura de relacionamento entre entidades locais MAC/PHY do anel tronco FDDI. No FDDI, um MAC de uma estação colocado em um determinado anel não é permitido comunicar-se com um MAC colocado no outro anel. Além disto, a sincronização dos dois anéis em altas taxas de transmissão torna-se um problema desafiante para se resolver em uma implementação FDDI que pretende usar um MAC duplo em uma operação de transmissão simultânea nos dois anéis.

A solução proposta para uma operação no duplo anel é utilizar uma estrutura que emprega uma relação MAC-Único-PHY-Duplo. A Figura 2 ilustra esta estrutura. A figura mostra um MAC único para controlar os serviços providos por ambas as camadas físicas locais. Esta estrutura exige dispositivos nos anéis tronco com interfaces de rede de dupla conexão (Dual Attach), empregando um MAC único.

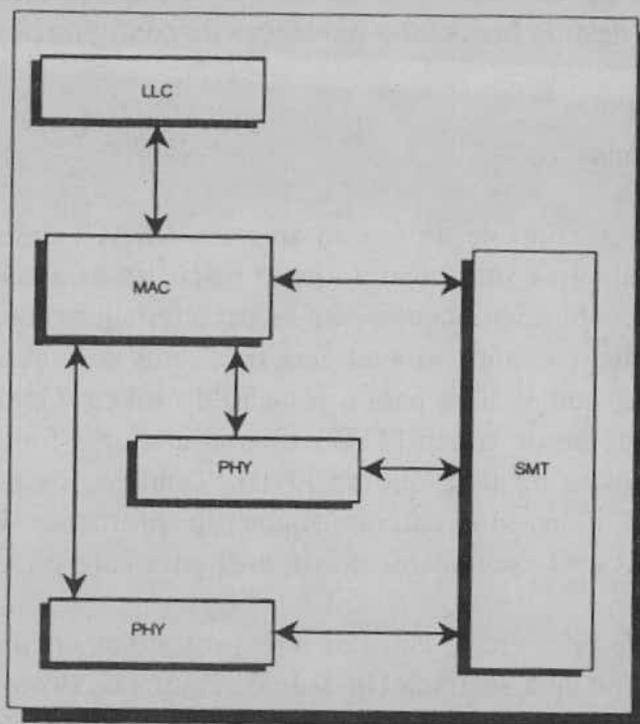


Figura 2: Estrutura das Entidades Locais do FFOl MAC-Único-PHY-Duplo)

Uma organização em MAC-Único-PHY-Duplo, sem dúvida, acrescenta um grau de complexidade em virtude do estrito controle de transmissões simultâneas em dois meios físicos. Entretanto, os benefícios poderão claramente superar os custos advindos desta complexidade. Uma vantagem de um MAC único para controlar as operações em ambos os anéis é o aperfeiçoamento da conectividade ponto-ponto em mudanças de configurações de anéis. Em [6] Strohl analisa dois casos problemáticos para que uma estação FDDI com MAC duplo assegure a conectividade se ambos os anéis são usados para transmissão de dados. O problema está na determinação do MAC correto para se manter as comunicações nas mudanças de configurações (WRAP para THRU e THRU para WRAP). Os dois casos são:

- ♦ O anel encontra-se na condição WRAP e duas estações estabelecem uma conexão. Em seguida, a configuração muda para THRU. Os MAC conectados não podem mais comunicar-se entre si, pois eles agora encontram-se em anéis distintos. O problema diz respeito à determinação de colocações de MAC de uma estação em que ocorreu a união dos anéis (wrapped station) quando a configuração muda para THRU de maneira que se escolha o MAC correto para se manter as comunicações.
- ♦ O anel encontra-se na condição THRU e duas estações estabelecem uma conexão. Em seguida, uma destas estações une os anéis, porém com um dos MAC conectados fora do caminho único resultante da união dos dois anéis. Isto quebra o caminho de comunicação.

Com uma estrutura MAC-Único-PHY-Duplo estes problemas deixam de existir porque se uma mudança de configuração ocorrer na rede, este MAC continua no caminho para permitir a conexão de estações. Portanto, Esta estrutura MAC/PHY melhora a conexão ponto a ponto em meio a mudanças de configurações da rede. Nestes casos, a conectividade nunca deixa de existir com um MAC único controlando o acesso a ambos os anéis.

## 2.2 Mudanças no Protocolo FDDI Original

Para permitir um acesso paralelo ao meio físico e uso simultâneo de ambos os anéis, duas mudanças básicas são implementadas no FDDI original. A primeira mudança é o estabelecimento de partições logicamente disjuntas e dinâmicas nos dois anéis. Como resultado destas partições, uma mudança no método de retirada de quadros dos anéis torna-se necessária.

Neste protocolo aperfeiçoado, três segmentos logicamente disjuntos particionam o meio físico. A Figura 3 ilustra estas partições. Três dispositivos no anel formam os vértices que unem os três segmentos. Estes dispositivos podem ser estações, concentradores ou roteadores com interface de dupla conexão que suporte este protocolo FDDI aperfeiçoado. Um dispositivo é a estação de posse do token (Token Holding Station -THS), que o capturou. Haverá apenas um token circulando nesta rede de anel duplo.

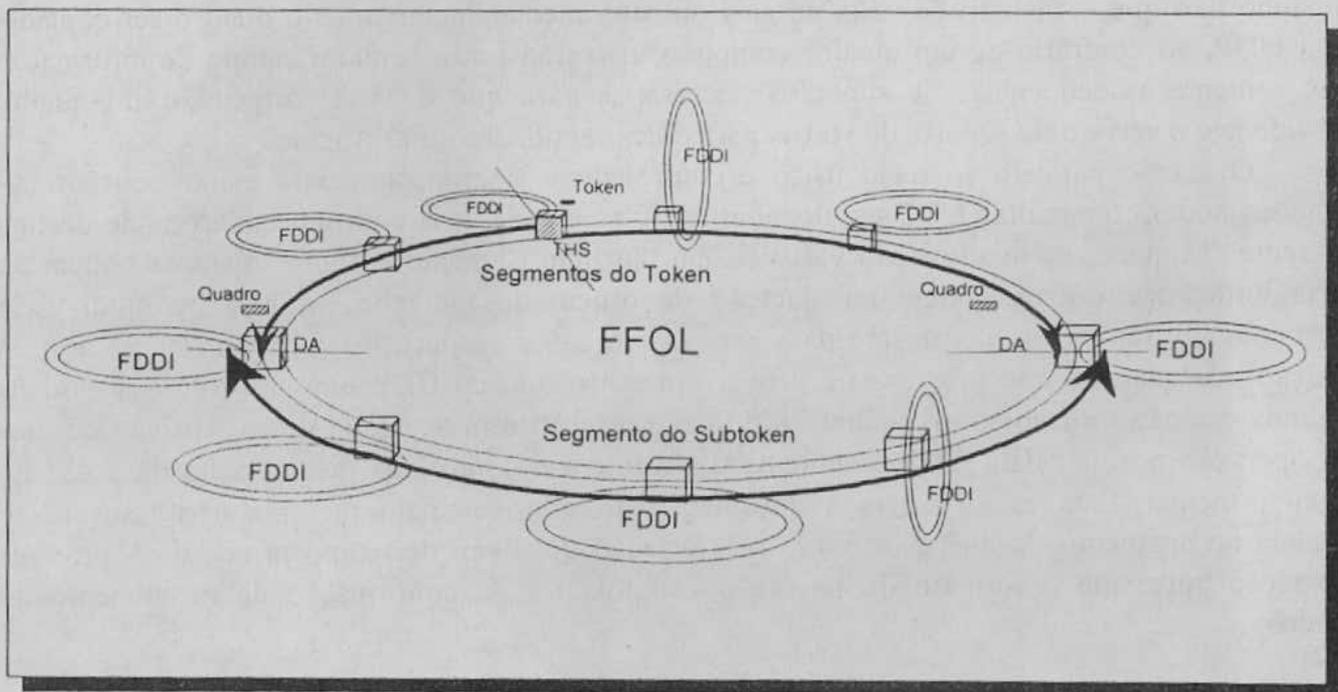


Figura 3: Partições Disjuntas Lógicas do Meio Físico FFOL

A estação de posse do token estabelece as partições do anel duplo pela transmissão de quadros simultaneamente em ambos os anéis em direções opostas. Os endereços de destino (DA) contidos em cada um dos dois quadros estabelecem os outros dois vértices nos anéis particionados. O segmento dos anéis não coberto pelas transmissões da estação de posse do token pode ser usado por uma segunda estação para transmitir os seus dados paralelamente com aquela estação. Portanto, duas estações podem acessar partes diferentes do meio físico ao mesmo tempo.

O uso paralelo do meio físico requer mudanças no método de retirada de quadros do anel e na confirmação de quadro recebido. Tradicionalmente, no protocolo IEEE 802.5 Token Ring e no FDDI, todos os quadros realizam uma rotação completa no anel e são então removidos por seus originadores. A vantagem deste procedimento é a simplicidade. A desvantagem é o uso ineficiente de recursos. Mesmo após ter sido copiado pela estação de destino, o quadro é repetido de nó para nó em todo o caminho até encontrar o seu originador. Em média, metade do tempo de transmissão é usado para repetição de quadro de nó para nó, após o nó DA ter copiado o quadro. A alocação de um segundo anel ligando interfaces com uma segunda unidade de controle de acesso ao meio (MAC) que permanece não usado durante a operação normal, agrava ainda mais esta situação de uso ineficiente de recursos. Em contraste com esta situação, no protocolo aperfeiçoado, com a excessão de quadros MAC, que necessitam do anel completo para realizarem os processos de Inicialização do Anel, Reclame de Token e Beacon, os outros quadros não são repetidos no anel em todo o caminho até o seu originador. Ao invés disto, estes quadros são removidos pelas estações de endereço de destino. Este procedimento permite o uso de um segmento livre do anel para ser usado por qualquer estação, que esteja dentro dos limites deste segmento, paralelamente com a estação principal de posse do token. A confirmação de recebimento do quadro é enviada, no anel oposto, pela estação de endereço de destino, em um segmento que não está sendo usado. Em contraste com a confirmação de recebimento embutida no quadro FDDI original, que é repetido anel abaixo até completar o ciclo e alcançar o originador do quadro, o novo MAC emprega uma pequena Unidade de Dados de Protocolo (UDP) de tamanho fixo que é enviado de volta no anel oposto, imediatamente após o quadro ser copiado. Esta UDP, ao contrário de um quadro completo, não transporta nenhum campo de informação mas somente as sequências de símbolos necessárias para que o MAC originador do quadro providencie o serviço de reporte de **status** para outras entidades do protocolo.

O acesso paralelo ao meio físico é controlado e sincronizado para evitar colisões. As estações podem ter muitas UDP escalonadas em filas e cada uma com um endereço de destino diferente. Também, os quadros são variáveis em tamanho (duração). Alguns quadros podem ter curta duração e outros podem ter duração da ordem do tamanho máximo permitido pelo protocolo. Portanto, um mecanismo para gerenciar o uso de espaço e tempo será necessário. A solução adotada por este protocolo é prover um outro tipo de UDP que controle o acesso da segunda estação transmissora enquanto a primeira estação está acessando uma partição do anel em operação normal. Esta UDP, denominada **subtoken** é controlada pela estação de posse do token principal. Esta estação gera a informação de subtoken para possibilitar a transmissão paralela no segmento do anel não usado pela estação do token de tempo principal. A próxima sub-seção apresenta o formato do pacote do subtoken e da confirmação de recebimento do quadro.

### 2.3 *Formatos das Unidades de Dados de Protocolo (UDP)*

Em adição aos formatos de quadros e token usados no FDDI original, este protocolo acrescenta dois outros formatos de UDP de tamanho fixo: o do subtoken e o da confirmação de recebimento do quadro. O propósito do subtoken é dar as estações o direito de transmitir no segmento não usado do anel. Portanto, o subtoken contém campos que estabelecem limites físicos para transmissão no anel. O seu formato, também inclui um campo que indica a máxima duração

permitida para que um ou mais quadros sejam transmitidos paralelamente com o quadro da estação de posse do token principal.

A confirmação é uma UDP de tamanho fixo e curta duração que retorna no outro anel em direção oposta à do quadro de dados. A confirmação é enviada após o receptor MAC, no anel cujo quadro está chegando, copiar este quadro no seu **buffer** de entrada.

A Figura 4 mostra o formato do subtoken. A sequência de início (campos PA e SD) é a mesma da sequência de quadro ou token. Os símbolos aparecem logo abaixo de cada campo. O símbolo "n" representa um quarteto de dados. Os campos subseqüentes são definidos a seguir:

- ♦ Frame Control (FC) - consiste de oito bits (dois quartetos de dados) especificados pelo seguinte formato de bits: CLFF ZZZZ, aonde para o subtoken estes podem ser definidos como 1111 0000.
- ♦ Start Limit (SL) - consiste de quatro ou 12 símbolos de quartetos de dados para indicar o endereço da estação aonde o subtoken começa a ser válido para uso.
- ♦ Ending Limit (EL) - consiste de quatro ou 12 símbolos de quartetos de dados para indicar o endereço da estação aonde o subtoken termina sua validade de uso.
- ♦ Frame Class (CLASS) - consiste de dois símbolos de quartetos de dados para especificar uma fronteira superior para o tamanho do quadro a ser enviado pela estação que está de posse do subtoken.
- ♦ Ending Delimiter (ED) - mesmo que no token; consiste de um par de símbolos (T) para indicar o fim do subtoken. Este campo é necessário para se prover um critério de aceitação de um subtoken válido. Durante a recepção do subtoken, o campo ED deve ser atingido antes de um subtoken ser aceito.

PA	SD	FC	SL	EL	CLASS	ED
$I_1 \dots I_{max}$	J   K	CLFF   ZZZZ n   n	4n or 12n	4n or 12n	2n	TT

**Figura 4:** Formato do Subtoken

Iniciando com o endereço contido no campo de limite inicial (SL), o subtoken é capturado ou passado adiante de estação em estação anel abaixo até ele alcançar a estação cujo endereço corresponde ao seu término de limite (EL). Se a estação de término de limite do subtoken não usar o subtoken então esta estação remove-o do anel.

Este protocolo emprega o campo CLASS no subtoken para prover informação a ser empregada em escalonamento do segmento particionado do anel. Classes representam tempo de duração de quadros. A Figura 5 mostra a formação de classes. Conforme ilustrado na figura, classes podem ser representadas por uma função degrau ou uma função amostra-discreta de tamanho de quadros.

Na representação degrau da Figura 5, 10 classes, iniciando a partir de zero até nove, são mapeadas para intervalos de tamanhos de quadros em múltiplos de 500 octetos de zero até o máximo tamanho de quadro de 4500 octetos. A terceira classe,  $C_2$ , neste exemplo, corresponde a

um determinado número de símbolos calculados para o intervalo (500, 1000] de octetos. Se uma formação de classes em degrau for adotada o número de classes pode ser definida pelo implementador. Neste caso, a granularidade de classes pode ser função de várias variáveis; entre estas, o tamanho dos arquivos usados na aplicação para a rede FFOL. No caso amostra-discreta, existem virtualmente tantas classes quanto os tamanhos discretos dos quadros; Entretanto, para quadros de curta duração é razoável considerar um caso específico de mapeamento para uma classe de duração zero porque estes quadros, por serem pequenos demais, não servem para uso no processo de acesso paralelo.

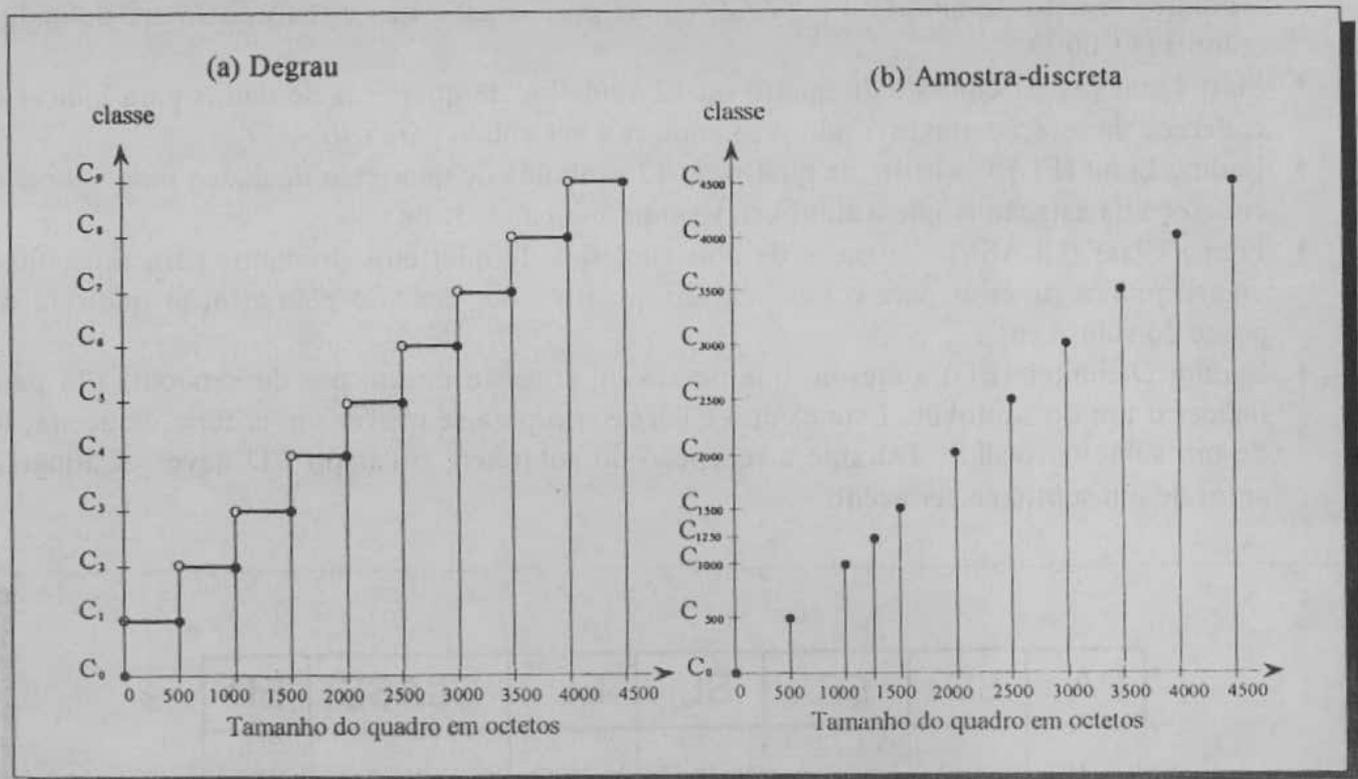


Figura 5: Classes como Função Degrau e Amostra-Discreta do Tamanho do Quadro

As classes são medidas em quantidade de símbolos enviados numa razão de transferência de dados da rede. A quantidade de símbolos para cada classe deve ser determinada para a rede com o propósito de assegurar uma adequada transmissão de dados paralelamente no anel.

A estação de posse do token principal estabelece a classe do subtoken de acordo com o tamanho dos dois quadros que são transmitidos simultaneamente. A estação de posse do token designa uma classe do quadro do subtoken que corresponde a um intervalo de tamanho de quadro calculado pelo MAC da estação e baseado em ambos os quadros escalonados em filas para transmissão. Na próxima sub-seção, são discutidos procedimentos geradores de classes para a vida do subtoken. A estação que usa o subtoken pode transmitir um ou mais quadros durante a extensão da classe do quadro recebido.

Qualquer estação cujo endereço esteja dentro dos limites de um subtoken em particular pode ganhar o direito de transmitir quadros pela captura deste subtoken. Entretanto, isto apenas poderá ocorrer sob as seguintes condições:

- ♦ A estação candidata pode apenas transmitir quadros endereçados a estações que se encontrem fisicamente dentro dos limites estabelecidos pelos campos SL e EL daquele subtoken em particular.
- ♦ A estação candidata pode apenas transmitir quadros cujo tamanho tenham a fronteira superior delimitada pela classe do quadro definido pelo campo CLASS daquele subtoken em particular.

Estas condições evitam colisões e permitem o uso concorrente e controlado das anéis logicamente particionados.

A Figura 6 mostra o formato da confirmação de recebimento do quadro. A confirmação segue o mesmo padrão de formato de um quadro no protocolo FDDI original, exceto que os campos INFO e FCS neste caso não aparecem. O endereço de destino (DA), no formato da confirmação, corresponde ao endereço do originador do quadro, ou seja, ao da estação de posse do token principal; e o endereço de origem (SA) corresponde ao da estação que está enviando a confirmação de recebimento do quadro.

Os campos de delimitador de fim de quadro (ED) e de status de quadro (FS) são os mesmos que os contidos em um quadro qualquer; entretanto, o campo FS contido na confirmação, que é de tamanho fixo, consiste exatamente dos três símbolos indicadores de controle: erro detectado (FS.E), endereço reconhecido (FS.A) e quadro copiado (FS.C). Não existe nenhum símbolo de terminação "T" após os símbolos de campo FS porque um símbolo "T" do campo ED somado com três indicadores de controle do campo FS formam uma sequência de pares de símbolos requeridos pelo padrão MAC do FDDI.

PA	SD	FC	DA	SA	ED	FS
$I_1 \dots I_{max}$	J   K	CLFF   ZZZZ n   n	4n or 12n	4n or 12n	T	E   A   C 3 S/R

Figura 6: Formato da Confirmação de Recebimento de Quadro

Diferentemente do protocolo FDDI original que envia a confirmação anel abaixo embutida no quadro que é retransmitido de estação em estação até que este atinja o seu originador, no protocolo aperfeiçoado um procedimento diferente procura reduzir a propagação de quadro. No protocolo original, a estação receptora compara o campo DA com o seu próprio endereço, copia o quadro e envia a confirmação de recebimento dentro do quadro no anel primário. No protocolo aqui descrito, após a estação receptora varrer o campo de endereço de destino recebido (DA<sub>r</sub>) e um casamento com seu próprio endereço ocorrer, ela remove o quadro do anel primário conforme ele vai sendo copiado para sua entidade local. Após o quadro ser recebido e copiado, a estação transmite uma confirmação de recebimento de volta para o originador no anel oposto. Este procedimento evita a propagação do quadro por todo o anel e libera um segmento de ambos os meios físicos para que as estações candidatas possam usar o subtoken naquela partição lógica.

## 3 O Protocolo de Acesso Paralelo Controlado por Token de Tempo em Anel

O formato das unidades de dados de protocolo adicionais foram descritos. De posse desta informação, esta seção apresenta uma descrição mais detalhada de como o acesso paralelo com transmissões simultâneas nos dois anéis pode ser alcançado neste protocolo.

A estação de posse do token principal é responsável por prover a informação necessária para permitir que os MAC de outras estações trabalhem cooperativamente no anel duplo. Isto é alcançado da seguinte forma. Assuma que nesta estação exista tráfego escalonado em filas para transmissão; por exemplo, tráfego síncrono em filas S-queue. O tráfego é distribuído para transmissão entre os dois meios físicos usando-se um algoritmo de carregamento balanceado para aperfeiçoar a eficiência. Existem duas filas para este serviço; uma para cada anel. As unidades de dados de serviço (UDS) são colocadas nos quadros enfileirados para transmissão. O processo se inicia quando um token passante no anel é capturado por uma estação como no protocolo FDDI original.

A Figura 7 ilustra o processo em que uma estação captura o token e realiza transmissão simultânea nos dois anéis. A representação lógica é a de um único MAC controlando quatro máquinas comunicantes: dois transmissores (T) e dois receptores (R) simétricos, com um de cada por anel. O MAC da estação candidata a transmitir quadros captura o token que chega no receptor R do anel primário. A estação inicia a transmissão de dois quadros das cabeças das duas filas prontas simultaneamente nos dois anéis. Um destes quadros será portador de informação adicional que permitirá a formação do subtoken como uma UDP separada. Este quadro será o quadro com subtoken. O outro quadro é transmitido simultaneamente na direção oposta sem a informação de subtoken.

A Figura 8 ilustra a formação do conteúdo do subtoken. Os dois tipos de quadros são sumarizados a seguir:

- ♦ Quadro com subtoken - emitido apenas pela estação de posse do token. Ele leva a informação de subtoken e a Unidade de Dados de Serviço. Quando o protocolo configura a rede para o modo WRAP a estação de posse do token não emite quadros com subtoken.
- ♦ Quadro sem subtoken - emitido ou pela estação de posse do token ou pela estação de posse do subtoken. Este quadro é idêntico em formato ao quadro usado no FDDI original.

O Transmissor MAC encarregado de criar o quadro com subtoken insere o endereço de destino (DA) copiado do quadro sem subtoken, que está em fila pronta do outro anel, nos primeiros oito ou 12 símbolos do campo INFO do quadro com subtoken. Este campo DA do quadro sem subtoken será a informação de endereço limite de término (EL) do subtoken no formato desta UDP. Adicionalmente, o transmissor inserirá imediatamente após estes símbolos, a duração medida em unidades de tempo de transmissão de símbolos a 100 Megabits por segundo, correspondente ao tempo que a estação será permitida transmitir paralelamente quando ela usar o direito de acesso por subtoken. Esta duração corresponderá ao valor da classe (CLASS) no formato do subtoken.

O quadro com subtoken, uma vez alcançando o endereço da estação de destino (DA), habilita o uso do subtoken por esta estação e, caso ela não faça uso do direito de acesso, este direito é imediatamente passado adiante para a estação seguinte. Este procedimento de passagem de acesso pela sua não utilização é repetido por todas as estações no segmento particionado até que o subtoken atinja o seu limite de término e seja, neste limite, retirado do anel pela estação que

possui este endereço. Portanto, o endereço contido no campo DA do quadro com subtoken corresponderá ao campo SL de limite de início de validade no formato do subtoken e o campo DA do quadro sem subtoken será o correspondente ao campo EL do término de validade.

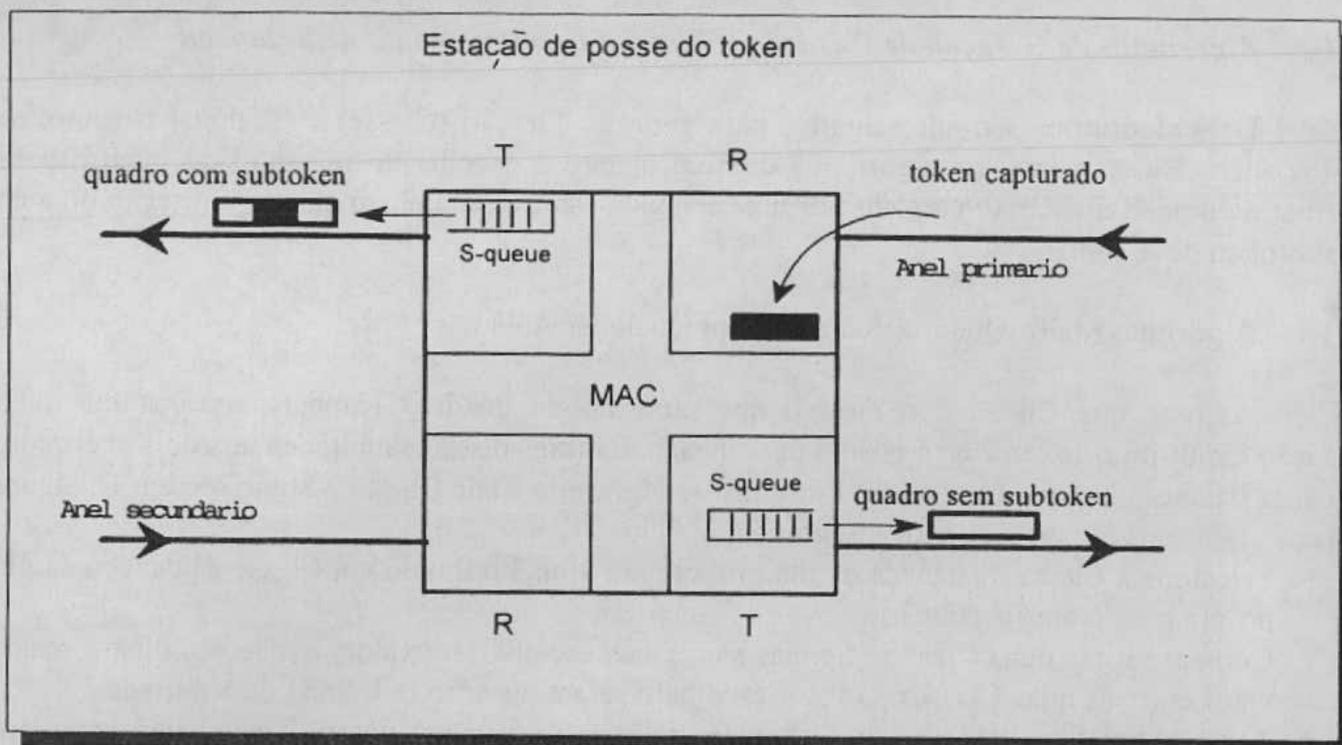


Figura 7: Transmissões Simultâneas nos Dois Anéis pela Estação de Posse do Token

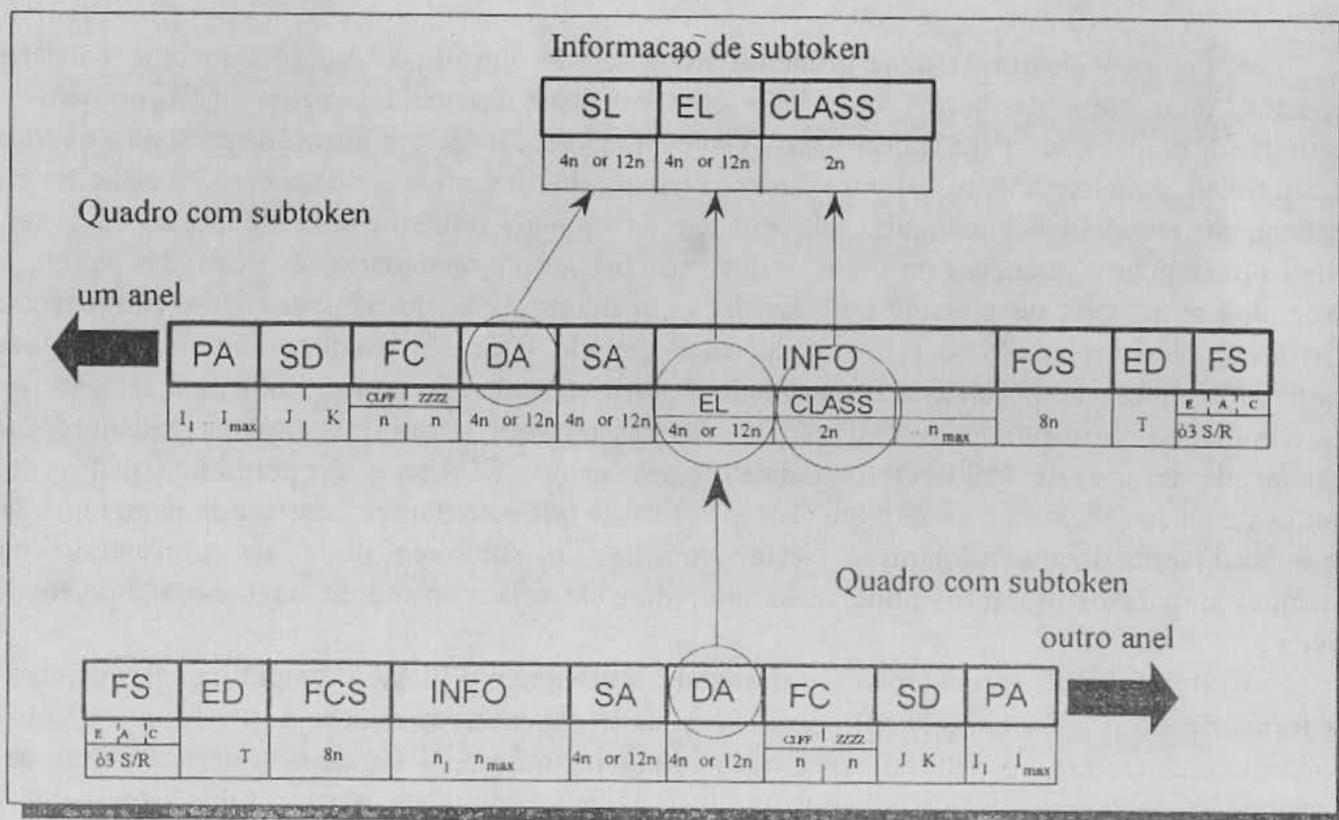


Figura 8: Formação dos Campos do Subtoken

Diferentes políticas de geração e escalonamento do subtoken para os anéis podem ser apresentadas. Na próxima seção dois simples algoritmos são descritos como alternativas neste contexto.

## 3.1 Algoritmos de Geração de Duração (Classe) e Escalonamento de Subtoken

Dois algoritmos são apresentados para gerar a duração (Classe) e escalonar o subtoken pelos anéis. Basicamente, os algoritmos diferem quanto à escolha do tamanho do quadro para formar a duração do acesso paralelo por uma segunda estação e também quanto à direção ou anel o subtoken deve tomar.

### 3.1.1 Algoritmo Maior Quadro, Subtoken em Qualquer Anel

Assuma que Classe é o mesmo que tamanho de quadro. Também, assumo que uma estação capturou o token e está pronta para iniciar sua transmissão simultânea nos dois anéis com a carga balanceada em ambas as filas prontas. O algoritmo Maior Quadro, Subtoken em Qualquer direção tem seus passos descritos a seguir.

- ♦ Selecione a Classe da cabeça da fila pronta para o anel primário e a Classe da cabeça da fila pronta para o anel secundário.
- ♦ Compare estas duas Classes. Se elas são iguais escolha este valor; Senão, escolha o maior valor entre as duas Classes. O valor escolhido será a duração (CLASS) do subtoken.
- ♦ Após completar a transmissão do quadro retorne ao primeiro passo. Repita o processo até que a estação complete sua transmissão e/ou a alocação da largura de banda para as transmissões desta estação termine ou o THT expire.

A Figura 9 ilustra as duas primeiras iterações do algoritmo. A figura mostra, na parte superior, uma carta de barras que representa quadros distribuídos pelos anéis primário e secundário, enfileirados para transmissão. Também, a carta mostra a duração resultante da vida do subtoken. Adicionalmente, a figura mostra uma arquitetura em anel duplo com 20 estações e a transmissão simultânea conduzida pela estação de número um, que está de posse do token. Quatro passagens seqüenciais da situação dos anéis primário e secundário são ilustradas na figura. Exemplos numéricos de tamanhos de quadros em octetos são apresentados para enriquecer a ilustração. Neste exemplo, o primeiro subtoken gerado pode ser usado por qualquer estação dentro dos limites, começando a sua validade a partir do endereço correspondente à estação três até o endereço correspondente à estação 15. As transmissões, para este subtoken, podem ter um máximo de duração de 1500 octetos indicados pelo campo CLASS e são permitidas dentro dos limites de início (SL = 3) e de término (EL = 15). Note que esta duração corresponde ao tamanho do quadro na fila do anel primário. Neste algoritmo o subtoken pode ser transmitido em qualquer direção; entretanto, pode-se assumir que ele seja transmitido na mesma direção do token.

Como os quadros têm tamanhos desiguais, um segmento (neste exemplo o anel secundário na formação do primeiro subtoken) completará sua transmissão de quadro antes do que o outro. Consequentemente, para reiniciar nova transmissão simultânea, o segmento que completou sua transmissão de quadro espera até que o outro também complete a sua. Após isto, ambos

reiniciarão nova transmissão simultânea. Note que durante o segundo subtoken, quem termina primeiro a transmissão, e desta vez espera, é o anel primário.

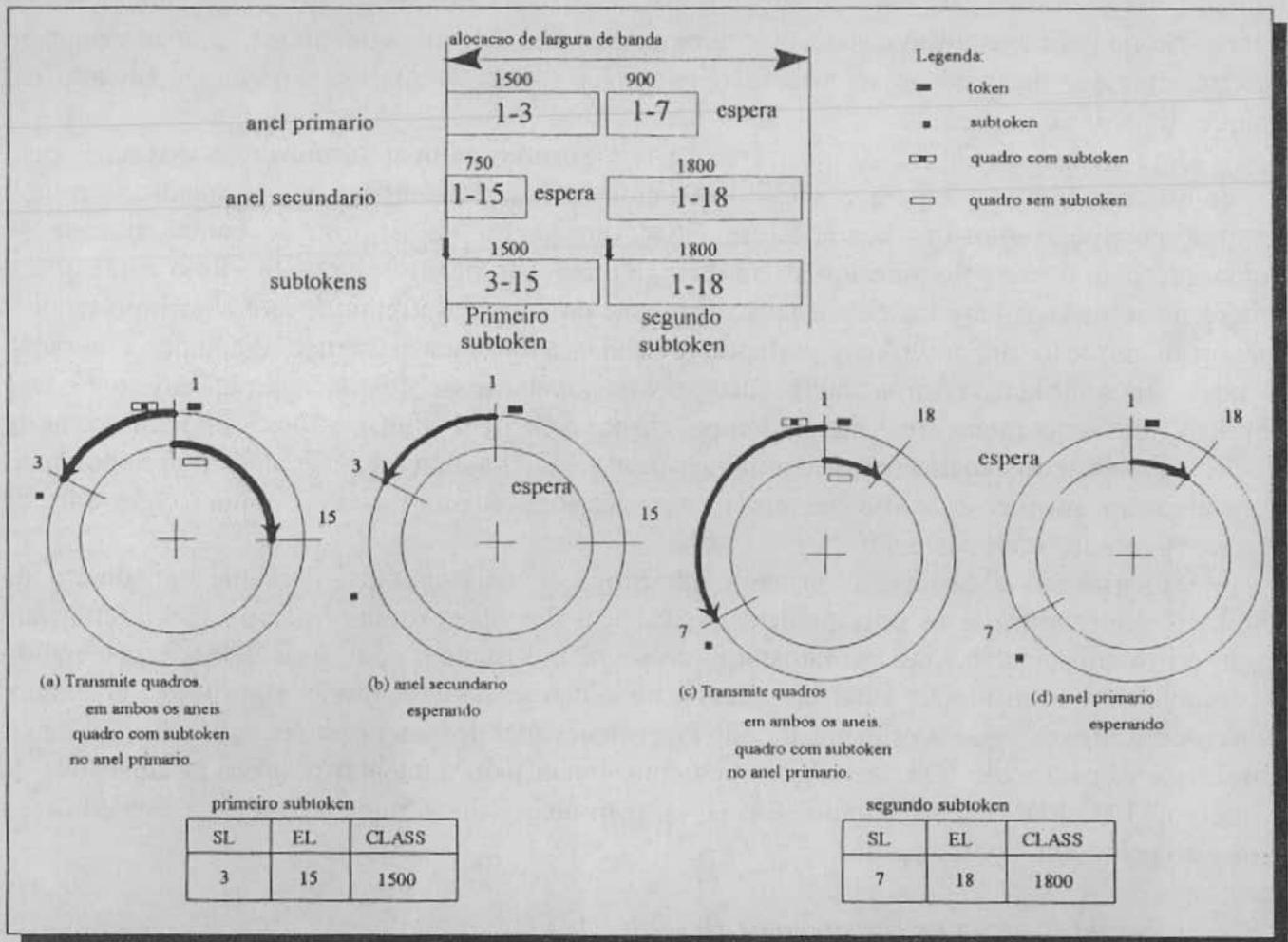


Figura 9: Ilustração do Algoritmo Maior Quadro, Subtoken em Qualquer Anel

### 3.1.2 Algoritmo Menor Quadro, Subtoken no Anel de Término de Transmissão Mais Recente

Este algoritmo utiliza os dois anéis durante todo o tempo, ou seja não há espera por término de transmissão do anel oposto para iniciar transmissão simultânea de um novo quadro. Seus passos são assim descritos:

- ♦ Selecione a Classe da cabeça da fila pronta para o anel primário e a Classe da cabeça da fila pronta para o anel secundário.
- ♦ Compare estas últimas duas Classes. Se elas são iguais escolha este valor; Senão, escolha o menor valor entre as duas Classes. O valor escolhido será a duração (CLASS) do subtoken.
- ♦ Selecione o valor da diferença entre os tamanhos comparados e guarde-o como Última Classe.
- ♦ Selecione a Próxima Classe da cabeça da fila pronta para o anel que teve a Última Classe de menor valor e retorne ao segundo passo. Repita o processo até que a estação complete sua transmissão e/ou a alocação da largura de banda para as transmissões desta estação termine ou o THT expire.

A Figura 10 ilustra a aplicação deste algoritmo para os mesmos dados da figura 9. Neste algoritmo, a informação de subtoken é enviada no anel que terminou por último a transmissão do quadro. Uma exceção para esta condição é por ocasião da primeira transmissão simultânea de quadros ou quando existe um casamento de tamanhos de tal forma que ambos os anéis reiniciam suas transmissões de quadros ao mesmo tempo. Neste caso, o subtoken pode ser enviado em qualquer uma das direções.

Uma análise da Figura 10 mostra que este algoritmo aumenta a utilização dos anéis pelo fato de que um anel não espera o anel oposto completar a transmissão de seu quadro corrente. Como a ilustração mostra, existe, neste caso, um ganho na largura de banda alocada se comparado com o exemplo anterior. Além disto, a ilustração mostra que o algoritmo aumentou o número de subtokens gerados pela estação de posse do token. Entretanto, este algoritmo tende a diminuir a duração do subtoken, podendo invalidar subtokens para uso. Quando a duração calculada do subtoken se torna muito curta, a estação de posse do token pode não emitir este subtoken; conseqüentemente, algum tempo disponível para transmissões simultâneas neste terceiro segmento dos anéis pode deixar de ser usado. Adicionalmente, este algoritmo impõe mais sobrecarga ao protocolo como resultado das decisões e um provável número elevado de subtokens gerados com curta duração.

Sumarizando a análise, o primeiro algoritmo é mais simples, gera menor número de subtokens. Entretanto, se os dois quadros das cabeças das filas prontas em cada anel diferenciam um do outro substancialmente em tamanho, um segmento do anel pode ficar sem uso, esperando até completar a transmissão atual do quadro no outro anel. O segundo algoritmo gera maior número de subtokens que o primeiro e pode fazer maior uso dos anéis; entretanto, adiciona maior sobrecarga ao protocolo. Os dois algoritmos contribuem para aumentar a vazão de uma rede de protocolo MAC FDDI aperfeiçoado. Em [1,4], o primeiro algoritmo foi usado na especificação formal do protocolo aperfeiçoado.

### 3.2 Ações da Estação de Endereço de Destino (DA)

O MAC da estação correspondente ao endereço de destino (DA) do quadro é o responsável por várias ações no processo de acesso paralelo a partições lógicas disjuntas do anel. A primeira ação é que este MAC varre o conteúdo do campos do quadro que chega à estação e checka o campo de controle de quadro (FC) para verificar o tipo de UDP; note que neste protocolo, o campo FC é também usado para diferenciar os quadros que transportam informação de subtoken dos quadros que não a incluem. A segunda ação está no casamento do DA do quadro com o seu próprio endereço. Quando existe o casamento de endereços, a estação imediatamente copia o quadro para o seu **buffer** de recepção enquanto toma ações para remover este quadro do anel. Se o quadro contém a informação de subtoken, então a estação pode usar o subtoken ou não. No caso do uso do subtoken, a estação imediatamente inicia a transmissão de suas UDP no segmento do anel abaixo permitido pelo subtoken enquanto recebe os dados vindos da estação de posse do token no segmento anel acima. O mecanismo de tempo do acesso paralelo trabalha de tal forma que, em relação à estação de posse do subtoken, o tráfego no segmento anel abaixo termina antes do tráfego no segmento anel acima e já com a sua confirmação recebida de volta no anel oposto. Este escalonamento é possível através da informação da classe (duração do subtoken). Finalmente, caso o subtoken não possa ser usado, a estação imediatamente extrai a

informação de subtoken do quadro e emite o subtoken como uma UDP separada no segmento livre anel abaixo para ser usado por outra estação.

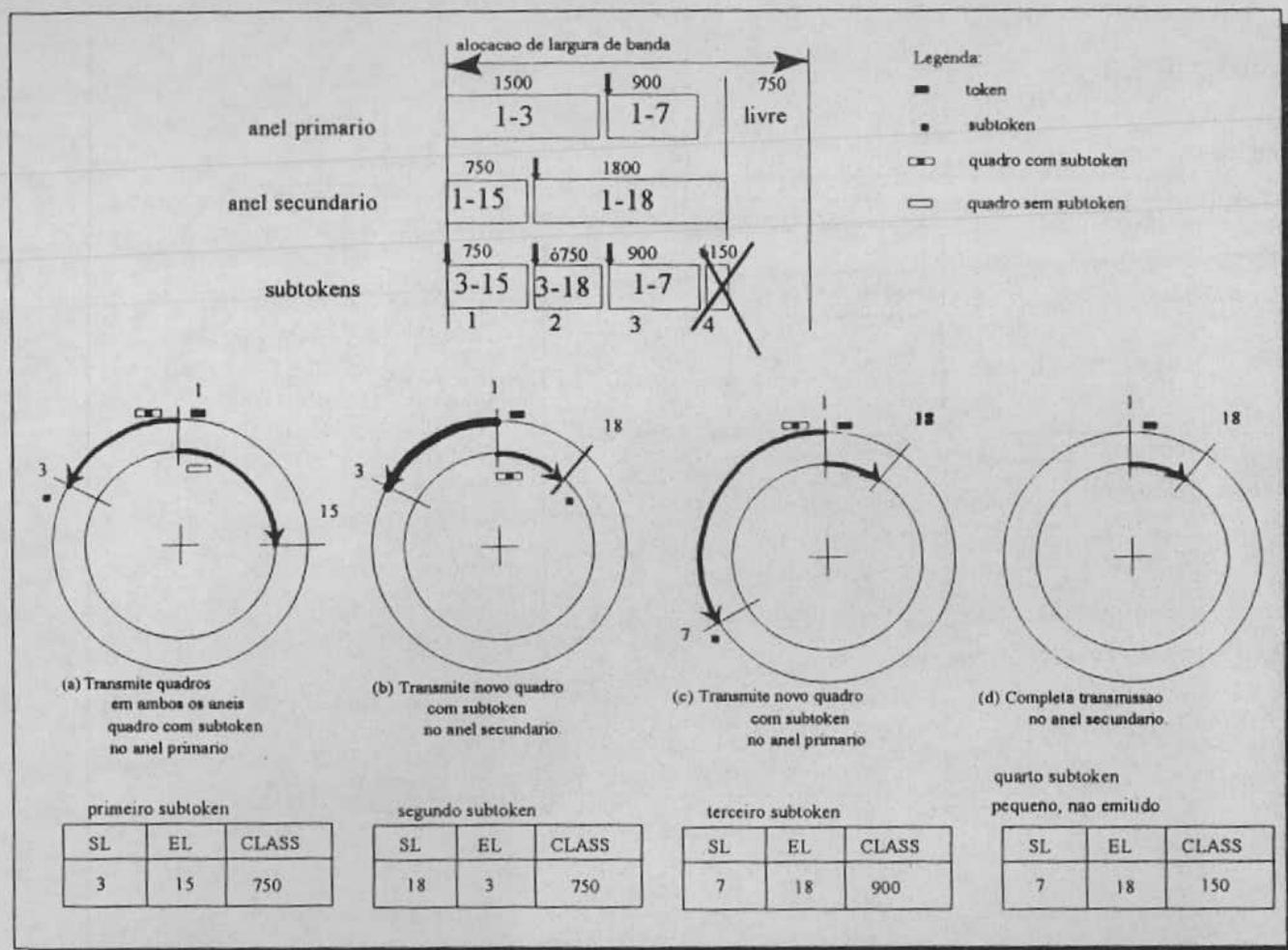


Figura 10: Algoritmo Menor Quadro, Subtoken no Anel Término de Transmissão mais Recente

As estações passam o subtoken se elas não podem usá-lo. O processo de passagem do subtoken continua até que ele alcance a última estação no segmento livre quando finalmente a estação neste endereço remove o subtoken do anel. Se o subtoken for usado por uma estação antes dele alcançar o limite de término, esta estação é responsável por removê-lo do anel, ou seja, o subtoken não é passado adiante por esta estação. O subtoken pode ser usado apenas uma vez.

A especificação completa para o protocolo aperfeiçoado do Receptor e Transmissor MAC FDDI pode ser encontrada em [1]. As Figuras 11, 12 e 13 são extratos daquela especificação como parte do diagrama de estado do Transmissor MAC. Estas figuras ilustrarão a descrição da operação do protocolo nos exemplos a serem discutidos. O Transmissor MAC completo é especificado em um conjunto de 11 diagramas apresentados em figuras separadas. No Diagrama 1 (Figura 11) o estado Idle é o estado inicial e indica a condição normal do meio. A transição *Tx Idle Symbols* corresponde à transmissão do campo Preâmbulo (PA) de uma UDP.

♦ Operação Normal no Anel Duplo - Remoção no Endereço de Destino (DA)

Para mostrar como a estação de endereço de destino remove um quadro que está sendo recebido do anel com um casamento de DA, um caminho único de transições deve ser encontrado

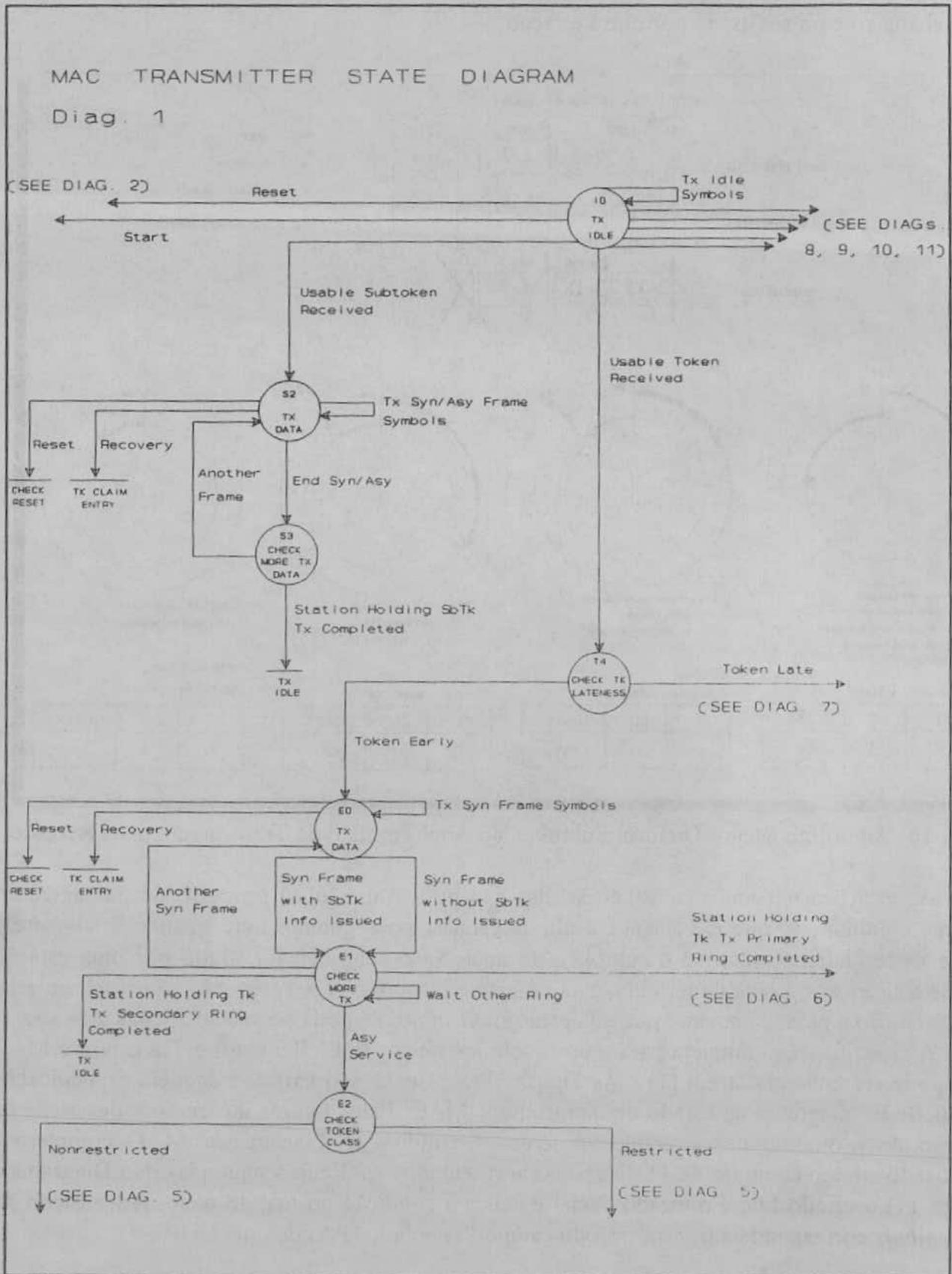


Figura 11: Diagrama 1 do Transmissor MAC

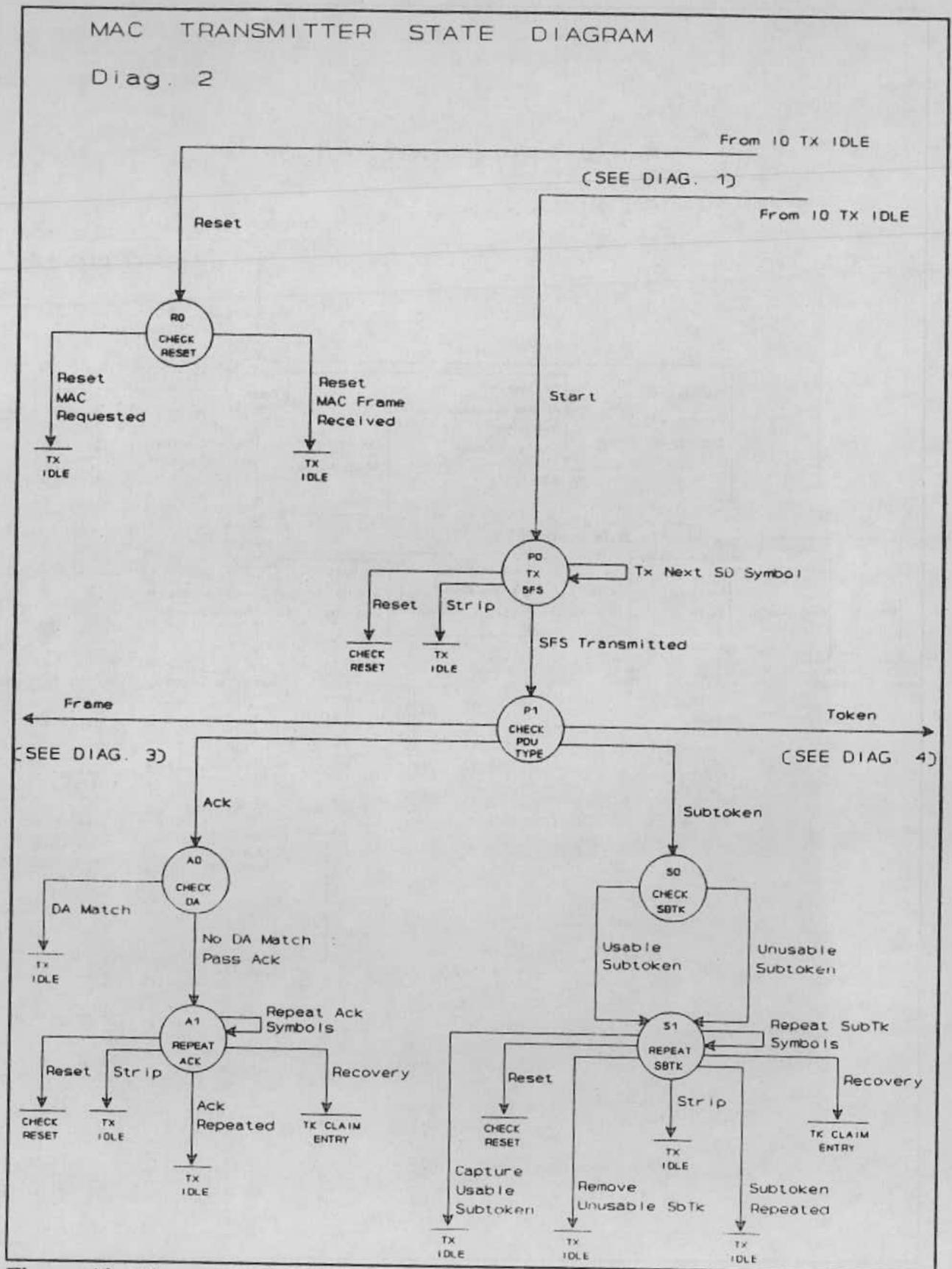


Figura 12: Diagrama 2 do Transmissor MAC

MAC TRANSMITTER STATE DIAGRAM

Diag. 3

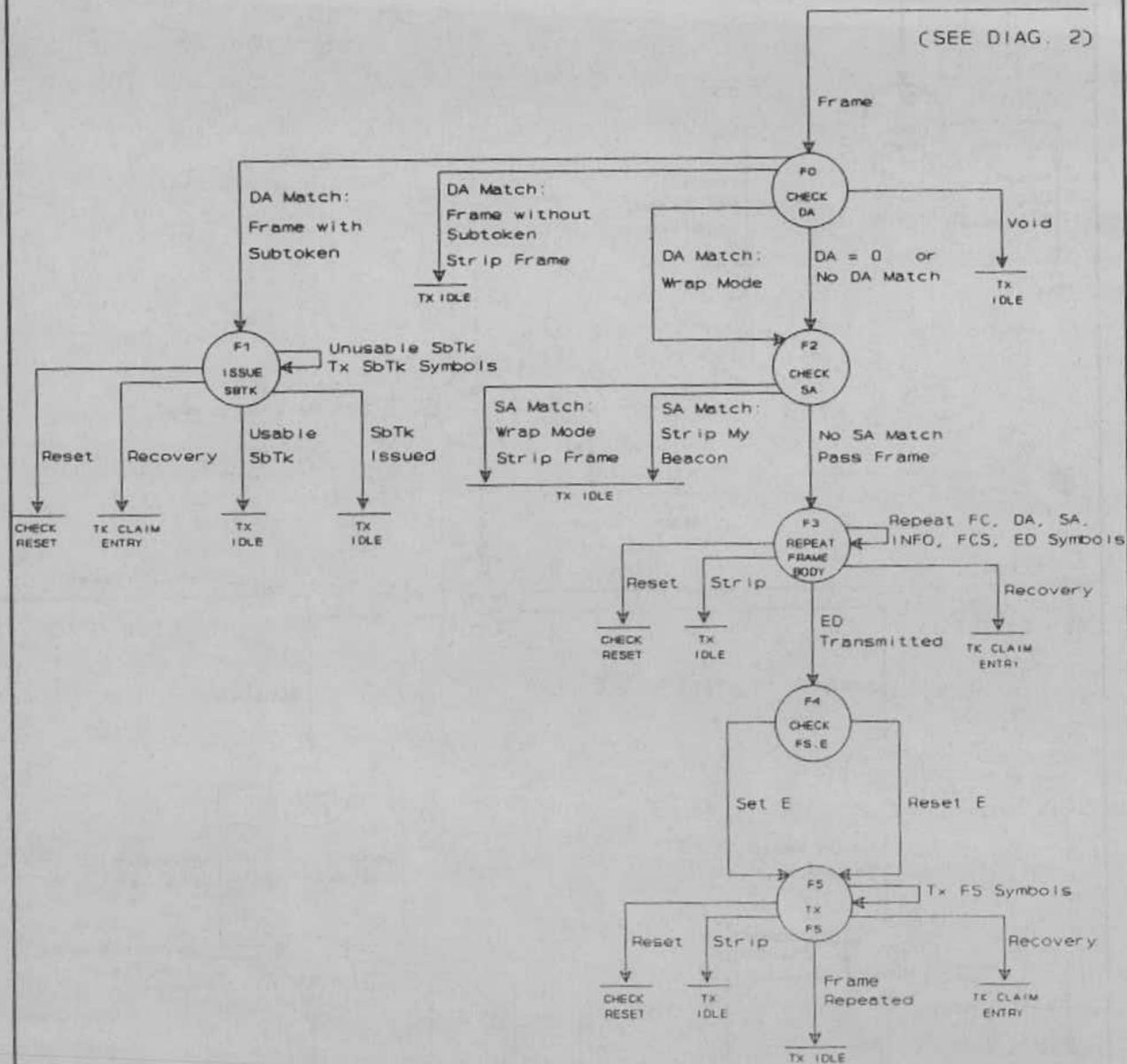


Figura 13: Diagrama 3 do Transmissor MAC

no diagrama do Transmissor MAC. Neste exemplo, considere um quadro sem a informação de subtoken chegando no seu destino.

Predicado de habilitação: Assuma (1) a operação normal do protocolo em anel duplo e (2) o quadro sem subtoken vem com um casamento de DA.

Ação: o quadro é removido do anel pela estação DA e nenhum subtoken é emitido.

A caminho de transições se inicia no Diagrama 1, passa pelos Diagramas 2 e 3, e retorna para o Diagrama 1 conforme o seguinte:

I0 → Tx Idle Symbols → I0 → Start → P0 → Tx Next SD Symbol → P0 → SFS Transmitted → P1 → Frame → F0 → DA Match: Frame Without Subtoken Strip Frame → I0 → Tx Idle Symbols → I0

### 3.3 Reconfiguração

Uma importante questão a se discutir é quanto à confiabilidade da rede provida pelo protocolo se as mudanças forem implementadas no protocolo FDDI. Basicamente, o FDDI provê tolerância a avarias com o anel duplo de rotações opostas pelo suporte do seu modo WRAP, no qual as estações reconfiguram o anel para isolar uma séria falha de anel ou nó da rede. Neste caso, o anel lógico duplo se torna uma trajetória única, permitindo a continuidade de comunicações.

O protocolo aperfeiçoado também provê a característica de reconfiguração do anel. Entretanto, como o aperfeiçoamento implementado neste protocolo se baseia na utilização efetiva do anel duplo, quando a configuração da rede mudar para um único anel lógico ela deixa de prover a vazão aumentada, que é decorrente do uso efetivo do anel duplo. A condição WRAP é uma propriedade de uma estação no protocolo FDDI original. Para aperfeiçoar o protocolo, uma função de controle geral pode monitorar a rede para detectar WRAP nas estações. As estações nos lados adjacentes que reconfiguraram o anel para isolar a falha notificam a entidade de gerência de estação (SMT) do protocolo. Neste caso, uma variável booleana global denominada **Wrap** muda seu estado para verdadeiro. A estação reconhece que apenas um anel lógico está ativo e a remoção de quadros reverte para o FDDI original com a confirmação de recebimento enviada dentro do quadro.

- ♦ Mudança de Configuração (THRU to WRAP) - Remoção no Endereço de Origem (SA)

Em uma operação no anel duplo, a remoção de quadros do anel reverte para a estação de origem quando a configuração muda do modo THRU para WRAP (um único anel lógico) devido a uma falha séria no anel.

Predicado de habilitação: assumo que (1) a configuração da rede muda de THRU para WRAP, e (2) o quadro é recebido com um casamento de SA.

Ações: o quadro é removido do anel pela estação SA. O protocolo reverte para a operação básica FDDI.

O caminho de transições se inicia no Diagrama 1, passa pelos Diagramas 2 e 3, e retorna para o Diagrama 1 conforme o seguinte:

I0 → Tx Idle Symbols → I0 → Start → P0 → Tx Next SD Symbol → P0 → SFS Transmitted → P1 → Frame → F0 → DA = 0 or No DA Match → F2 → SA Match: Wrap Mode, Strip Frame → I0 → Tx Idle Symbols → I0

## 4 Conclusões

Um protocolo de Controle de Acesso ao Meio (MAC) para os serviços de comutação por pacotes do FDDI Follow-On-LAN (FFOL) baseado em um aperfeiçoamento do MAC do FDDI original é possível. Mudanças na estrutura MAC do FDDI, nos seus formatos de dados e no método de acesso ao anel, permitem criar uma estrutura de acesso paralelo controlado por token de tempo e com transmissões simultâneas em ambos os anéis, elevando potencialmente a vazão da rede. O acesso paralelo é feito a partições lógicas disjuntas do meio físico. A organização MAC-Único-PHY-Duplo habilita as transmissões simultâneas no anel duplo controlado por um único MAC. Esta estrutura possibilita manter a conectividade em situações de reconfiguração dos anéis. A criação de formatos de UDP de confirmação de recebimento de quadros compatíveis com os símbolos empregados no FDDI e adicionadas ao protocolo MAC evitam a necessidade de propagação no anel dos quadros já recebidos, abrindo um segmento lógico no meio físico para se implementar o paralelismo de transmissões.

O protocolo de acesso paralelo controlado por token de tempo com transmissões simultâneas emprega, além do token, uma Unidade de Dados de Protocolo denominada subtoken. Esta UDP é a autorização dada a uma segunda estação para acessar o anel, paralelamente com a estação de posse do token. É possível gerar e escalonar o subtoken a partir de informações retiradas dos quadros em filas prontas dos anéis.

O aproveitamento do anel secundário para transmissões simultâneas não inviabiliza a tolerância a falhas do protocolo FDDI original. O método provê mecanismos de recuperação quando a configuração da rede muda devido a falhas no anel ou nó. A Remoção de quadros do meio físico em operação normal é realizada pelas estações de destino, entretanto, revertendo para as estações de origem quando o anel duplo se torna um único caminho lógico.

A maior vantagem deste método de controle de acesso é que ele se enquadra na arquitetura do FDDI, podendo reduzir substancialmente o tempo e esforço de desenvolvimento para o processo de padronização do protocolo.

## Referências

- [1] Elmiro, J. L., *A Formal Model of the MAC Layer of an Improved FDDI Protocol*, M.S. Thesis, Department of Computer Science, Naval Postgraduate School, Monterey, CA, 1991.
- [2] *FDDI Token Ring Media Access Control*, ANSI X3T9.5, Rev. 10, 1990.
- [3] Fink, R. L., and Ross, F. E., "Following the Fiber Distributed Data Interface," *IEEE Network Magazine*, March 1992.
- [4] Lundy, G. M., and Elmiro, J. L., "Formal Model of an Improved FDDI-MAC Protocol," submetido para publicação.
- [5] Lundy, G. M., "Improving Throughput in the FDDI Token Ring Network," *Protocols for High Speed Networks II*, North-Holland, 1991.
- [6] Strohl M. J., "High Performance Distributed Computing in FDDI Networks," *IEEE LTS Magazine*, May 1991.