

3 HSDPA

Esse capítulo apresenta o HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), previamente introduzido no Capítulo 1, que é um subsistema do padrão UMTS/WCDMA. Aprovado pelo 3GPP no *Release 5* do padrão WCDMA, em Março de 2002, o HSDPA e suas características continuam sendo estudados e aperfeiçoados por diversos trabalhos que estão mencionados ao longo desse capítulo.

3.1. Evolução do WCDMA para o HSDPA

Como já foi dito, o padrão WCDMA especificado pelo 3GPP está emergindo rapidamente como o principal padrão da terceira geração da telefonia celular (3G) no mundo. Suas especificações atuais satisfazem perfeitamente os requisitos do IMT-2000 para a terceira geração, incluindo suporte a taxas de dados de até 2 *Mbps* em ambientes *indoor*, bem como suporte a tráfego assimétrico (nos enlaces direto e reverso). Entretanto, para satisfazer as futuras demandas de serviços de dados em pacotes (Internet e serviços multimídia), estudos vêm sendo realizados com o intuito de promover uma evolução na interface aérea do WCDMA.

O primeiro passo dessa evolução foi a introdução do HSDPA, cujo objetivo principal é permitir ao WCDMA suportar, no enlace de descida, taxas de até 10 *Mbps* para serviços de melhor esforço, utilizando a mesma banda de 5 *MHz*. Ou seja, o HSDPA – uma tecnologia de 3,5G – pode aumentar a taxa de transmissão do WCDMA em até cinco vezes.

O HSDPA também pode trazer melhorias em termos de maiores capacidades e menores atrasos. Para atingir seus objetivos, algumas tecnologias são utilizadas:

- Modulação e Codificação Adaptativas (MCA);

- Uso de modulações de mais alta ordem (16-QAM e 64-QAM);
- Retransmissão Automática Híbrida (HARQ);
- Uso de códigos múltiplos (paralelos);
- Agendamento rápido;
- Seleção rápida de célula;
- Sistemas de antenas MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*).

As modulações 16-QAM e 64-QAM aumentam a eficiência espectral em termos de $bits/s/Hz$ comparado com o QPSK e também contribuem para que as taxas de dados atinjam a ordem de $10 Mbps$, com a mesma largura de faixa do WCDMA ($5 MHz$). Por outro lado, essas modulações de alta ordem são muito mais sensíveis a ruído e interferências. Por isso, elas devem ser utilizadas em conjunto com a técnica de Modulação e Codificação Adaptativas (MCA). A técnica MCA escolhe o esquema de modulação e codificação, chamado de modo de transmissão, mais adequado de acordo com as condições “instantâneas” do canal. A técnica é detalhadamente abordada no Capítulo 5.

Nos serviços por pacotes de dados, o receptor recebe freqüentemente pacotes com erros. Por isso, o uso de esquemas de Retransmissão Automática Híbrida (HARQ) [14], que é uma combinação de protocolos FEC (*Forward Error Correction*) com protocolos ARQ (*Automatic Repeat Request*), torna o sistema mais robusto a possíveis erros na adaptação do enlace.

O uso das técnicas de Modulação e Codificação Adaptativas, de Retransmissão Automática Híbrida, além de operações com códigos múltiplos (pode-se usar até 15 códigos paralelos no HSDPA), torna desnecessário o uso de duas das principais características do WCDMA: o fator de espalhamento variável e o controle rápido de potência.

O agendamento rápido é um mecanismo que determina qual usuário irá transmitir em um determinado intervalo de tempo. É um elemento essencial no desenvolvimento de um sistema de pacotes de dados, uma vez que é ele quem determina o comportamento geral do sistema [3]. Uma vazão máxima do sistema é obtida alocando todos os recursos de rádio existentes àquele usuário que estiver com as melhores condições do canal, embora um agendador realístico deva também incluir algum critério de justiça em sua escolha. Mudando o tipo de

agendamento que está sendo realizado, as operadoras podem, inclusive, mudar o comportamento do sistema de acordo com suas necessidades.

A seleção rápida de célula, onde o equipamento do usuário rapidamente seleciona a célula com condições mais favoráveis, é uma possibilidade de aumentar a utilização dos recursos compartilhados de rádio e pode ser usada como uma alternativa ao *soft handover*. Essa técnica também pode ser vista como um complemento ao agendamento rápido, provendo ao agendamento uma dimensão espacial em adição à temporal.

O sistema MIMO [12] é uma técnica que visa o aumento da taxa de dados em meios altamente dispersivos, através do uso de múltiplos canais independentes, implementados com múltiplas antenas transmissoras e receptoras. Essas antenas podem ser adaptativas (antenas inteligentes) e associadas a esquemas específicos de sinalização. As antenas inteligentes são uma tecnologia largamente reconhecida pela sua capacidade de aumentar a eficiência espectral em sistemas sem fio enquanto os sistemas MIMO têm desenvolvimento mais recente.

É interessante observar que algumas das tecnologias abordadas foram aplicadas ao sistema GSM na evolução deste para o EDGE.

3.2. Arquitetura do Sistema com o HSDPA

Na Seção 2.2 foi abordada a atual arquitetura do sistema WCDMA. Com a evolução do WDCMA para o HSDPA, essa arquitetura sofreu uma pequena mudança.

Na Figura 1 (Seção 2.2), observa-se que os RNCs são conectados ao núcleo da rede, e cada RNC controla uma ou várias ERBs (*Node B*) que, por sua vez, se comunicam com os equipamentos móveis (EMs). Funções como agendamento, seleção do formato do quadro (parâmetros de codificação, modulação, etc.) e retransmissões são realizados pelo RNC.

As tecnologias utilizadas no HSDPA e explicadas na seção anterior, como Modulação e Codificação Adaptativas, HARQ, MIMO e agendamento rápido, necessitam de uma rápida adaptação às condições “instantâneas” do canal. Por isso, a adaptação de enlace deve ocorrer o mais próximo possível da interface aérea, preferencialmente na ERB. Para isto, a ERB passa a incluir uma nova

entidade, chamada de MAC-hs (*Medium Access Control – high speed*). É importante salientar que, mesmo com essa nova entidade na ERB, as entidades RLC e MAC presentes no RNC permanecem realizando uma série de funções, como cifragem de dados, *soft handover*, etc. Ou seja, o acréscimo dessa nova entidade não deve ser encarado como uma substituição às funções do RNC e sim como um complemento que possibilita um canal altamente confiável, com pequenos atrasos e altas taxas de transmissão [3].

3.3. Estrutura da Camada Física do HSDPA

Do mesmo modo que, no WCDMA, o PDSCH (Canal Físico Compartilhado de Descida) opera em conjunto com o canal dedicado DPCCCH (Canal Físico Dedicado de Controle), no HSDPA a operação é similar. Para isso, três novos canais foram propostos em adição aos já existentes no WCDMA, abordados no Capítulo 2. Esses canais estão detalhados nas próximas subseções e são [3] [4] [9] [14] [16]:

- HS-PDSCH (*High Speed Physical Downlink Shared Channel*);
- HS-PSCCH (*High Speed Physical Shared Control Channel*);
- HS-DPCCH (*Uplink High Speed Dedicated Physical Control Channel*).

O HS-PDSCH transporta os dados do usuário no enlace de descida com taxas de pico atingindo até 10 *Mbps*, com modulações de alta ordem.

O HS-PSCCH transporta as informações de controle da camada física necessárias para uma correta decodificação dos dados do HS-PDSCH e também para possibilitar uma possível combinação de dados enviados pelo HS-PDSCH, em caso de retransmissões.

O HS-DPCCH transporta informações de controle necessárias no enlace de subida, como mensagens *Ack* e *Nack* e também informações de realimentação sobre a qualidade do enlace de descida.

3.3.1. HS-PDSCH

O HSDPA introduziu um novo canal físico, o HS-PDSCH, destinado ao transporte de pacotes de dados com serviço de melhor esforço, suportando todas as tecnologias introduzidas na Seção 3.1. O HS-PDSCH, assim como o PDSCH no sistema WCDMA, é um recurso comum, compartilhado por vários usuários. Esse compartilhamento é realizado primeiramente no domínio de tempo, podendo ser feito também com o uso de códigos paralelos.

No HSDPA, como já mencionado, não se faz uso de fator de espalhamento variável, como no WCDMA. As razões disso são uma menor complexidade no equipamento do usuário e uma redução na sinalização do enlace de descida. O fator de espalhamento usado é fixo e igual a 16. A Figura 11 mostra a parte da árvore de códigos utilizada pelo HS-PDSCH.

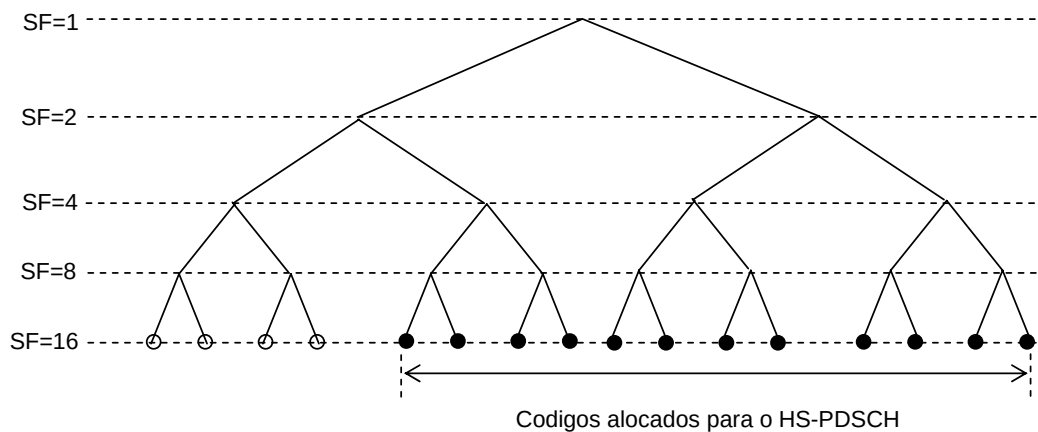


Figura 11 – Grupo de códigos reservados para o HS-PDSCH

Observa-se que, dos 16 códigos disponíveis, 12 são reservados para o HS-PDSCH, porém, na prática, podem ser utilizados até 15 códigos paralelos.

A alocação dos códigos para diferentes usuários é feita baseada num intervalo de tempo de transmissão (ITT) do HS-PDSCH. Após alguns estudos, foi proposto que esse ITT fosse mais curto que o atualmente usado no WCDMA, que é de $15 \times T_{slot}$, ou 10 ms (comprimento de um quadro). Onde T_{slot} é o intervalo de uma janela de tempo do WCDMA e é igual a $0,667\text{ ms}$. Em [9] ficou estabelecido que o valor do ITT do HSDPA é de $3 \times T_{slot}$, ou 2 ms . Essa diminuição no valor

do ITT visou à redução dos retardos de transmissão e à facilitação do processo de adaptação ao canal variante no tempo.

Preferencialmente, é alocado apenas um usuário por cada ITT, porém por multiplexação de códigos é possível transmitir-se dados de dois ou mais usuários num mesmo intervalo de tempo, separados apenas por códigos de canalização. A Figura 12 ilustra um processo no qual há dados de três usuários diferentes utilizando cinco códigos paralelos. Quando um determinado usuário não ocupar toda a capacidade do canal, então outros usuários também poderão ser agendados para o mesmo intervalo.

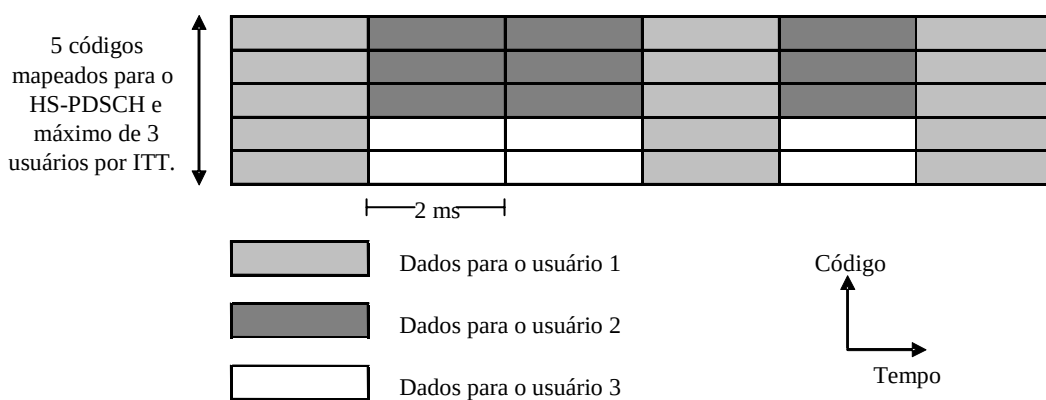


Figura 12 – Compartilhamento do HS-PDSCH por multiplexação de códigos e de tempo

Como já foi dito, podemos ter até 15 códigos paralelos por usuário, porém esse número depende da capacidade de terminal, que podem suportar 5, 10 ou 15 códigos paralelos.

Quanto à modulação utilizada no HS-PDSCH, foram propostas as seguintes: QPSK, 8-PSK, 16-QAM e 64-QAM. Porém, a modulação 8-PSK não apresentou ganhos de capacidade que justificasse o seu uso enquanto a 64-QAM mostrou-se praticamente inviável devido aos seus altos requisitos de qualidade. Por outro lado, a 16-QAM dobra a taxa de bit de pico se comparada à QPSK e permite ao HSDPA atingir taxas de pico de até 10 Mbps, utilizando 15 códigos paralelos e fator de espalhamento 16. Porém, o uso de modulações de maior eficiência espectral traz alguns custos adicionais. No caso do WCDMA, onde apenas o QPSK é utilizado, é necessário um estimador da fase do sinal no processo de demodulação. Já com a 16-QAM, por exemplo, também é necessário um estimador da amplitude do sinal para separar os pontos da constelação. Além do

mais, o estimador de fase tem que ser ainda mais eficiente, pois as regiões de decisão no 16-QAM são bem menores que no QPSK.

No HSDPA são usados *turbo codes* com as seguintes taxas: $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ e $\frac{3}{4}$. Essas taxas de códigos em conjunto com as modulações QPSK e 16-QAM formam os chamados modos de transmissão. Por exemplo, o modo de transmissão formado pelo 16-QAM e com taxa de código $\frac{3}{4}$, atinge uma vazão máxima teórica de 10,7 Mbps, quando usados 15 códigos paralelos. Outra característica do HS-PDSCH é que ele suporta a técnica HARQ [14], já brevemente explicada.

As diferenças entre o HS-PDSCH do HSDPA e o PDSCH do WCDMA estão mostradas na Tabela 4 abaixo.

Característica	PDSCH	HS-PDSCH
Fator de Espalhamento Variável	Sim	Não
Controle de Potência Rápido	Sim	Não
Modulação e Codificação Adaptativa	Não	Sim
Operação de Códigos Múltiplos	Sim	Sim, estendida
HARQ	Não	Sim

Tabela 4 – Diferenças entre HS-PDSCH e PDSCH

3.3.2. HS-PSCCH

Juntamente com os dados do usuário transportados pelo HS-PDSCH, é necessária a transmissão da sinalização de controle para esse usuário. O canal HS-PSCCH transporta as informações necessárias para a demodulação do HS-PDSCH. Essas informações são os códigos de canalização que devem ser desespalhados, o modo de transmissão utilizado e os parâmetros do HARQ. A informação é relevante apenas para o(s) usuário(s) que está(ão) recebendo dados através do HS-PDSCH e, por isso, pode ser transmitida em um canal de controle compartilhado (HS-PSCCH).

O número de HS-PSCCH alocados deve corresponder ao número máximo de usuários que podem ser multiplexados por códigos. O HS-PSCCH só se faz necessário quando há dados sendo transmitidos no HS-PDSCH. Do ponto de vista da rede, pode haver vários HS-PSCCHs alocados, mas cada usuário só precisará

Da figura acima, temos que o terminal tem uma única janela de tempo para determinar quais códigos do HS-PDSCH ele deve desespalhar. Quando existir dados no HS-PDSCH para o mesmo usuário em ITTs consecutivos, o mesmo HS-PSCCH deve ser usado. Vemos também que o tempo do canal dedicado, DPCH, não está amarrado ao tempo de nenhum dos dois canais HSDPA.

O HS-PSCCH usa fator de espalhamento igual a 128, que podem acomodar 40 bits por janela de tempo, uma vez que não tem símbolo piloto ou bits de controle de potência nesse canal. Ele usa código convolucional de taxa $\frac{1}{2}$ e as duas partes são codificadas separadamente, já que as informações de tempo crítico precisam estar disponíveis imediatamente depois da primeira janela de tempo.

3.3.3. HS-DPCCH (Enlace de Subida)

No enlace de subida são necessárias informações do processo HARQ, como mensagens *Ack* e *Nack*, bem como informações de realimentação referentes à qualidade do canal, a serem usadas pelo agendador da ERB para determinar para qual terminal transmitir e com qual taxa de dados. Para transportar essas novas informações requeridas, foi proposto o HS-DPCCH.

As informações de realimentação referentes à qualidade do canal consistem de cinco bits. Um dos estados de sinalização é reservado para o estado “sem transmissão” e os outros estados representam qual modo de transmissão o usuário pode receber naquele momento. Esses modos de transmissão, como já foi dito, vão desde o QPSK com um código até o 16-QAM com 15 códigos paralelos.