

5.5 EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1. Descreva brevemente a técnica de espera ocupada. Quais as suas vantagens e desvantagens?

Resposta: A técnica de espera ocupada para dispositivos de E/S é uma estratégia em que um processo que precisa realizar operações de entrada/saída (E/S) aguarda ativamente até que a operação seja concluída. Em vez de suspender o processo durante a operação de E/S e permitir que outros processos sejam executados, o processo fica em um laço contínuo (*busy-wait*) verificando regularmente o estado do dispositivo de E/S até que a operação seja finalizada. Tem como grande vantagem a simplicidade: a técnica de espera ocupada para E/S é fácil de implementar, pois geralmente envolve apenas estruturas de controle de fluxo simples, como laços ou desvios condicionais. Como desvantagem o uso intensivo e bloqueio do processador: enquanto aguarda ativamente a conclusão da operação de E/S, o processo consome recursos do processador sem realizar trabalho útil, o que pode impedir que outros processos sejam executados. Adicionalmente, em sistemas com vários processadores, a espera ocupada para E/S pode causar competição excessiva pelo barramento, reduzindo a eficiência global do sistema.

2. Com relação ao tratamento de exceções no processador, responda:

- a) Quais as diferenças entre modo normal e privilegiado de execução do processador?

Resposta: As diferenças entre o modo normal e o modo privilegiado de execução do processador são:

- Modo Normal (ou usuário): Nesse modo, o programa em execução tem acesso apenas a um conjunto limitado de instruções e recursos do sistema. Ele não pode executar certas operações sensíveis, como acesso direto a dispositivos de E/S ou modificar configurações de *hardware*. O modo normal é projetado para garantir a segurança e a estabilidade do sistema, evitando que os programas do usuário interfiram em áreas críticas do sistema.
- Modo Privilegiado (ou *kernel*): Nesse modo, também conhecido como modo de supervisor ou modo de kernel, o sistema operacional e outras partes críticas do sistema têm acesso a todas as instruções e recursos do processador. Ele permite a execução de operações sensíveis e a manipulação direta do *hardware*. O modo privilegiado é restrito ao sistema operacional e é usado para executar tarefas que requerem privilégios especiais e acesso irrestrito ao *hardware*.

- b) Em qual modo as rotinas de tratamento de interrupção são executadas?

Resposta: As rotinas de tratamento de interrupção são executadas no modo privilegiado (modo *kernel*) pois necessitam ter acesso direto aos dispositivos de E/S, o que não seria possível se fossem executadas no modo normal.

- c) Em qual modo os programa de administrador ou “root” são executados?

Resposta: Os programas de administrador ou “root” são executados no modo normal (modo usuário). Apesar de ter privilégios em relação ao usuário comum, os programas e/ou comandos executados pelo administrador ou root são executados no modo normal. É o sistema operacional que, verificando as suas credenciais, permite que ele realize operações que são proibidas para o usuário comum.

d) Quais os procedimentos realizados pelo processador quando ocorre uma exceção?

Resposta: Quando ocorre uma exceção, o processador realiza os seguintes procedimentos:

- i. Salva o estado atual da execução do programa, como registradores e apontador de instrução na memória.
- ii. Altera o modo de execução do processador para o modo privilegiado (modo kernel) para que a rotina de tratamento de exceção possa ser executada.
- iii. Localiza e executa a rotina de tratamento de exceção associada ao tipo específico de exceção que ocorreu.
- iv. Após o tratamento da exceção, restaura o contexto do programa original e retorna à execução normal no modo normal (modo usuário).

e) Relacione as possíveis fontes de exceção durante a execução de um programa.

Resposta: As possíveis fontes de exceção durante a execução de um programa são:

- Interrupções: São eventos assíncronos causados por dispositivos de hardware ou condições específicas do sistema que requerem atenção imediata. Exemplos incluem interrupção de temporizador, interrupção de disco e interrupção de teclado.
- Exceções de Software: São eventos causados por instruções especiais ou condições no código do programa que requerem tratamento. Exemplos incluem tentativa de divisão por zero, instruções de breakpoint, falha de página na memória virtual, violações de proteção, acesso a área de memória não permitida.
- Chamadas de Sistema: São instruções especiais que permitem que um programa solicite serviços ao sistema operacional, como leitura de arquivos, alocação de memória e operações de E/S.
- Reset ou Falha de alimentação, que são exceções prioritárias que devem ser atendidas imediatamente.

f) Exemplifique alguns tipos de solicitação de serviços ao sistema operacional.

Resposta: As solicitações de serviços ao sistema operacional incluem:

- Execução de outros programas (fork, exec, etc.).
- Operações de E/S (read, write, etc.).
- Manipulação de arquivos (open, create, remove, etc.).
- Comunicação entre processos (pipe, socket, signal, etc.).
- Alocação de recursos (malloc, lock, etc.).
- Proteção (quota, mprotec, etc.).

g) Quais as diferenças entre uma interrupção e uma chamada de sistema?

Resposta: A diferença entre uma interrupção e uma chamada de sistema está relacionada ao contexto em que ocorrem:

- Interrupção: É uma interrupção assíncrona que ocorre sem o controle do usuário durante a execução normal do programa para lidar com eventos de *hardware* ou situações de sistema que requerem atenção imediata. O controle é transferido para a rotina de tratamento de interrupção no modo privilegiado (modo *kernel*).
- Chamada de Sistema: É uma instrução específica inserida no código do programa para solicitar um serviço ao sistema operacional. A chamada de sistema transfere temporariamente o controle para o modo privilegiado (modo *kernel*) para executar

a rotina de serviço solicitada pelo usuário e depois retorna ao modo normal (modo usuário) para continuar a execução do programa.

h) Qual o objetivo do uso de diversos níveis de interrupção?

Resposta: O objetivo do uso de diversos níveis de interrupção é permitir que o sistema lide com múltiplas interrupções de forma organizada e priorizada. Ao ter vários níveis de interrupção, o sistema pode lidar com eventos de *hardware* e exceções em diferentes graus de urgência, garantindo que os eventos críticos sejam tratados rapidamente e de forma eficiente.

i) Descreva os procedimentos para o tratamento de uma interrupção pelo processador.

Resposta: Procedimentos para o tratamento de uma interrupção pelo processador:

- i. Salvar o contexto atual do programa em execução.
- ii. Identificar a fonte da interrupção (dispositivo de hardware ou condição específica do sistema).
- iii. Executar a rotina de tratamento de interrupção associada à fonte específica.
- iv. Restaurar o contexto do programa original após o tratamento da interrupção.

No barramento de controle, o sinal de pedido de interrupção é acionado eletricamente por qualquer dos controladores quando precisa de atendimento. O processador paralisa o programa em execução para atender ao pedido de atenção do controlador. O sinal de pedido de interrupção é inibido durante o atendimento, e uma rotina central de tratamento é chamada para identificar e tratar o dispositivo específico. Após o atendimento, o sinal de pedido de interrupção é liberado e o processador retorna ao programa interrompido.

j) Qual a função de um controlador de interrupção? Exemplifique um tipo de controlador.

Resposta: A função de um controlador de interrupção é gerenciar e priorizar as interrupções provenientes de diferentes dispositivos de hardware e fontes do sistema, cujos passos incluem:

- Sinalizar o término do atendimento das interrupções para os dispositivos de E/S.
- Reconhecer interrupções indicadas por nível ou por uma simples transição.
- Combinar diversas fontes de interrupção em uma ou mais linhas de interrupção do processador. Isso é necessário porque num hardware complexo pode haver diversas fontes de interrupção, que serão tratadas através de um vetor de interrupções com poucas posições.
- Mascaram interrupções, inibindo e liberando interrupções que podem ser executadas para atender a certos requisitos operacionais.
- Dar suporte em hardware para o estabelecimento das políticas de tratamento de interrupção utilizadas nos sistemas operacionais, como fixa, rotativa, em cadeia, entre outras.

Um exemplo de controlador de interrupção é o PIC (Programmable Interrupt Controller), Intel 8259A, responsável por receber e distribuir as interrupções aos processadores ou ao sistema operacional de forma organizada e controlada.

3. Com relação à transferência de dados entre os dispositivos de E/S e a memória responda:

a) Quais as desvantagens da realização da transferência de dados diretamente pelo proces-

sador?

Resposta: As principais desvantagens da realização da transferência de dados diretamente pelo processador são:

- Consumo excessivo de tempo de processamento, pois o processador precisa se envolver diretamente na transferência de dados, resultando em uma carga adicional de trabalho e possível redução no desempenho do processamento de tarefas essenciais. Há um desperdício de recursos do processador, já que ele é projetado para realizar cálculos complexos e executar programas, não para gerenciar operações de E/S de baixo nível.
- A taxa de transferência pode ser tão alta que o processador não tenha velocidade suficiente para transferir os dados sem perda de informações.

b) Descreva em detalhes como ocorre a transferência de dados via DMA.

Resposta: A transferência de dados via DMA (Direct Memory Access) permite que as transferências de dados sejam feitas diretamente de/para a memória do sistema sem a intervenção do processador. O controlador de DMA assume o controle do barramento do sistema e coordena a transferência de dados entre os dispositivos de E/S e a memória. Embora haja variações dependendo das características de cada sistema, a essência do funcionamento do DMA é simples e, sem perda de generalidade, podemos descrevê-lo como:

- O processador programa o controlador de DMA indicando de qual dispositivo os dados deverão ser transferidos de/para, o endereço de memória para/de onde os dados serão lidos/escritos e, finalmente, a quantidade de bytes a serem transferidos.
- A operação de DMA também pode ser iniciada por qualquer dispositivo que precisa enviar dados para a memória, através de uma solicitação ao controlador DMA.
- O DMA aciona então um sinal para ter acesso exclusivo aos barramentos de sistema (bus request).
- O processador termina a execução da instrução atual e aciona um sinal para liberar o barramento de sistema para uso (bus grant), e em seguida suspende temporariamente a execução das instruções.
- O DMA transfere os dados de forma mais rápida possível para a memória, e desliga o sinal de acesso (bus request) para indicar que terminou o uso do barramento.
- O DMA envia um sinal de interrupção para avisar ao processador que terminou de realizar a tarefa que foi solicitada.

c) Onde está localizado atualmente o controlador de DMA?

Resposta: Atualmente, o controlador de DMA está integrado ao chipset da placa-mãe do computador. Ele é responsável por controlar as transferências de dados entre os dispositivos de E/S e a memória do sistema, aliviando o processador de gerenciar essas operações. Nos barramentos mais modernos os próprios dispositivos de E/S possuem controladores de DMA embutidos que podem realizar a transferência de dados diretamente de/para a memória do sistema ou outro dispositivo de E/S sem a necessidade da intervenção de um controlador de DMA do sistema.

d) Qual a diferença entre os modos legados de transferência via DMA?

Resposta: Os modos legados de transferência de dados pelo DMA do sistema são:

- Modo rajada ou em bloco: Um bloco inteiro de dados é transferido em uma sequência contínua. Uma vez que o controlador de DMA tem acesso ao barramento do sistema, todos os bytes de dados são transferidos antes do controle ser devolvido novamente para o processador. Como consequência, o processador pode ficar inativo por longos períodos de tempo. Este modo também é conhecido como modo de transferência em bloco.
- Modo roubo de ciclo: É utilizado em sistemas onde o processador não pode ficar desabilitado por longos períodos de tempo. Neste modo, o controlador de DMA obtém acesso ao barramento do sistema, mas libera o seu controle após realizar uma única transferência, permitindo ao processador fazer uso do mesmo, caso necessário. Neste modo, a velocidade de transmissão do bloco de dados não é tão rápida em comparação com o modo de rajada, mas é útil para sistemas que necessitam de processar dados em tempo real.
- Modo transparente: Este modo gasta o maior tempo para transferir um bloco de dados, mas ainda é o mais eficiente em termos de desempenho global do sistema. O controlador de DMA transfere apenas dados quando o processador está realizando operações que não usam o barramento do sistema. A dificuldade é que o hardware precisa determinar quando o processador não está usando o barramento de sistema, o que pode ser difícil de realizar na prática, sendo um modo de transferência mais lento que os demais. É conhecido também como modo de transferência oculto.

e) Quais as diferenças entre Third-Party DMA, First-Party DMA e Bus-Master DMA?

Resposta: As diferenças entre Third-Party DMA, First-Party DMA e Bus-Master DMA são:

- Third-Party DMA: Este tipo de DMA usa um controlador de DMA do sistema, com diferentes canais de DMA, capazes de realizar transferências para mais de um dispositivo de E/S simultaneamente. Os dispositivos de E/S dependem unicamente do controlador de DMA do sistema para realizar as transferências de dados entre a memória e os dispositivos de E/S.
- First-party DMA: Nesse tipo de acesso direto à memória, o próprio dispositivo de E/S pode realizar as operações DMA com uso do barramento do sistema, mas necessita fazer isso através do uso de um canal do controlador de DMA do sistema. Neste caso, esse canal do controlador de DMA deve ser adequadamente programado no modo “cascata”, que delega a transferência para outro controlador ou dispositivo, para que não haja interferência por parte dele neste tipo de transferência.
- Bus-Master DMA: o dispositivo de E/S pode receber o controle do barramento do sistema, sem envolvimento do processador ou de um controlador de DMA de sistema, e realizar a transferência direto de/para a memória principal através de um controlador de DMA próprio. Embora sejam conceitos distintos, eventualmente os termos first-party e bus-master são usados como sinônimos.

f) Quais as funções realizadas pelo controlador conhecido como “Ponte Norte”?

Resposta: O controlador conhecido como “Ponte Norte”(Northbridge) era responsável por

conectar o processador, a memória RAM e a placa gráfica, que normalmente está conectada ao barramento PCI Express ou AGP (Accelerated Graphics Port). Além disso, a Ponte Norte era conectada à "Ponte Sul" para que o processador possa ter acesso aos demais dispositivos de E/S. Atualmente suas funções foram integradas ao *chip* do processador.

g) Quais as principais funções embutidas do controlador de periféricos "Ponte Sul"?

Resposta: As principais funções embutidas do controlador de periféricos ponte sul são:

- Interfaces PCI Express de baixa velocidade (PCIe), geralmente para Ethernet e NVMe.
- Barramento SPI para acesso à memória Flash com a BIOS/UEFI do computador.
- Memória de sistema CMOS (memória de configuração da BIOS), auxiliado pela alimentação suplementar da bateria, que cria uma área de armazenamento não volátil limitada para os dados de configuração da BIOS.
- Controlador de DMA 8237, em uma configuração dual com 7 canais, permite que dispositivos de E/S legados acessem diretamente a memória principal sem precisar de ajuda do processador.
- Controlador de interrupção programável, que fornece meios pelos quais os dispositivos de E/S solicitam atenção do processador para lidar com as transferências de dados.
- Interface para discos rígidos ou SSD no padrão SATA ou M.2.
- Interface USB.
- Interface para relógio de tempo real.
- Temporizadores programáveis.
- Interfaces de áudio.

4. Com relação à forma de transmissão dos dados responda:

a) Quais as diferenças entre a transmissão paralela e serial dos dados?

Resposta: As principais diferenças são:

- Transmissão Paralela: Nessa forma de transmissão, vários bits são enviados simultaneamente por linhas separadas do barramento de comunicação. Cada bit é representado por uma linha individual. Geralmente, deve existir algum protocolo adicional, com uso de sinais de controle, para indicar se os dados já foram colocados nos fios, que podem então ser lidos pelo controlador.
- Transmissão Serial: Nessa forma de transmissão, os bits são enviados sequencialmente por uma única linha do barramento de comunicação. Nos barramentos mais modernos é comum o uso da transmissão serial com grande desempenho, como nos barramentos PCI Express, Ethernet e USB.

b) Quais as diferenças entre a transmissão síncrona e assíncrona dos dados?

Resposta:

- Transmissão Síncrona: Nessa forma de transmissão, os dados são enviados em sincronia com um sinal de relógio compartilhado entre o transmissor e o receptor. Os dispositivos envolvidos devem estar sincronizados, e a taxa de transmissão deve ser consistente para que os dados sejam interpretados corretamente.
- Transmissão Assíncrona: Nessa forma de transmissão, os dados são enviados sem depender de um sinal de relógio compartilhado. Cada caractere é precedido por um

bit de início e seguido por um ou mais bits de parada, o que facilita a sincronização entre os dispositivos. É mais simples de implementar, mas a taxa de transmissão é geralmente menor em comparação com a transmissão síncrona.

- c) Dado um barramento síncrono com largura de 64 bits e frequência de relógio de 66 MHz, determine a taxa máxima de transferência de dados.

Resposta: Para calcular a taxa máxima de transferência, multiplicamos a largura do barramento pela frequência de relógio:

Taxa máxima de transferência = Largura do barramento x Frequência de relógio
 Taxa máxima de transferência = 64 bits x 66 MHz = (64/8) B x 66 MHz = 8 B x 66 MHz
 Taxa máxima de transferência = 528 MB/s (megabytes por segundo)

Neste caso o multiplicador é realmente Mega (10^6) e usualmente para barramentos paralelos o resultado é fornecido em bytes/s.

- d) Enumere as principais formas de detecção de erros de transmissão de dados.

Resposta: As principais formas de detecção de erros de transmissão de dados são:

- Paridade: Um bit extra (bit de paridade) é adicionado a cada byte dos dados transmitidos para garantir que o número total de bits seja par ou ímpar, dependendo do tipo de paridade utilizado. Ao receber os dados, o receptor verifica se a paridade de cada byte recebido está correta e pode detectar erros de transmissão simples.
- (BCC - block character check): É muito comum quando se transmitem vários caracteres que formam uma mensagem, agregar um caractere verificador extra ao final da mensagem, calculado como o XOR de cada byte com o resultado do XOR anterior. Contudo, dependendo do protocolo, outros algoritmos para a geração do BCC podem ser utilizados.
- Código de Redundância Cíclica (CRC): Um código de verificação de erro é gerado a partir dos dados e enviado junto com eles. O receptor recalcula o CRC e verifica se coincide com o valor recebido. O valor gerado para o código de validação é feito com uso de gerador polinomial. Esse polinômio será o divisor em uma divisão polinomial em que a mensagem de dados será o dividendo e o quociente é descartado, porém o resto será o código de verificação. O tipo de polinômio usado no CRC depende do comprimento do bloco que deve ser protegido e do tipo de recursos a serem protegidos. Esta técnica é preferida quando a transmissão da informação precisa ser garantida com maior confiabilidade, pois permite, dentro de alguns limites, detectar e corrigir o erro no bloco transmitido.

- e) Calcule o BCC (em binário) da seguinte sequência de 3 números binários transmitidos: 01101101, 11111110 e 10110110.

Resposta: Para calcular o BCC (Block Check Character) de uma sequência de números binários, você pode utilizar a operação de XOR (OU exclusivo) bit a bit entre todos os números binários. O resultado será o BCC. Vamos calcular:

Sequência de números binários: 01101101, 11111110, 10110110

Passo 1: Realizar o XOR entre os dois primeiros números 01101101 XOR 11111110 = 10010011

Passo 2: Realizar o XOR entre o resultado do passo 1 e o terceiro número 10010011 XOR 10110110 = 00100101

O resultado é: 00100101

- f) Calcule as paridades par e ímpar (em binário) dos seguintes números binários: 1000001, 01010001, 01000111 e 01111110.

Resposta: A ideia é simples, adicionamos um bit, assegurando que o número total de bits '1' transmitidos será sempre par ou ímpar.

Vamos calcular as paridades par e ímpar dos números binários fornecidos:

- i. Número binário: 1000001 Número de bits 1: 2 (bits 1 nas posições 7 e 1) Paridade par: 0 Paridade ímpar: 1
- ii. Número binário: 01010001 Número de bits 1: 3 (bits 1 nas posições 6, 4 e 1) Paridade par: 1 Paridade ímpar: 0
- iii. Número binário: 01000111 Número de bits 1: 4 (bits 1 nas posições 6, 3, 2 e 1) Paridade par: 0 Paridade ímpar: 1
- iv. Número binário: 01111110 Número de bits 1: 6 (bits 1 nas posições 7, 6, 5, 4, 3 e 2) Paridade par: 0 Paridade ímpar: 1

5. Com relação às características dos barramentos de E/S do computador, responda:

- a) Caracterize as diferenças entre os barramentos paralelos e seriais.

Resposta: As principais diferenças entre os barramentos paralelos e seriais são:

- Barramentos Paralelos: Utilizam múltiplos fios de dados para transferir vários bits simultaneamente. Cada bit é transferido por um fio separado. Hoje em dia são comuns em barramentos internos de computadores e periféricos de curta distância.
- Barramentos Seriais: Transmitem os bits sequencialmente, um após o outro, utilizando um único fio de dados. Atualmente são mais adequados para comunicações de longa distância e conexão de dispositivos externos.

- b) Caracterize as diferenças entre os barramentos síncronos e assíncronos.

Resposta: As principais diferenças entre os barramentos síncronos e assíncronos são:

- Barramentos Síncronos: Utilizam um sinal de relógio compartilhado para coordenar as transferências de dados. As transmissões ocorrem em sincronia com o relógio.
- Barramentos Assíncronos: Não dependem de um sinal de relógio compartilhado e não possuem uma referência temporal fixa para as transferências de dados. As transmissões ocorrem mediante um protocolo de sinais implementado entre os dispositivos.

- c) Qual a finalidade e as formas de implementação dos árbitros de barramentos?

Resposta: A finalidade e as principais formas de implementação dos árbitros de barramentos são:

- Finalidade: Os árbitros de barramentos são utilizados para resolver os conflitos de acesso ao barramento por múltiplos dispositivos que desejam transmitir dados. Eles determinam a ordem de prioridade dos dispositivos e concedem o acesso ao barramento de forma justa.
- Formas de Implementação: Existem diferentes técnicas para implementar árbitros de barramentos, como arbitragem centralizada (um controlador central decide a prioridade) e arbitragem distribuída (os dispositivos competem entre si para acessar o barramento).

d) Caracterize as diferenças entre os barramentos multiplexados e não-multiplexados.

Resposta: As principais diferenças entre os barramentos multiplexados e não-multiplexados são:

- Barramentos Multiplexados: Combinam os sinais de endereço e dados em um único conjunto de fios, utilizando um esquema de multiplexação para separá-los na transmissão. Requerem menos fios, mas têm menor taxa de transferência.
- Barramentos Não-Multiplexados: Possuem conjuntos separados de fios para endereço e dados, permitindo transferências mais rápidas, mas exigem mais fios.

e) Quais os problemas e dificuldades dos barramentos paralelos?

Resposta: Os principais problemas e dificuldades dos barramentos paralelos são:

- Propagação de Atraso: Diferentes bits podem chegar ao destino em momentos distintos devido a diferenças de percurso nos fios, causando problemas de sincronização.
- Ruído e Interferência: Com muitos fios próximos uns aos outros, barramentos paralelos são mais suscetíveis a ruídos e interferências que podem corromper os dados.

f) Quais as vantagens dos barramentos seriais?

Resposta: As principais vantagens dos barramentos seriais são:

- i. Menor número de fios: Reduz o tamanho e a complexidade das interfaces de comunicação.
- ii. Maior distância: Permite a comunicação em distâncias maiores.
- iii. Maior taxa de transferência: A transmissão serial pode atingir altas velocidades.

g) Quais as vantagens dos barramentos síncronos em relação aos assíncronos?

Resposta: Atualmente, os barramentos síncronos são amplamente preferidos devido ao seu melhor desempenho em comparação com os barramentos assíncronos. Isso ocorre porque os barramentos síncronos não têm a sobrecarga de estabelecer uma referência de tempo para cada transação, o que aumenta sua taxa de transferência.

Além disso, os barramentos síncronos têm a vantagem de possuir um protocolo pré-determinado, resultando em menos lógica envolvida na implementação da máquina de estados finitos para seu controle. Isso contribui para a rápida operação dos barramentos síncronos.

Outro benefício importante da transmissão síncrona é a capacidade de implementar transferências em rajada, onde vários blocos de dados são transferidos sequencialmente em uma única operação. Isso otimiza o envio e recepção de dados pelo barramento. Como resultado, a maioria dos barramentos seriais utilizam a transmissão síncrona para obter maior eficiência e desempenho.

6. Com relação aos padrões de barramentos de E/S legados, responda:

a) Quais as principais características e aplicações do barramento ISA?

Resposta: O Barramento ISA (Industry Standard Architecture) foi um padrão de barramento de E/S amplamente utilizado em computadores pessoais e sistemas embarcados, introduzido no início dos anos 80. O padrão ISA foi o primeiro a ser utilizado nos computadores do tipo IBM/PC e desempenhou um papel importante no desenvolvimento da computação pessoal. O ISA era utilizado para conectar vários periféricos, como placas de

som, placas de vídeo, placas de rede e outros dispositivos de expansão ao computador. Ele era um barramento paralelo, síncrono, com frequência de 4,77 ou 8 MHz, e podia operar em velocidades relativamente baixas. Inicialmente, tinha uma largura de dados de 8 bits, mas foi posteriormente expandido para 16 bits com o lançamento do IBM PC/AT em 1984. O conector ISA consistia em dois conjuntos de conectores, um com 62 pinos e outro com 36 pinos, que permitiam a comunicação dos periféricos com o processador através de interrupções e também suportavam transferências usando DMA.

- b) Quais as principais características e aplicações do barramento IDE?

Resposta: O Barramento IDE (Integrated Drive Electronics), também conhecido como ATA (Advanced Technology Attachment), foi um padrão utilizado para conectar dispositivos de armazenamento, como discos rígidos e unidades de CD/DVD, ao computador. Ele foi amplamente utilizado em PCs antigos para conectar esses dispositivos. Lançado em 1986 pela IBM, o barramento IDE era um barramento paralelo assíncrono não-multiplexado, com 16 bits de endereço e 16 bits de dados, utilizando conectores de 40 pinos.

O barramento IDE oferecia diversos modos de transferência de dados, incluindo o modo PIO, em que as transferências eram realizadas pelo processador, e o modo DMA (Acesso Direto à Memória), onde os dados eram transferidos diretamente entre o disco e a memória, sem a intervenção do processador. Além disso, alguns discos permitiam o modo de transferência em bloco, que transferia vários setores do disco para a memória sem interrupção do processador, reduzindo sua sobrecarga.

Posteriormente, o barramento IDE foi substituído pelo barramento SATA, que oferece velocidades de transferência mais altas.

- c) Quais as principais características e aplicações do barramento PCI?

Resposta: O Barramento PCI (Peripheral Component Interconnect) foi uma tecnologia de barramento de E/S que oferecia alta velocidade de transferência de dados entre o processador e os dispositivos conectados. Ele foi desenvolvido como uma evolução dos barramentos mais antigos, como o ISA (Industry Standard Architecture), para atender às crescentes demandas de desempenho dos computadores modernos.

Uma das principais características do barramento PCI é a sua capacidade de operar em diversas velocidades, como 33 MHz, 66 MHz e até mesmo 133 MHz em suas versões mais recentes. Essa flexibilidade permitia que ele suportasse uma ampla gama de dispositivos com requisitos diferentes de largura de banda, tornando-o adequado para conectar placas de som, placas de vídeo, placas de rede, dispositivos USB e muitos outros periféricos.

Outra vantagem do PCI era a sua largura de dados de 32 ou 64 bits, o que significava que ele podia transferir uma quantidade significativa de dados em cada ciclo de relógio. Isso contribuía para o alto desempenho do barramento e possibilitava o rápido intercâmbio de informações entre o processador e os dispositivos conectados.

Além disso, o PCI utilizava uma abordagem de transferências em bloco, em que cada ciclo começava com uma fase de endereço seguida por uma ou mais fases de dados. Essa técnica permitia uma utilização eficiente do barramento, minimizando a sobrecarga do processador e proporcionando uma comunicação mais rápida e contínua entre os dispositi-

tivos.

Uma característica importante do PCI é a arbitragem centralizada, que gerenciava o acesso dos dispositivos ao barramento. Isso garantia um compartilhamento adequado dos recursos e evitava conflitos entre os dispositivos concorrentes.

- d) Quais as principais características e aplicações do barramento AGP?

Resposta: O barramento AGP (Accelerated Graphics Port) foi projetado especificamente para conectar placas de vídeo de alto desempenho ao computador, oferecendo uma interface de alta velocidade para a transferência de dados entre a placa de vídeo e a memória do sistema. Ele trabalhava em um barramento paralelo síncrono de 32 bits, com frequência inicial de 66 MHz e diferentes modos de operação, como AGP 1x, 2x, 4x e 8x, que ofereciam taxas de transferência crescentes de 264 MB/s, 528 MB/s, 1056 MB/s e 2133 MB/s, respectivamente. Para que o uso do padrão AGP 8x ou 4x fosse eficaz, era necessário que a memória principal do processador utilizasse tipos de memórias como DDR ou RAMBUS, que suportavam as altas taxas de transferências desses barramentos. Caso contrário, essas memórias poderiam se tornar gargalos e limitar as taxas de transferência de dados.

Com o avanço da tecnologia, o barramento AGP foi gradualmente substituído por soluções mais rápidas e eficientes, como o barramento PCI Express (PCIe), que oferece ainda mais velocidade e eficiência na conexão de placas de vídeo modernas.

7. Com relação aos diversos padrões de barramentos de E/S do computador, responda:

- a) Como é feita a transmissão do relógio no barramento USB?

Resposta: No barramento USB (Universal Serial Bus) o sinal de relógio é transmitido codificado junto com os dados diferenciais usando a codificação NRZI. Cada bit '1' é representado por nenhuma mudança de nível, e cada bit '0' é representado por uma mudança de nível. Para garantir a sincronização da transmissão, um '0' é inserido após seis '1's consecutivos no fluxo de dados. Um pacote de dados no USB é composto por um campo identificador de 8 bits (PID), seguido por um campo de dados com até 1023 bytes e finalizado por um campo CRC de 16 bits.

- b) Quais são os quatro tipos básicos de transações de dados do barramento USB?

Resposta: Os quatro tipos básicos de transações de dados do barramento USB são:

- i. Transação de Controle: É utilizada para enviar comandos de controle e obter respostas curtas dos dispositivos. Essas transações são de baixo volume de dados e alta prioridade.
- ii. Transação de Bulk: É utilizada para transferências em massa de grandes quantidades de dados com baixa prioridade. É comum em dispositivos como impressoras e scanners. Usa verificação de redundância cíclica (CRC) para garantir a integridade dos dados.
- iii. Transação de Interrupção: É utilizada para transferências de dados periódicas e em tempo real, com baixo volume de dados e latência previsível. É comum em dispositivos que exigem uma resposta rápida, como teclados e mouses.
- iv. Transação de Isócrona: É utilizada para transferências contínuas de dados em tempo real, como em dispositivos de áudio e vídeo, onde a sincronização dos dados é mais

importante do que a correção de erros. Não possui verificação de dados e os pacotes podem ter até 1024 bytes.

c) Quais as características de última geração do barramento PCI-Express?

Resposta: O barramento PCI-Express de última geração é uma evolução significativa em relação aos barramentos anteriores, oferecendo uma série de recursos e benefícios que o tornam uma escolha popular em sistemas modernos. Vamos detalhar algumas das principais características:

- Alta taxa de transferência: O PCI-Express 3.0, por exemplo, possui uma velocidade de transferência de até 8 GT/s por pista. Essa alta taxa de transferência permite a comunicação rápida e eficiente entre o processador e os dispositivos conectados ao barramento, resultando em um melhor desempenho geral do sistema.
- Largura de banda escalável: Uma das grandes vantagens do PCI-Express é sua capacidade de ser escalável. Isso significa que é possível utilizar múltiplas vias (ou pistas) para aumentar a largura de banda disponível para os dispositivos conectados. Isso é especialmente útil para placas gráficas de alto desempenho, que exigem uma largura de banda maior para lidar com gráficos e processamento intensivo.
- Eficiência energética: As versões mais recentes do PCI-Express foram projetadas com foco na eficiência energética. Isso ajuda a reduzir o consumo de energia dos dispositivos conectados ao barramento, o que é importante para economizar energia e prolongar a vida útil das baterias em dispositivos móveis, como laptops e tablets.
- Backward compatibility: O PCI-Express é compatível com versões anteriores, o que significa que dispositivos mais antigos podem ser usados em slots PCI-Express mais recentes e vice-versa. Isso proporciona flexibilidade aos fabricantes e aos usuários, permitindo a utilização de hardware legado em sistemas mais modernos.
- Interface econômica e de baixo número de pinos: O PCI-Express oferece uma interface eficiente e econômica, com um baixo número de pinos. Isso reduz o custo e a complexidade do projeto dos dispositivos, permitindo o desenvolvimento de sistemas mais compactos e eficientes.
- Recursos avançados: Além disso, o PCI-Express apresenta recursos avançados, como gerenciamento de energia, qualidade de serviço e outras funções nativas que não estão disponíveis em outras arquiteturas de E/S. Esses recursos adicionais proporcionam maior controle e flexibilidade aos desenvolvedores de hardware e software, permitindo a otimização do desempenho e aprimoramento da experiência do usuário.

d) Quantos cabos utiliza o padrão SATA? Quais as suas velocidades de transmissão?

Resposta: O padrão SATA utiliza dois cabos principais: um cabo de dados e um cabo de alimentação. O cabo de dados é responsável por transmitir os dados entre a placa-mãe e o dispositivo SATA (como um disco rígido ou SSD). Já o cabo de alimentação é usado para fornecer energia ao dispositivo SATA. O SATA faz transmissão serial, ou seja, um bit por vez, conseguindo frequências maiores e transmitindo os dados de forma mais rápida em seu barramento. Quanto às velocidades de transmissão, o padrão SATA possui várias

gerações com diferentes velocidades:

- SATA Revision 1.x: também chamada de SATA 1,5 Gbps, ou informalmente, Sata 1 ou SATA 150, onde a velocidade de transferência alcança um máximo de 150 MB/s.
- SATA Revision 2.x: também chamada de SATA 3 Gbps, ou informalmente, SATA II ou SATA 300, cuja principal característica é sua taxa de transmissão de até 300 MB/s.
- SATA Revision 3.x: também chamada de SATA 6 Gbps, ou informalmente, SATA III ou SATA 600, com taxa de transmissão de até 600 MB/s.

8. Com relação aos padrões de barramentos de vídeo, responda:

a) Qual o tipo de conector utilizado e quais os sinais de vídeo transportados pelo padrão VGA/SGVA?

Resposta: O padrão VGA (Video Graphics Array) utiliza o conector de 15 pinos conhecido como conector VGA D-Sub para transmitir os sinais de vídeo. Os sinais de vídeo transportados pelo padrão VGA incluem três canais de cores analógicas (vermelho, verde e azul) conhecidos como RGB, além dos sinais de sincronização horizontal (HSYNC) e sincronização vertical (VSYNC).

b) Por que o padrão DVI oferece qualidade de imagem melhor do que o padrão VGA?

Resposta: O padrão DVI (Digital Visual Interface) oferece uma qualidade de imagem melhor do que o padrão VGA porque é um padrão digital, enquanto o VGA é analógico. Na transmissão digital, o sinal permanece imune a interferências e ruídos, proporcionando uma qualidade de imagem mais nítida e livre de distorções em comparação com o sinal analógico do VGA, que pode ser suscetível a perda de qualidade e distorções.

c) Qual tipo de monitor é mais adequado para utilização com o padrão DVI?

Resposta: Monitores de vídeo LCD, projetores, TVs de LED, entre outros equipamentos de vídeo digitais com entradas DVI são mais adequados para utilização com o padrão DVI, pois esses monitores são projetados para processar sinais digitais, o que proporciona uma melhor qualidade de imagem. No entanto, alguns monitores mais antigos podem ser compatíveis com o padrão DVI por meio de adaptadores.

d) Quais tipos de resolução e sinais são suportados pelo padrão HDMI?

Resposta: O padrão HDMI (High-Definition Multimedia Interface) suporta várias resoluções de vídeo, incluindo 480p, 720p, 1080i, 1080p, 1440p, 4K e 8K. Além disso, o HDMI também suporta diferentes formatos de sinal de áudio, tornando-o uma interface versátil para conectar dispositivos de entretenimento doméstico, como TVs, consoles de videogame, players de Blu-ray, etc.

e) Qual a vantagem da utilização de “micro pacotes” pelo padrão Display Port?

Resposta: A vantagem da utilização de “micro pacotes” pelo padrão DisplayPort está relacionada à eficiência e flexibilidade na transmissão de dados. Ao enviar dados em “micro pacotes”, o DisplayPort pode gerenciar melhor o fluxo de informações, permitindo uma alocação mais flexível da largura de banda disponível entre vídeo e áudio. Isso significa que a largura de banda pode ser otimizada de acordo com as necessidades específicas do conteúdo sendo transmitido, resultando em uma melhor qualidade de áudio e vídeo.

Além disso, o uso de "micro pacotes" possibilita a transmissão de resoluções mais altas e taxas de atualização mais rápidas. Isso torna o DisplayPort especialmente adequado para monitores de alta resolução, como monitores 4K, e para taxas de atualização mais altas, como monitores com frequências de atualização de 144Hz ou mais.

Outra vantagem é a capacidade de suportar múltiplos fluxos de vídeo por meio de apenas uma conexão física. Isso significa que um único cabo DisplayPort pode transmitir vídeo para vários monitores, tornando-o uma escolha eficiente para configurações de múltiplos monitores.

Adicionalmente, a utilização de "micro pacotes" também permite a transmissão de longas distâncias sobre mídias físicas alternativas, como a fibra óptica. Isso possibilita a utilização do DisplayPort em cenários onde a distância entre o dispositivo de saída e o monitor é significativa.

9. Com relação às redes de comunicação com fibra óptica, responda:

a) Quais são as camadas que compõem as fibras ópticas?

Resposta: As fibras ópticas típicas são compostas por núcleo, casca e revestimento externo protetor (buffer ou coating em inglês). O núcleo é a parte interna da fibra, que conduz a luz, e a casca envolve o núcleo completamente. Como o índice de refração do núcleo é maior do que o da casca, a luz no núcleo que atinge a fronteira com a casca em um ângulo menor que o ângulo crítico, que depende dos índices de refração do núcleo e da casca, será refletida de volta ao núcleo em um fenômeno chamado de reflexão interna total.

A diferença no índice de refração entre o núcleo e a casca é fundamental para o funcionamento eficiente da fibra óptica. Essa diferença cria uma espécie de "guia de ondas" dentro da fibra, permitindo que o sinal luminoso viaje através de múltiplas reflexões internas. Isso evita a dispersão do sinal, o que seria uma limitação significativa em longas distâncias.

b) Quais são as características dos tipos principais de fibra óptica?

Resposta: Os principais tipos de fibra óptica usados em comunicações ópticas incluem fibras ópticas multimodo e fibras ópticas monomodo. Uma fibra óptica multimodo tem um núcleo maior ($\geq 50 \mu\text{m}$), permitindo o uso de conectores, transmissores e receptores menos precisos e mais baratos. No entanto, uma fibra multimodo introduz a distorção multimodo, o que geralmente limita a largura de banda e o comprimento do cabo de fibra óptica. O núcleo de uma fibra monomodo é menor ($< 10 \mu\text{m}$) e requer componentes e métodos de interconexão mais caros, mas permite comprimentos totais maiores e melhor desempenho, com menos perdas. Adicionalmente, podemos encontrar a fibra óptica plástica (POF), que é feita de materiais plásticos, é mais fácil de ser manuseada e instalada em comparação com as fibras de vidro. No entanto, possui menor capacidade de transmissão e é geralmente utilizada em aplicações de curta distância, como conexões de áudio e equipamentos de consumo.

c) Relacione os principais protocolos de comunicação que podem utilizar fibras ópticas como meio de transmissão.

Resposta: Os principais protocolos de comunicação que podem utilizar fibras ópticas como meio de transmissão incluem:

i. Fiber Distributed Data Interface (FDDI): Padrão óptico de 100 Mbps para redes locais

que pode se estender por até 200 quilômetros. Foi substituído pelo Fast Ethernet e Gigabit Ethernet devido a custos mais baixos e maior velocidade.

- ii. Ethernet (IEEE 802.3): Fibras ópticas podem ser usadas em todas as versões do protocolo Ethernet, oferecendo velocidades de 10 Mbps até 200 Gbps e alcances de centenas de metros até dezenas de quilômetros.
- iii. Fibre Channel (FC): Protocolo de alta velocidade usado para conectar armazenamento de dados a servidores em redes de área de armazenamento (SAN).
- iv. Synchronous Optical Network (SONET) e Synchronous Digital Hierarchy (SDH): Protocolos projetados para transportar comunicações em modo de circuito, principalmente para suportar chamadas telefônicas e tráfego de dados.
- v. Asynchronous Transfer Mode (ATM): Protocolo usado na rede telefônica pública comutada e na Rede Digital de Serviços Integrados (ISDN), mas foi amplamente substituído por redes baseadas no Protocolo Internet (IP).
- vi. InfiniBand: Tecnologia de interconexão de alta velocidade usada em data centers para comunicação entre servidores e dispositivos de armazenamento.

10. Com relação à rede de comunicação Ethernet, responda:

- a) Detalhe a composição do MAC (media access control) de uma interface de rede?

Resposta: O MAC (Media Access Control) é uma parte essencial de uma interface de rede Ethernet. Ele é responsável por fornecer identificação única para cada dispositivo conectado à rede. O endereço MAC é composto por 48 bits, também conhecidos como endereço físico, e é atribuído pelo fabricante da placa de rede. Esses 48 bits são normalmente representados em notação hexadecimal (por exemplo, 00:1A:2B:3C:4D:5E). Os primeiros 24 bits do endereço MAC identificam o fabricante da placa de rede, enquanto os últimos 24 bits são usados para identificar exclusivamente a placa de rede dentro daquele fabricante, sendo este responsável pelo controle da numeração de cada placa que produz. Apesar de ser único e gravado em hardware, o endereço MAC pode ser alterado através de técnicas específicas, se houver necessidade.

- b) Como funciona o método denominado de CSMA/CD?

Resposta: O método CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) é um protocolo utilizado em redes Ethernet para controlar o acesso ao meio compartilhado. Quando um dispositivo deseja transmitir dados, ele primeiro verifica se o meio (cabo) está ocioso (Carrier Sense). Se o meio estiver ocioso, o dispositivo começa a transmitir seus dados. No entanto, enquanto os dados estão sendo transmitidos, o dispositivo continua a escutar o meio para detectar colisões.

Se o dispositivo detecta uma colisão (ou seja, outro dispositivo começou a transmitir ao mesmo tempo), ele interrompe a transmissão e envia um sinal especial chamado "jam signal" para notificar todos os dispositivos da colisão. Em seguida, cada dispositivo aguarda um período de tempo aleatório antes de tentar transmitir novamente (técnica de "backoff exponencial").

O CSMA/CD foi amplamente utilizado em redes Ethernet de 10 Mbps e 100 Mbps, mas foi abandonado nas redes Ethernet modernas devido ao aumento da velocidade das redes e à adoção de switches, que eliminam a ocorrência de colisões.

c) Quais são as variantes da Fast Ethernet?

Resposta: As variantes da Fast Ethernet são:

- i. 100BASE-TX: É a variante mais comum da Fast Ethernet, utilizando cabos UTP (par trançado) de categoria 5 ou superior para alcançar uma velocidade de 100 Mbps.
- ii. 100BASE-FX: Utiliza cabos de fibra óptica para alcançar a velocidade de 100 Mbps em distâncias maiores do que a 100BASE-TX.
- iii. 100BASE-T4: Utiliza cabos UTP de categoria 3 ou superior, mas requer quatro pares de fios para alcançar uma velocidade de 100 Mbps.

Essas variantes da Fast Ethernet foram desenvolvidas para oferecer uma transição mais rápida da Ethernet tradicional de 10 Mbps para velocidades de 100 Mbps, proporcionando um aumento significativo no desempenho das redes locais.

d) Quais as quatro opções de cabeamento ou camada física da Gigabit Ethernet?

Resposta: As quatro opções de cabeamento ou camada física da Gigabit Ethernet são:

- i. 1000BASE-T: Utiliza cabos de par trançado de categoria 5e (ou superior) para alcançar uma velocidade de 1 Gbps (Gigabit por segundo) em distâncias de até 100 metros. É a opção mais comum e amplamente usada para redes Gigabit Ethernet em ambientes de escritório e centros de dados.
- ii. 1000BASE-SX: Utiliza cabos de fibra óptica multimodo para alcançar uma velocidade de 1 Gbps em distâncias de até 550 metros. É frequentemente usado em ambientes que requerem distâncias maiores do que aquelas possíveis com o cabeamento de par trançado.
- iii. 1000BASE-LX: Utiliza cabos de fibra óptica monomodo ou multimodo para alcançar uma velocidade de 1 Gbps em distâncias de até 5 km em fibra monomodo e até 550 metros em fibra multimodo. É adequado para aplicações de longa distância.
- iv. 1000BASE-CX: Utiliza cabos de cobre blindados (cabo de cobre coaxial) para alcançar uma velocidade de 1 Gbps em distâncias curtas de até 25 metros. É menos comum do que as outras opções e costuma ser usado em ambientes específicos onde a distância é limitada e a blindagem é necessária para evitar interferências eletromagnéticas.

11. Com relação às redes de comunicação sem fio, responda:

a) O que é OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)?

Resposta: O OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) é uma técnica de transmissão de dados que utiliza múltiplas portadoras ortogonais, chamadas subportadoras, para modulação. Cada subportadora é modulada com uma sequência de dados, e todas as subportadoras são transmitidas simultaneamente, permitindo que vários sinais sejam transmitidos de forma paralela. As subportadoras são chamadas ortogonais por não possuírem sobreposição de frequência, dessa forma não interferindo umas com as outras. O princípio básico da OFDM é a conversão de um fluxo de dados serial com alta taxa de transmissão em múltiplos sub-fluxos paralelos com taxa de transmissão mais baixa. A OFDM é amplamente utilizada em tecnologias como Wi-Fi, WiMAX e LTE, devido à sua

resistência à interferência e capacidade de transmissão em canais com ruído e distorção.

b) Como se comparam os protocolos de segurança WPA, WPA2 e WPA3 do Wi-Fi?

Resposta: Comparação dos protocolos de segurança Wi-Fi:

- WPA (Wi-Fi Protected Access): Introduzido em 2003 para substituir o WEP, utiliza o protocolo TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) para criptografia, que oferece uma chave de criptografia de 128 bits diferente para cada pacote de dados. Possui vulnerabilidades conhecidas e não é recomendado para uso atualmente devido à sua fraca segurança.
- WPA2 (Wi-Fi Protected Access 2): Introduzido em 2004, é uma versão aprimorada do WPA que utiliza o protocolo AES (Advanced Encryption Standard) para criptografia. O uso de chaves de encriptação de 256 bits também torna esse protocolo muito mais seguro que os seus predecessores. O protocolo WPA2 utiliza um novo mecanismo de verificação de integridade de mensagens, chamado de CCMP (CCM Mode Protocol), muito mais robusto que aqueles utilizados pelos seus antecessores. É atualmente o padrão mais utilizado e oferece maior segurança em comparação com o WPA.
- WPA3 (Wi-Fi Protected Access 3): Introduzido em 2018, é a versão mais recente e segura do protocolo Wi-Fi, aumentando a criptografia para 192 bits (ou 128 bits no modo WPA3-Personal) para aumentar a força da senha, protegendo assim senhas mais fracas que poderiam ser quebradas com relativa facilidade. O padrão WPA3 também substitui o algoritmo de troca de chave pré-compartilhada (PSK) pela troca de autenticação simultânea de iguais (SAE), um método originalmente introduzido com IEEE 802.11s, resultando em uma troca de chave inicial mais segura no modo pessoal. O Device Provisioning Protocol (DPP) substitui o Wi-Fi Protected Setup (WPS) menos seguro e também dispensa o uso de um terminal ou interface gráfica. Oferece melhor proteção contra ataques de força bruta e aprimora a privacidade dos usuários. O WPA3 substituirá gradualmente o WPA2 como o padrão de segurança para redes Wi-Fi.

c) Quais as características e aplicações do Bluetooth Low Energy?

Resposta: Bluetooth Low Energy (BLE) é uma extensão da versão 4.0 do protocolo Bluetooth, projetada para ser mais eficiente em termos de energia, permitindo que dispositivos com bateria operem por longos períodos de tempo. O BLE é amplamente utilizado em dispositivos de Internet das Coisas (IoT), como rastreadores de *fitness*, dispositivos médicos, sensores e dispositivos de casa inteligente. Possui uma taxa de transferência de dados mais baixa (1 Mbps usando o esquema de modulação GFSK) em comparação com o Bluetooth clássico, mas é mais adequado para aplicações que requerem baixo consumo de energia e comunicação a curta distância.

d) Organize uma tabela com as faixas de frequência, largura e número de canais, e taxas de transmissão das diversas versões do protocolo Wi-Fi?

Resposta: Segue a tabela comparativa das versões do protocolo Wi-Fi:

A taxa de transmissão máxima apresentada é teórica e só pode ser atingida em condições muito especiais, com os valores variando muito dependendo da referência consultada.

Tabela 5.9 – Tabela Comparativa Wi-Fi

Tabela Comparativa Wi-Fi				
Versão Wi-Fi	Faixa de Frequência	Largura de Banda	Número de Canais	Taxa de Transmissão (Mbps)
Wi-Fi 802.11a	5 GHz	20 MHz	23	Até 54
Wi-Fi 802.11b	2.4 GHz	20 MHz	11	Até 11
Wi-Fi 802.11g	2.4 GHz	20 MHz	11	Até 54
Wi-Fi 802.11n	2.4 GHz / 5 GHz	20 MHz / 40 MHz	23	Até 600
Wi-Fi 802.11ac	5 GHz	20 MHz a 160 MHz	83	Até 3500
Wi-Fi 802.11ax	2.4 GHz / 5 GHz	20 MHz a 160 MHz	106	Até 9600

DRAFT