

# Prova 01

- Internet: fun facts
  - surgiu como a ARPANET (uso militar)
  - feita para resistir a um ataque nuclear (contexto: guerra fria)
  - eh uma rede de redes (normalmente, redes locais ligadas a uma sub-rede de comunicacao ponto-a-ponto)
  - cada pais/organizacao eh responsavel por sua propria rede
  - a comunicacao entre computadores eh feita usando enderecamento (endereço IPv4, que eh hierarquico, por nome ou por numero)
    - IPv6 funciona diferentemente
  - servicos e aplicacoes disponiveis na internet:
    - 1G: email, telnet (terminal virtual), ftp (file transfer protocol)
    - 2G: archie (diretorio de ftps anonimo), gopher (sistema de infos), netfind (descobrir enderecos electronicos), usenet (forum), wais (DB de docs relacionados)
    - 3G: www, robos, jogos, VRML (virtual reality markup language)
  - motivacoes para uso da internet: compartilhamento de recursos, extensibilidade, meio de comunicacao, treinamento a distancia, entretenimento
- Nomenclatura: nao existe uma taxonomia padrao; mas ha dois pontos importantes (tecnologia de transmissao e escala)
  - quanto a tecnologia de transmissao (ie, meio):
    - broadcasting (redes de difusao): um dispositivo fala com “quem quiser ouvir”, mensagens transmitidas pra todos
      - simplex (uma direcao so): TV
      - half-duplex (ambas direcoes, uma de cada vez): walkie-talkie, wifi / full-duplex (pode falar juntos): TCP, celular
    - redes ponto-a-ponto: um dispositivo fala diretamente com o outro
  - quanto a escala (alcance): redes locais, metropolitanas, longa distancia, sem fio, interconexoes de redes (internets)
- Redes de difusao:
  - classificacao quanto ao numero de receptores:
    - broadcast: para todo mundo
    - unicast: para uma pessoa
    - multicast: para grupo de pessoas
    - anycast: para pelo menos uma pessoa
  - canal de comunicacao eh compartilhado entre os computadores da rede; portanto, mensagens sao curtas (para nao ocupar o meio por muito tempo); mensagens enviadas por uma das maquinas e recebidas por todas as outras
  - formas de alocao do canal (meio) de comunicacao:
    - estatica:
      - tempo dividido em slots

- “ciranda”, cada maquina transmite somente no seu slot
  - controle centralizado
  - canal fica ocioso se estacao nao tem nada a transmitir
- dinamica centralizada: uma entidade decide qual a proxima estacao a ter acesso ao meio
- dinamica descentralizada: cada maquina decide se transmite num determinado momento ou nao (forma preferida)
  - redes menores, localizadas proximas geograficamente
- Redes ponto-a-ponto:
  - conexoes entre pares de computadores
  - pacotes sao enviados na modalidade store-and-forward
  - uso de algoritmos de roteamento
  - redes maiores, espalhadas
- Escala:
  - redes locais (LAN): redes privativas, alguns kms de tamanho, gerencia simplificada, um unico cabo liga todas as maquinas, pequeno atraso, poucos erros de transmissao, topologias comuns sao barramento e anel
    - ethernet:
      - rede difusao que usa barramento (bus)
      - controle descentralizado
      - acesso ao meio e deteccao de mensagens
  - rede metropolitana: cobre grupo de predios/ organizacoes/ uma cidade, publica ou privada, trafego de dados e voz
  - redes de longa distancia (WAN): pais/ continente, conjunto de hospedeiros conectados por sub-rede de comunicacao, “uniao de LANs” (hosts conectam-se as LANs por meio de roteadores), usa store-and-forward
  - redes wireless: motivacoes incluem tecnologia disponivel, custo, mobilidade maior de pessoas; nao eh uma ideia nova; ambientes em que nao exista infraestrutura adequada; militar; faceis de instalar; taxas de erro mais alta e transmissoes simultaneas podem causar interferencia
- Software de rede
  - redes sao organizadas em layers ou em niveis
    - numero de camadas depende de cada rede
    - funcionalidade geral de cada camada: oferecer servicos para a camada superior; esconder implementacao
  - conversacao em redes eh feita entre entidades-pares que estao na mesma camada usando o protocolo da camada
    - entidades: elementos ativos em cada camada / entidades-pares: entidades na mesma camada em maquinas diferentes
    - comunicacao direta (horizontal) entre entidades-pares eh virtual
    - comunicacao real (vertical) eh feita entre entidades na mesma hierarquia
    - comunicacao entre maquinas diferentes ocorre efetivamente na camada mais baixa (meio fisico)
    - exemplo de comunicacao multi-nivel: filosofo, tradutor, secretaria
  - arquitetura: conjuntos de camadas e seus protocolos

- detalhes de implementacao e especificacao de interfaces nao fazem parte da arquitetura
- pilha de protocolos: protocolos usados em cada camada no sistema
- interfaces e servicos: SAPs (service access points)
  - identificados unicamente por enderecos
  - exemplo: no sistema telefonico, SAP eh a tomada e endereco eh o numero de telefone
  - exemplo: no sistema postal, SAP eh a agencia, endereco eh o endereco do destinatario
- modelos de referencia: propostas concretas de arquiteturas de rede
  - tendencia de haver uma combinacao no uso desses modelos
  - dois importantes: OSI e TCP/IP
  - modelo OSI: interconexao de sistemas abertos (qualquer sistema que seguir os padroes pode se interconectar)
    - procedimentos podem ser encapsulados e atualizados facilmente
    - modelo proposto antes dos protocolos serem especificados (modelo nao dirigido para um conjunto especifico de protocolos)
    - 7 camadas: fisica, enlace, rede, transporte, sessao, apresentacao, aplicacao
    - fisica: transmissao fisica de bits; tensao para 1 e 0, tempo de duracao do bit
    - enlace: enquadramento; prover linha de transmissao sem erros para camada de rede (tratar quadros recebidos incorretamente/ perdidos/ duplicados); ack e nak; controle de fluxo, de erro e (em redes difusao) de acesso ao meio
    - rede: roteamento, operacao da sub-rede de comunicacao, contabilidade, interconexoes entre redes
    - transporte: transporte fim-a-fim dos dados origem→destino, garante ordem correta, identificacao das mensagens, controle de fluxo
    - sessao: estabelecer sessoes entre usuarios de maquinas diferentes, gerenciamento de tokens (cookies), sincronizacao
    - apresentacao: formato dos dados (MIME text), codificacao dos dados, sintaxe e semantica da informacao
    - aplicacao: contem os protocolos e servicos usados pelos usuarios
  - modelo TCP/IP:
    - inicialmente era um conjunto de protocolos com certas caracteristicas para uso militar
    - nao difere os conceitos de servico, interface e protocolo
    - protocolos surgem antes do modelo
    - protocolos precisavam ser flexiveis para suportar diferentes aplicacoes
    - modelo surge oficialmente com o re-projeto dos protocolos TCP/IP
    - 4 camadas na teoria: interface (fisica + enlace do OSI), rede, transporte, aplicacao
    - 5 na pratica: fisica, enlace, rede, transporte, aplicacao (essa ultima

- engloba sessao, apresentacao e aplicacao do OSI)
- interface (hospedeiro-rede): protocolo nao definido pelo modelo, responsavel por transmitir pacotes IPs
- internet (rede): rede comutada por pacotes sem conexao, define o protocolo IP (cola da internet), roteamento de pacote e controle de fluxo
- transporte: comunicacao fim-a-fim, dois protocolos mais usados sao TCP e UDP
- aplicacao: protocolos e servicos usados pelos usuarios
- Projetando protocolos confirmados
  - problema dos dois exercitos: problema indecidivel
  - base: entidade A quer falar com entidade B (enviar msg), entidade B confirma recebimento (enviado ack)
  - confirmacao: realimentacao que a entidade A tem para saber se msg foi entregue em B com sucesso ou nao
  - cenario 1: A envia msg para B, B responde com ack para A
  - o protocolo nao eh confirmado, porque:
    - A envia msg para B, B responde com ack, mas o ack eh perdido
    - A fica esperando por uma confirmacao que nunca chegara
  - solucao: temporizadores e retransmissao de mensagem
  - cenario 2: A envia msg para B e dispara temporizador, B responde com ack. Se A recebe, fim. Caso contrario, A retransmite ao fim do temporizador
  - o protocolo continua sem confirmacao, porque:
    - B deve distinguir o recebimento de duas msgs identicas (caso contrario, B envia ack que confirma outra msg enviada por A)
  - solucao: msgs devem ter identificadores (numeros inteiros finitos)
  - o protocolo continua sem confirmacao, porque: identificadores podem ser repetidos e o problema volta a acontecer
  - solucao: incorporar timestamp a msg e validade ao ack
- Camada fisica:
  - baud: unidade de sinalizacao
    - baud/s: velocidade de sinalizacao, ie, numero de vezes por segundo que o valor de um sinal eh injetado na linha
    - baud/s  $\neq$  bit/s
  - objetivo da camada fisica: transferencia de bits / problema a ser resolvido: codificacao desses bits
  - meios fisicos de transmissao:
    - escolha depende da largura de banda, atraso/ latencia, custo, facilidade de instalacao/ manutencao
    - dois tipos de meios: guiados (fios, cabos), nao guiados (ondas, lasers)
    - meio otico/ magnetico:
      - informacao gravada em meio magnetico, midia levada de um lugar ao outro e lida no destino
      - vantajoso em certos cenarios mas nao normalmente
    - par trancado: mais antigo, mais comum, telefonia, baixo custo

- cabo coaxial: melhor blindagem que par trancado, TV a cabo e redes locais
- fibra optica: tecnologia atual, problema (conversao de sinal eletrico e otico)
- especto eletromagnetico: conjunto de todas as frequencias (campo eletromagnetico produz ondas que se propagam pelo espaco em frequencias diferentes)
  - frequencia: numero de oscilacoes por segundo (herz)
  - comprimento de onda: distancia entre dois pontos maximos/ minimos consecutivos
  - $v = Lf$  (velocidade = comprimento \* frequencia)
    - ou seja, para ondas na velocidade da luz (v fixo), quanto maior a frequencia, menor o comprimento e vice-versa
  - propagacao de ondas: reflexao, absorcao, desvanecimento com a distancia (aumenta com o inverso do quadrado da distancia)
  - ondas de radio: faceis de gerar, longas distancias e em todas as direcoes, penetram edificacoes, sofrem interferencia de equipamentos eletricos
  - microondas: taxa de sinal/ruído mais alta, antenas (pratos) de TX e RX devem estar alinhados (necessario repeticao de sinal caso contrario), nao penetram edificacoes facilmente, podem ser refratadas por si mesmas, melhor que fibra optica por nao ter que ter o “direito de passagem” (direito de cavar um buraco pro cabo no terreno do vizinho), tecnologia barata, bandas especificas pra finalidades especificas
  - infravermelho: comunicacoes pequena distancia (controle remoto), TX e RX +- alinhados, baratos e faceis de instalar, nao passam por objetos solidos, se comportam como luz visivel, nao pode ser usada em ambientes externos (interferencia do sol)
- equipamentos:
  - telefone: recebe analogico, transmite analogico
  - modem: recebe digital, transmite analogico
  - codec: recebe analogico, transmite digital
  - digital transceiver: recebe digital, transmite digital
- sinais digitais: mais baratos, menos suscetiveis a ruidos, maior atenuacao
- capacidade do canal: taxa maxima de comunicacao de um canal
  - depende de velocidade de comunicacao (bits/s), largura de banda (hz), ruído no canal, taxa de erros
  - nyquist:
    - um sinal binario de  $2B$  bits/s precisa de uma largura de banda de  $B$  hz
    - pode-se aumentar a taxa usando  $M$  niveis de sinais
    - $C = 2B \log_2 M$  ( $C$  capacidade,  $B$  frequencia,  $M$  niveis de sinais)
  - shannon:
    - maior bit/s => menor tempo de transmissao de cada bit
    - valores muito altos de SNR implicam taxas de erro maiores
    - $C = B \log_2 (1 + \text{SNR})$  (SNR signal noise ratio)
- sistema de telefonia:

- grafo completo: cada um resolve seu problema de conectividade
- grafo “central”: central manual de comutacao que resolve o problema de todo mundo
- modelo hierarquico de dois niveis: “misto” dos dois
- modem: dispositivo que aceita uma sequencia de bits de entrada e produz uma portadora modulada na saida (e vice-versa)
  - transmissao eh feita modulando-se um dos parametros da portadora (carrier): amplitude, frequencia ou fase
  - como aumentar a velocidade de transmissao: transmitir mais bits por baud
- multiplexacao:
  - FDM (frequency division): divide o espectro em faixas e cada um recebe uma
  - TDM (time division): divide o tempo em slots e cada pessoa falar num slot por vez (podendo usar o espectro todo)
  - WDM (wave-length): variacao de FDM pra fibra otica
- comutacao: de circuito, de pacote (e de mensagem)
  - circuito: usado no sistema de telefonia
    - estabelecimento do circuito eh feito em fases: estabelecimento de conexao (obrigatoriamente confirmado), transferencia, termino
    - existe um circuito dedicado enquanto a chamada existir
    - precisa haver um circuito dedicado antes da transferencia de dados comecar
    - o unico atraso para a transferencia de dados eh o tempo de propagacao (nao existe problemas de: congestionamento, roteamento, enderecamento)
    - por serem circuitos dedicados, podem acabar se houver muitas ligacoes ao mesmo tempo
    - circuito dedicado pode ficar ocioso
    - se a central cair, todos os circuitos que passam por ela caem
  - mensagem: nao usado na pratica
    - nao se estabelece um caminho (circuito) origem→destino a priori
    - unidade de transferencia: mensagem (tamanho variavel)
    - nao eh adequado para trafego interativo
    - store-and-forward
  - pacote: internet no geral
    - unidade de transferencia: pacote (tamanho maximo)
    - adequado para trafego interativo
    - menos atraso e mais vazao em comparacao com comutacao de mensagem
- codificacao dos bits (slide de codificacao):
  - NRZ: 0 eh frequencia baixa, 1 eh frequencia alta
  - NRZI: no slot de 1, ele inverte
    - se for 0, mantem onde esta
    - se for 1, troca

- Manchester: bit 0 vira transicao alta-pra-baixa e bit 1 indica vira transicao baixa-pra-alta
  - forma de pensar: valor do bit = valor no final da transicao; e todo bit tem transicao
  - entao
    - 0 => tem transicao (todo bit tem) => acaba em 0 => começa em 1
    - 1 => tem transicao (todo bit tem) => acaba em 1 => começa em 0
- Camada de enlace:
  - responsavel pela comunicacao eficiente entre computadores adjacentes (fisicamente ligados por canal de comunicacao FIFO)
  - servico principal: transferir dados entre as camadas de rede origem e destino
  - servico sem conexao nao confirmado: conexao nao estabelecida a priori, quadros independentes enviados ao destino (que nao envia nenhuma confirmacao), quadros perdidos sao ignorados e tratados pelas camadas superiores; apropriado para servicos com baixa taxa de erro, trafego de tempo real (voz); normalmente usado em LANs
  - servico sem conexao confirmado: conexao estabelecida a priori, quadros enviados sao confirmados, mecanismo de temporizacao para retransmissao, servico para canais nao confiaveis (eg, comunicacao sem fio)
  - servico com conexao confirmado: necessario estabelecer conexao antes, quadros recebidos corretamente, camada de enlace pode entregar quadros em ordem, estabelecimento de conexao → transferencia → termino
  - confirmacao na camada de enlace eh otimizacao, nao requisito (pode ser deixada para a camada de transporte, que eh fim-a-fim)
  - framing: como fazer a delimitacao de quadros (unidade de informacao)
    - contagem de caracteres:
      - campo no cabecalho para especificar o numero de caracteres no quadro
      - erro nesse campo faz com que receptor perca sincronizacao (e consequentemente toda a comunicacao dali em diante)
      - nao usado na pratica
    - caracteres de inicio e fim de quadro:
      - quadro delimitado por caracteres especiais (DLE)
      - char stuffing: um DLE no meio do quadro eh prefixado por outro para distinguir do fim de quadro
      - usado em protocolos orientados a caracteres
      - se DLE for corrompido, se perde um quadro (e nao a comunicacao inteira)
    - flags de inicio e fim de quadro:
      - quadros delimitados por sequencia especial de bits: 01111110
      - bit stuffing:
        - TX ao encontrar CINCO (e nao seis) bits 1 consecutivos, insere um bit 0

- RX ao receber CINCO bits 1 seguidos de um bit 0 remove o bit 0
- violacoes de codigo da camada fisica:
  - existem codigos de transmissao que possuem uma transicao no meio do periodo de transmissao de um bit
  - o inicio e fim de quadro sao determinados por codigo de transmissao invalido
- controle de erro: entregar para a camada de rede os dados recebidos da camada fisica em ordem e sem repeticao
  - confirmacao positiva e negativa
  - temporizacao de quadros
  - IDs de quadros
  - retransmissao de quadros
- controle de fluxo:
  - evitar que TX inunde RX
  - usar mecanismo de realimentacao (implicito ou explicito) para que TX saiba do estado de RX
- piggybacking (confirmacao na carona):
  - embutir numa PDU de dados enviada de B para A a confirmacao de uma PDU enviada de A para B e ja recebida
  - melhor utilizacao do canal
  - utiliza apenas alguns bits (e nao uma PDU inteira somente para controle)
  - menos PDUs a processar, menos buffers em RX
- protocolos de janela deslizando:
  - cada PDU tem um campo de IDs de n bits
  - transmissor mantem conjunto de IDs que pode enviar (sending window)
  - receptor mantem conjunto de IDs que pode receber (receiving window)
  - os tamanhos das janelas nao precisam ser os mesmos
  - os IDs dentro da janela de transmissao representam PDUs ja enviadas mas nao confirmadas OU nao transmitidas ainda
  - os IDs dentro da janela de recepcao representam PDUs que podem ser aceitas
  - confirmacao: PDUs aceitas sao confirmadas na carona de uma PDU de dados (piggybacking) ou por PDU de controle
- colisao em protocolos:
  - duas entidades enviam dados simultaneamente de uma para outra
  - pipelining:
    - um quadro com erro no meio de uma sequencia deve ser ignorado ao chegar no RX?
    - o que o RX deve fazer com os quadros corretos restantes?
    - go back n:
      - RX ignora todos os quadros recebidos apos o quadro errado
      - confirma somente os quadros recebidos corretamente na sequencia
      - transmissao: temporiza o primeiro quadro nao confirmado / retransmite esse quadro / repete ate que todos sejam



confirmados ou enviados numero maximo de vezes

- selective repeat:
  - RX armazena todos os quadros recebidos corretamente
  - pode necessitar de muitos buffers caso o tamanho da janela seja grande
  - as duas solucoes geram tradeoffs entre bandwidth e uso de buffers
  - solucao adotada depende de qual recurso eh mais valioso
- determinando o tamanho da janela: numa janela de tamanho  $n$  podem ser transmitidos no maximo  $n/2$  quadros para nao haver sobreposicao de IDs
- protocolos orientados a bit
  - quadros e tamanhos em bits: 01111110, endereco (8), controle (8), dados ( $< 0$ ), checksum (16), 01111110
  - endereco: importante em linhas com varios terminais, usado para distinguir comandos de resposta em linhas ponto-a-ponto
  - controle: definir o tipo de quadro, indicar ID, confirmar quadros (piggybacking), interrogar estacoes
  - dados: PDU da camada de rede ou informacoes para entidade de enlace par
  - checksum: erros
- a camada de enlace eh dividida nas subcamadas LLC e MAC
- LLC (link logical control): funcoes de controle logico do enlace, subcamada superior
- MAC (medium access control): coordenacao do acesso ao meio, subcamada inferior
- ethernet: estrutura de quadro
  - preambulo (8), start of frame, endereco de destino (6), endereco de origem (6), tamanho (2, fim do header), dados (0-1500), pad (0-46), checksum (4)
  - enderecos de destino e de origem sao enderecos MAC (3 primeiros bytes identificam o fabricante e os 3 ultimos, modelo e numero de serie da placa)
  - preambulo: 10101010 - usado para sincronizacao RX e TX
  - inicio de quadro (sof): 10101011
  - pad: o campo de dados deve ter pelo menos 46 bits, se nao for:  $|\text{pad}| = 46 - |\text{dados}|$ ; serve para prevenir que uma estacao termine de transmitir um quadro antes do primeiro bit chegar no extremo do cabo e ocorra uma colisao
- hub: aparelho para diagnostico de rede, centralizacao e deteccao de colisoes
  - todo mundo no barramento escuta o que esta sendo transmitido
  - atualmente, na quarta geracao (switch-hubs, que enviam dados somente a porta correta)
- switch: enviam dados somente a porta correta
  - possui tabela de switch que faz o switch “aprender” quais hospedeiros podem ser alcancados

- switch vs roteadores:
  - switch: dispositivos da camada de enlace, tem tabelas de switch, implementam filtragem, algoritmos de aprendizagem
  - roteador: dispositivos da camada de rede, implementam algoritmos de roteamento
- token ring:
  - computadores conectados em ciranda, o computador que tem o token pode transmitir para os demais em ordem
  - starvation: se o computador anterior ao atual sempre transmitir, o atual “morre de fome” (pois nunca consegue transmitir)
- Subcamada MAC (faz parte da camada de enlace)
  - acesso de várias estações a um mesmo canal
  - problema: como alocar um único canal de difusão entre vários usuários?
  - premissas (alocação dinâmica, que é a normalmente usada):
    - existem  $n$  estações independentes que geram quadros a serem transmitidos
    - estação fica bloqueada até o quadro ser transmitido
    - único canal de comunicação (hardware: estações são equivalentes; software: estações podem ter prioridade)
    - colisões: transmissão simultânea de duas ou mais estações geram colisão; estações podem detectar colisões; quadros envolvidos em colisões devem ser transmitidos posteriormente
    - política de transmissão de quadros: continuous time x slotted time
    - detecção da portadora para transmissão de quadro: carrier sense (com detecção) x no carrier sense (sem)
  - como saber se houve colisão:
    - transmite e espera  $2T$ , em que  $T$  é o tempo de propagação do sinal no meio
    - se não houve colisão nesse tempo, é porque não aconteceu
    - esse tempo é suficiente para, no pior caso, a colisão acontecer no extremo oposto do cabo ( $1T$ ) e voltar ( $1T$ ) =  $2T$
  - ALOHA puro:
    - quadros são transmitidos em tempos totalmente arbitrários
    - ou seja, se a estação quer transmitir, ela transmite
    - muitas colisões pois não verifica se o meio está livre
    - colisões com quadros transmitidos antes e depois do quadro atual
  - ALOHA slotted:
    - tempo dividido em slots
    - transmissão somente no início do slot
    - colisões somente com quadros transmitidos depois do quadro atual
  - CSMA p-persistent:
    - escuta o canal; se canal está livre, há chance  $p$  ( $p$  entre 0 e 1) da transmissão ocorrer
    - portanto, há chance  $1-p$  da transmissão não ocorrer
    - se a transmissão não ocorrer, repete o processo já no próximo slot

- se ocorre colisao, espera um tempo aleatorio e repete o processo (se o tempo nao fosse aleatorio, ia sincronizar as colisoes)
- CSMA 1-persistent:
  - caso particular do CSMA p-persistent, com  $p=1$
  - ou seja, assim que o meio esta livre, a estacao transmite
- CSMA nao persistente:
  - similar ao 1-persistent
  - a diferenca eh que no caso do canal estar ocupado, o nao persistente espera um tempo aleatorio antes de voltar a ouvir o canal (espera um tempo aleatorio antes de repetir o processo)
- CSMA/CD: collision detection
  - uma estacao, ao detectar colisao, para de transmitir o quadro imediatamente
  - consiste em alternar periodos de contencao e de transmissao
  - padronizado no ethernet
  - algoritmo de espera (binary exponential backoff - BEB):
    - slots duram 51.2 micro segundos (ie, essa eh a unidade de tempo)
    - ao ocorrer uma colisao, estacoes devem esperar um numero sorteado de unidades de tempo
    - slots de espera: numero inteiro no intervalo  $[0, 2^c - 1]$ , em que  $c$  eh o numero de colisoes consecutivas
    - para  $10 \leq c \leq 16$ , o limite superior do intervalo eh fixo em 1023
    - ao ocorrer a 17a colisao consecutiva, a estacao para de tentar retransmitir
  - ethernet eh CSMA p-persistent com politica BEB
    - portanto possui comportamento nao-deterministico (ie, probabilistico por causa do p-persistent e do BEB), o que faz com que o pior caso nao seja conhecido
    - quadros nao possuem prioridades
    - nao eh adequado para aplicacoes em tempo real
- Redes sem fio
  - infraestrutura:
    - backbone fixo, com fio
    - dispositivos se comunicam diretamente com pontos de acesso
    - adequado para locais onde APs podem ser instalados
  - sem infraestrutura (ad hoc):
    - backbone sem fio
    - dispositivos moveis comunicam diretamente entre si: elementos sao moveis e servem como roteadores
    - facil instalacao
  - problema da estacao escondida:
    - B transmite para A
    - C deseja transmitir para A
    - C nao escuta a transmissao de B, logo ocorre colisao
    - solucao: RTS (request to send)/CTS (clear to send) do protocolo MACAW

- B envia RTS para A, A responde com CTS
  - ao receber CTS, B envia o quadro e dispara temporizador
  - ao receber o quadro, A responde com ack, finalizando a comunicacao
  - C, ao notar o RTS de B, sabe que havera transmissoes ocorrendo, e portanto se cala
  - C pode estimar quanto tempo a comunicacao ira demorar, e se programa para voltar a transmitir so no final desse tempo
- problema da estacao exposta:
  - consequencia da solucao RTS/CTS da estacao escondida
  - A transmite para B, C deseja transmitir para D
  - C escuta a transmissao de A (o processo de RTS/CTS) e portanto espera
  - diminui a eficiencia da comunicacao
  - eficiencia maxima seria atingida se C transmitisse para D ao mesmo tempo que A transmite para B
  - ocorreria colisao no EMISSOR (e nao no receptor), o que nao eh um problema
- Deteccao de erros
  - bits de paridade
    - tornam sempre par (paridade par) ou impar (paridade impar) o numero de 1s em um byte enviado
    - simples, feito em hardware, permite deteccao de erros individuais
    - adiciona-se um 0 ou 1 no final do byte (para tornar o numero de 1s par ou impar)
    - pode tambem ser feito de forma bidimensional, em linhas e colunas (um bit de paridade para cada linha/ coluna)
      - permite a deteccao de 2 erros
      - 4 erros (formando um quadrado) se anulam e nao sao detectados
  - checksum
    - tomando os dados como uma sequencia de inteiros, calcula-se a soma em complemento de um
    - o complemento dessa soma (ou seja, "quanto falta pra encher") eh concatenado a mensagem
    - o receptor calcula a soma dos inteiros da mensagem recebida (original concat complemento):
      - se deu 0, tudo certo
      - se nao, teve erro
    - permite detectar varios tipos de erros comuns
  - CRC
    - pacotes tratados como polinomios em base 2
    - polinomio gerador definido a priori e disponivel pro emissor e pro receptor
    - divide-se o pacote pelo polinomio gerador
    - resto da divisao eh subtraido do pacote a ser enviado
    - receptor, ao repetir a divisao no pacote recebido, deve encontrar resto

- zero (se não houve erros)
- com um polinômio gerador de grau  $k$ , permite detectar:
  - toda rajada de erros de comprimento menor que  $k$
  - qualquer número ímpar de erros individuais
  - todos os erros de um ou dois bits
- cálculo:
  - adicionar  $k$  zeros ao final da mensagem (multiplicar por  $x^k$ , shiftar  $k$  posições para esquerda)
  - dividir a mensagem resultante por  $C(x)$  (polinômio gerador)
  - adicionar o resto da divisão de volta na mensagem
    - equivale a substituir os  $k$  zeros acrescentados pelo resto obtido
  - receptor repete a divisão por  $C(x)$  e deve encontrar resto zero
- Correção de erros: informação suficiente para a recuperação do original
  - códigos de hamming
    - vários bits de paridade são acrescentados segundo regras especiais
    - procedimento:
      - numerar os bits da palavra
      - posições potência-de-2 são bits de paridade
      - demais posições são espaços para bits originais
      - bit  $k$  controlado por bits de paridade correspondentes a cada componente de  $k$
  - retransmissão