# Trabalho Prático Nº.2 – Serviço *Over the Top* para entrega de multimédia

Duração: 8 aulas (9 semanas)

## Motivação

Ao longo do último meio século de vida da Internet (a rede das redes), observou-se uma mudança irreversível de paradigma. A comunicação extremo-a-extremo, de sistema final para sistema final, dá lugar ao consumo voraz de conteúdos de qualquer tipo, a todo o instante, em contínuo e muitas vezes em tempo real. Este novo padrão de uso coloca grandes desafios à infraestrutura IP de base que a suporta. Apesar de não ter sido originalmente desenhada com esse requisito, tem sido possível resolver a entrega massiva de conteúdos com redes sofisticadas de entrega de conteúdos (CDNs) e com serviços específicos, desenhados sobre a camada aplicacional, e por isso ditos *Over the Top* (OTT). Um serviço de multimédia OTT, pode por exemplo usar uma rede *overlay* aplicacional (ex: *multicast* aplicacional), devidamente configurada e gerida para contornar os problemas de congestão e limitação de recursos da rede de suporte, entregando em tempo real e sem perda de qualidade os *media* diretamente ao cliente final. Serviços bem conhecidos como o Netflix ou o Hulu, fazem *streaming* sobre a rede IP pública. Daí a designação de "*Over-the-top streaming services*". Para tal formam uma rede *overlay* própria, assente em cima dos protocolos de transporte (TCP ou UDP) e/ou aplicacionais (HTTP) da Internet. Neste trabalho pretende-se conceber e prototipar um desses serviços, que promova a eficiência e a otimização de recursos para melhor qualidade de experiência do utilizador.

## Objetivos

Usando primariamente o emulador CORE como bancada de teste, e uma ou mais topologias de teste, pretende-se conceber um protótipo de entrega de áudio/vídeo/texto com requisitos de tempo real, a partir de um servidor de conteúdos para um conjunto de N clientes. Para tal, um conjunto de nós pode ser usado no reenvio dos dados, como intermediários, formando entre si uma rede de *overlay* aplicacional, cuja criação e manutenção deve estar otimizada para a missão de entregar os conteúdos de forma mais eficiente, com o menor atraso e a largura de banda necessária. A forma como o *overlay* aplicacional se constitui e se organiza é determinante para a qualidade de serviço que é capaz de suportar. A figura 1 ilustra esta visão geral.

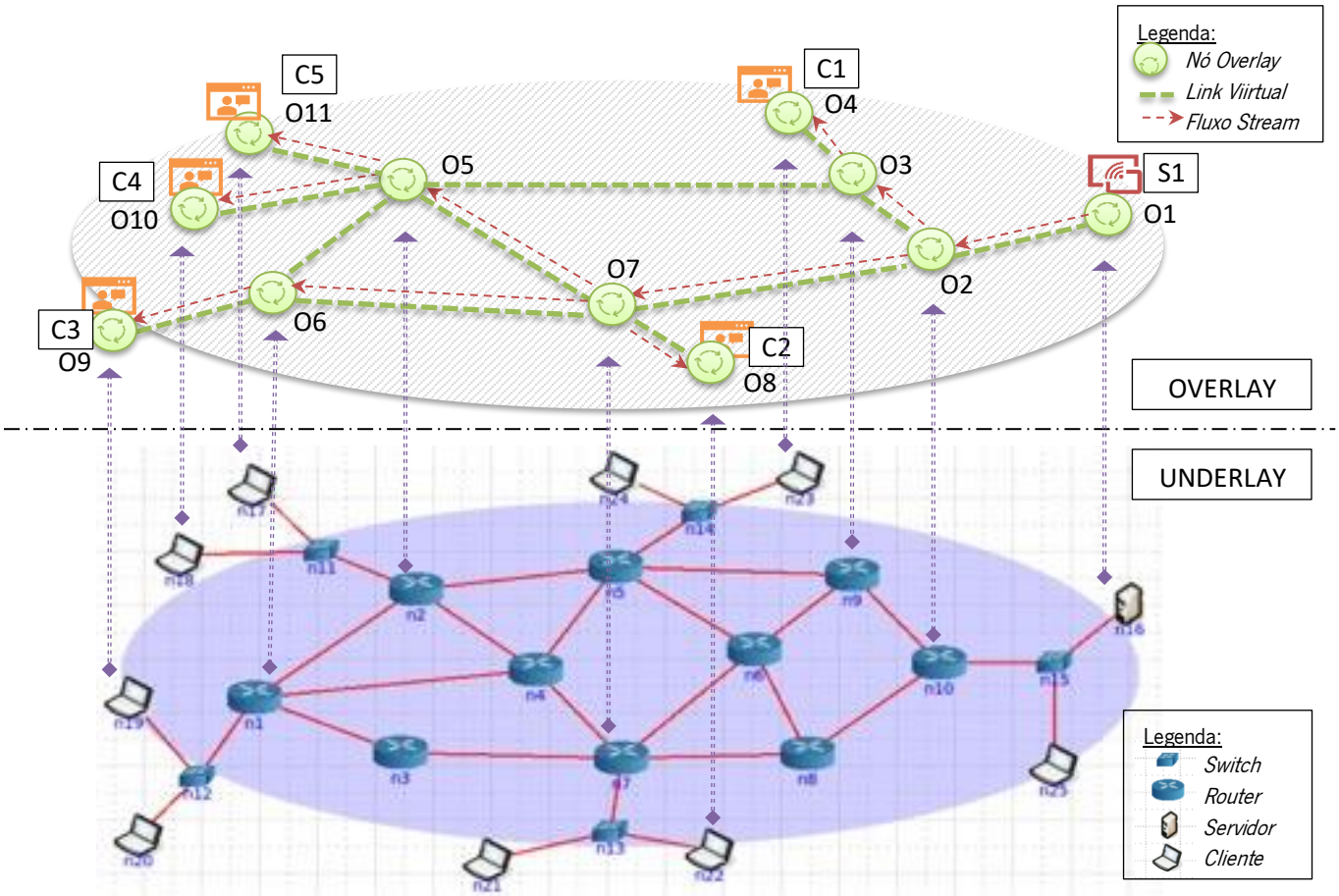



**Figura 1: Visão geral de um serviço OTT sobre uma infraestrutura IP**

## Descrição detalhada

Na figura 1 estão 5 clientes (**C1**, **C2**, **C3**, **C4** e **C5**) a tentar consumir uma *stream multimédia* a ser enviada pelo servidor **S1**. Não havendo *overlay* aplicacional, cada um dos 5 clientes tem de abrir uma conexão para o servidor, e o servidor tem de gerar 5 fluxos de dados idênticos, um por cada cliente. Esta solução *naïve* tem problemas óbvios de escalabilidade, pois a partir de um determinado número de clientes *N*, o servidor e/ou a rede deixam de conseguir suportar os *N* fluxos sem perda de qualidade. Uma abordagem mais eficiente pode ser conseguida adicionando nós de uma rede *overlay* (**O1**, **O2**, ... **O11**) construída sobre a rede *underlay* de suporte. Os nós da rede *overlay* estão instanciados diretamente em nós da rede *underlay*, pois são na verdade aplicações em execução em determinados sistemas físicos previamente selecionados. Para facilitar o cenário, vamos considerar que só há um servidor de *streaming* e que esse servidor é também um nó da rede *overlay*. Ou seja, o servidor **S1** da Figura 1, é também o nó **O1** da rede overlay, em execução no sistema servidor **n16** da rede de suporte. Por seu lado os clientes de *streaming* (**C1**, **C2**, **C3**, **C4** e **C5**), responsáveis por receber e reproduzir os conteúdos, são também nós *overlay* (respetivamente **O4**, **O8**, **O9**, **O10** e **O11**), instanciados em equipamentos da rede *underlay* (**n23**, **n22**, **n19**, **n18** e **n17**).

De salientar que a rede *overlay* tem muito menos nós e ligações que a rede de suporte, pois não é imaginável nem desejável que o mapeamento possa ser de um para um. Logo, as ligações na rede *overlay* são na realidade conexões de transporte (TCP ou UDP), que atravessam uma ou mais ligações na rede de suporte. Por exemplo, a ligação virtual entre **O3** e **O5**, vai provavelmente ser suportada pelos links **n9** ←→ **n5** ←→ **n2** da rede de suporte, se essa for a melhor rota IP de **n9** para **n2**. A localização dos nós da rede *overlay* pode ser calculada ou escolhida manualmente. Na figura os nós da rede *overlay* estão instanciados em todo o tipo de equipamentos, incluindo *switches* e *routers*, o que sendo possível no emulador CORE não é realista. Numa rede real, os *switches* e *routers* são equipamentos dedicados, que não executam aplicações genéricas. No CORE é possível porque todos os sistemas são *containers* Linux. Será, no entanto, aconselhável colocar apenas sistemas terminais a executar a aplicação dos nós *overlay*.

Quando um nó da rede *overlay* começa a sua execução, precisa de conhecer pelo menos um outro nó qualquer da rede a quem se ligar. Ou, em alternativa, usar um nó bem conhecido e predeterminado (*bootstrapper*), cuja função é ajudar a construir a rede. Esse primeiro contacto serve simultaneamente para se dar a conhecer e para obter uma lista de outros nós com quem se ligar. Pode-se usar por exemplo o servidor de *streaming* como *bootstrapper* permanente, que vai conhecer todos os nós da rede *overlay*. Uma estratégia simples para se manter o overlay a funcionar é procurar garantir que cada nó tem pelo menos N vizinhos (ex: N=3). Estas ligações virtuais com os vizinhos devem ser mantidas ativas, e eventualmente monitorizadas, durante todo o tempo de execução.

Uma vez construído o *overlay*, torna-se necessário identificar os melhores caminhos para o fluxo de dados, desde o servidor aos clientes. Para isso os nós precisam de criar uma rota para o fluxo, ou uma tabela de rotas. Essa tabela pode ser preenchida por iniciativa do servidor de *streaming*, que envia uma mensagem a inundar a rede em todas as ligações para se dar a conhecer, ou por iniciativa dos clientes, que inundam a rede a pedir pelo conteúdo. Ou outra estratégia dinâmica que preencha as tabelas com caminhos e custos desses caminhos. Como métrica pode-se usar o nº de saltos, ou outras medidas de qualidade das ligações (atraso, largura de banda). Na figura vemos facilmente que o melhor caminho de **S1** para o **C1** é **O4-O3-O2-O1**. Por sua vez o melhor caminho de **S1** para **C2** é **O8-O7-O2-O1**. Mas não queremos que os dados passem duas vezes na ligação **O2-O1** que é comum a estes clientes, gerando tráfego redundante e ineficiência. Para tal a tabela com a rota em **O2** deve dizer o seguinte: os pacotes do fluxo **F**, chegam vindos de **O1**, pela conexão de entrada **O1-O2**, com uma métrica de 1 salto, e devem ser replicados para **O7** e **O3**, nas conexões de saída **O2-O7** e **O2-O3**. Ou, de forma resumida: *{ Fluxo: F, Origem: O1, Métrica: 1, Destinos: O7, O3, Estado: ativa }*.

A lista mínima de requisitos a considerar é a seguinte:

- Um nó da rede *overlay* é um programa (aplicação) que se executa manualmente numa máquina da rede IP de suporte;
- Os nós da rede *overlay* podem ser criados e destruídos dinamicamente (início e fim de execução do software);
- Quando se junta à rede *overlay*, um nó deve estabelecer e manter conexões de transporte (TCP ou UDP) com X nós da rede, que serão seus vizinhos;
- Ao iniciar a execução, o nó da rede tem de conhecer pelo menos um outro nó da rede, que pode ser o servidor de conteúdos, que o ajuda a obter a sua lista de X vizinhos;
- Os nós da rede *overlay* precisam de construir e manter uma tabela de rotas (uma por fluxo); como só há um fluxo, apenas uma rota (Fluxo, Custo, Origem, Destinos, Estado);
- Os nós da rede *overlay* reenviam todos os dados de acordo com essa tabela;
- A presença de ao menos dois servidores com diferentes streams.
- Utilização de métricas da rede para a construção das rotas

## Etapas sugeridas

Nota: as etapas não precisam ser seguidas obrigatoriamente de forma sequencial!

- Etapa 0: Preparação das atividades
  - Escolher a linguagem de programação mais conveniente para todos os elementos do grupo;
  - Preparar uma topologia para testes e criar cenários de teste nessa topologia (ver cenários sugeridos);
  - Definir qual o protocolo de transporte que vai ser usado no *overlay*: TCP ou UDP (também seria possível equacionar o uso de um protocolo de aplicação como o HTTP, mas talvez seja mais complexo);
  - Implementar um cliente/servidor simples, baseado em exemplos, para o protocolo de suporte escolhido (TCP ou UDP), eventualmente que seja simultaneamente cliente e servidor;

- Etapa 1: Construção da topologia *overlay*
  - Construir uma aplicação (ex: **ott**) que é simultaneamente cliente e servidor, que atende numa porta predefinida, e que é capaz de receber e enviar mensagens em modo full-duplex; testar com envio e receção de mensagem simples de "HELLO";
  - Definir uma estratégia de construção do *overlay* (ver as alternativas seguintes, ou outras, a discutir com o docente)
  - Estratégia 1: Abordagem manual. Ao executar o programa indicam-se os X vizinhos em configuração ou na linha de comando. Exemplo: **$ ott <vizinho1> <vizinho2> <vizinho3>**. O abandono é detetado quando a conexão de transporte deixa de existir. A tabela de vizinhos e respetivas conexões não se altera durante a execução. Não há necessidade de nenhum nó de controlo.
  - Estratégia 2: Abordagem baseada num controlador. Ao executar o programa, indica-se apenas um nó como contacto para arranque da rede. Exemplo: **$ ott <bootstrapper>**. O novo nó envia mensagem de registo, a identificar-se, e recebe como resposta uma lista de X vizinhos. Cabe ao servidor definir quais são esses vizinhos com base no conhecimento que tem de todo o *overlay*, que para facilitar esta tarefa, sugere-se que o servidor obtenha essa informação de quem se deve ligar a quem a partir de ficheiro de configuração, construído manualmente. Definir estratégia para abandono, se o nó avisa, se deve registar-se periodicamente, etc..
  - Outras estratégias... (sugerir ou procurar alternativas, discutindo-as com o docente)
  - Manter as ligações com os vizinhos ativas e, opcionalmente, monitorar o seu estado;

- Etapa 2: Construção das rotas para os fluxos
  - Definir uma métrica para escolha da melhor rota (nº saltos, ou outra, como tempo de atraso, etc)
  - Estratégia 1: Por iniciativa do servidor de *streaming*, com anúncios periódicos.
    - Servidor envia mensagem de controlo com anúncio periodicamente; mensagem inclui identificação do servidor, identificação do fluxo, valor da métrica, etc;
    - Ao receber a mensagem cada nó atualiza uma tabela de rotas, com informação de Servidor/Fluxo, Origem, Métrica, Destinos, Estado da Rota; até serem necessárias as rotas ficam num estado inativo.
    - Cada nó que receba a mensagem deve reenviá-la a todos os vizinhos, com o cuidado de evitar repetições em ciclo e de enviar a quem lhe enviou a ele (inundação controlada, por exemplo enviando só uma vez cada mensagem, evitando enviar para trás pela conexão de onde recebeu)
    - Antes de reenviar a mensagem, a métrica deve ser atualizada (por exemplo, somar mais um salto)
    - As entradas estão inicialmente inativas, sendo ativadas pelo cliente quando liga, enviado uma mensagem de ativação da rota, pelo percurso inverso;
    - Cada mensagem com pedido de ativação do cliente deve ser reencaminhada em cada nó seguido o campo "Origem" da rota;
    - O cliente só envia um pedido de ativação, quando deseja receber os dados; não havendo clientes, as rotas existem nas tabelas, mas estão inativas, não havendo tráfego;

- Estratégia 2: Por iniciativa do Cliente de *streaming*, enviando um pedido diretamente ao servidor
  - A iniciativa pode ser do cliente que pretende receber a *stream*, enviando um pedido explícito de rota para essa *stream*;
  - Esta estratégia pressupõe que o servidor tem informação de registo e conhece o *overlay*, podendo por isso escolher o percurso e ensiná-lo ao cliente, que usa a informação obtida para efetivar o percurso;
  - Se o servidor não conhece a topologia, o pedido do cliente tem de ser enviado para todos (inundação controlada) até chegar a um nó que já tem informação da *stream*;
- Outras estratégias… (sugerir ou procurar alternativas, discutindo-as com o docente)

- **Etapa 3**: Teste dos percursos no *overlay*
  - Definir uma mensagem para teste dos melhores caminhos (ex: "PING"), que é gerada pelo servidor de *streaming* e é encaminhada pelos nós do *overlay*, usando as rotas;
  - Ao ser reenviada, gera um registo de "log" (informação de *debug*) em cada nó e/ou acumula o caminho por onde passa até ao(s) destino(s);

- **Etapa 4**: *Streaming*
  - Estratégia 1: Implementar um cliente e um servidor simples com base no código do livro de apoio [1];
    - Usar o código do livro de apoio (disponível em Python e em Java) como ponto de partida;
    - Adaptar o código se a linguagem de programação escolhida não for nem Python ou Java;
    - Com base no exemplo, previamente ajustado e comentado pela equipa docente [2], fazer um servidor capaz de ler o vídeo de um ficheiro e o enviar em pacotes, numerados, para a rede *overlay*;
    - Com base no exemplo, previamente ajustado pela equipa docente, fazer um cliente capaz de receber pacotes da rede *overlay*, com um número de sequência, e reproduzir o vídeo numa janela;
    - Usar como vídeo de teste o exemplo do livro *movie.Mjpeg* [2] (trata-se de um vídeo básico, de fluxo constante, que é uma sequência simples de imagens independentes, a enviar a intervalo de tempo fixo);
  - Estratégia 2: Implementar um cliente e um servidor que trocam animações em texto
    - Os vídeos são substituídos por simples animações, formadas por linhas de texto no terminal (cada linha, ou grupo de linhas, de texto é uma frame);
    - Definir o protocolo de *streaming*;
    - Criar um exemplo para testes;
  - Outras estratégias… (sugerir ou procurar alternativas, discutindo-as com o docente)

## Avaliação

Consideram-se os seguintes itens na avaliação com respetivos pesos relativos:

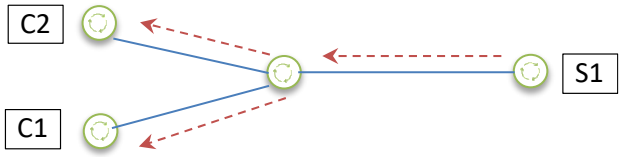
1. Topologia da Rede de *Overlay* (15%)
2. Gestão dos fluxos de dados (15%)
3. Protocolo aplicacional de controlo (15%)
4. Protocolo *streaming* (15%)
5. Solução final integrada (30%)
6. Avaliação Intermédia (5% + 5%)

Para cada um dos itens, consideram-se os seguintes subitens:
a. Especificação conceptual
b. Qualidade da implementação
c. Qualidade dos testes e da própria apreciação crítica da solução apresentada

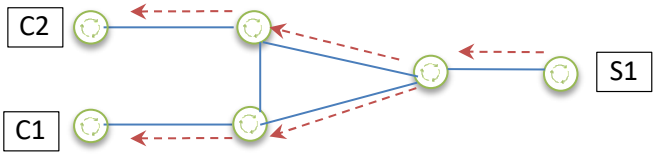
Adicionalmente, para solução final (item 5) consideram-se também os subitens:
d. Qualidade da defesa/apresentação
e. Qualidade do relatório

## Cenários de teste

- Cenário 1: overlay com 4 nós (um servidor, dois clientes e um nó intermédio)




- Cenário 2: overlay com 6 nós (um servidor, dois clientes, 3 nós intermédios)




- Cenário 3: *overlay* complexo
    - usar a figura 1 como fonte de inspiração...

## Referências

1. Kurose, J. (2025). *Computer Networking: A Top-Down Approach* (9th edition.). Pearson. Retrieved from https://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/programming.php
2. Exemplos do Livro anterior (adaptados): https://www.di.uminho.pt/~flavio/ESR/ProgEx.zip (*wget https://www.di.uminho.pt/~flavio/ESR/ProgEx.zip*)

## Relatório

O relatório deve ser escrito em formato de artigo com um máximo de 12 páginas (recomenda-se o uso do formato LNCS - Lecture Notes in Computer Science, instruções para autores em http://www.springer.com/computer/lncs?SGWID=0-164-6-793341-0). Deve descrever o essencial do desenho e implementação com a seguinte estrutura recomendada:

- Introdução
- Arquitetura da solução
- Especificação do(s) protocolo(s)
  * formato das mensagens protocolares
  * interações
- Implementação
  * detalhes, parâmetros, bibliotecas de funções, etc.
- Testes e resultados
- Conclusões e trabalho futuro

## Submissão

Cada grupo deve fazer a submissão (*upload*) do trabalho, usando a opção de "troca de ficheiros" associada ao seu grupo nos "Grupos" do Blackboard (*elearning.uminho.pt*), da seguinte forma:

- **ESR-TP2-PLx-Gy-Rel.pdf** para o relatório
- **ESR-TP2-PLx-Gy-Codigo.zip** ou **ESR-TP2-PLx-Gy-Codigo.rar** para a pasta com o código

em que **x** é o identificador do turno PL e **y** o número do grupo (e.g. ESR-TP2-PL3-G3-Rel.pdf para o relatório TP2 do grupo 3 do PL3)