



Mestrado em Engenharia Informática (MEI) Mestrado Integrado em Engenharia Informática (MiEI)

Perfil de Especialização **CSI** : Criptografia e Segurança da
Informação

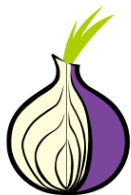
Engenharia de Segurança

Tópicos

- Criptografia Aplicada
 - Protocolos/aplicações criptográficas
 - TOR (The Onion Router)

Bibliography (English):

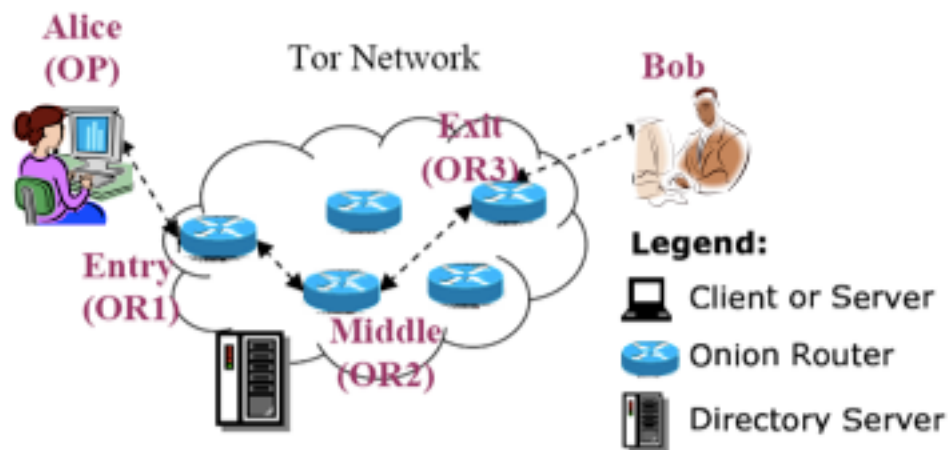
- TOR overview - <https://www.torproject.org/about/overview.html.en>
- Tor: The Second-Generation Onion Router - <https://svn.torproject.org/svn/projects/design-paper/tor-design.pdf>

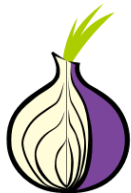


TOR (The Onion Router)



- **Protocolo criptográfico de rede** cujo objectivo é:
 - Garantir a **anonimidade ponto-a-ponto** (ao nível não aplicacional) de um utilizador na Internet;
 - Note que todos os protocolos que vimos até agora estabelecem túneis seguros/privados/confidenciais, mas não permitem anonimidade ponto-a-ponto (ao nível não aplicacional), na medida em que os *headers* dos pacotes (TCP / UDP / IP) ainda revelam muita informação sobre o utilizador.
 - Permitir disponibilizar **serviços anónimos** (*hidden services*) – www e outros serviços – sem revelar a localização dos mesmos.





TOR (The Onion Router)



- Rede sobreposta à Internet constituída por **Onion Routers (OR)**
 - Cada OR executa como um processo normal do utilizador sem necessidade de privilégios especiais;
 - Cada OR conecta-se a outros OR através de uma conexão TLS;
 - Existem OR “mais confiáveis” que actuam como *Directory Server* – fornecem listas assinadas dos OR conhecidos e seu estado actual, que são descarregadas periodicamente pelos utilizadores do TOR –;
 - Cada OR tem um par de chaves de identidade de longo prazo (*identity key*) utilizado para assinar os certificados TLS, o descritor do OR (contém chaves públicas, endereço, largura de banda, política de saída, etc.) e a directoria (no caso dos *Directory Server*);
 - Cada OR tem um par de chaves de curto prazo (*onion key*), rodadas periodicamente, utilizado para estabelecer chaves de sessão com o utilizador (através de Diffie-Hellman).
- Cada utilizador executa um software local: **Onion Proxy (OP)**
 - OP obtém dados da directoria, estabelece circuitos através da rede TOR e gere conexões das aplicações do utilizador.

How Tor Works:

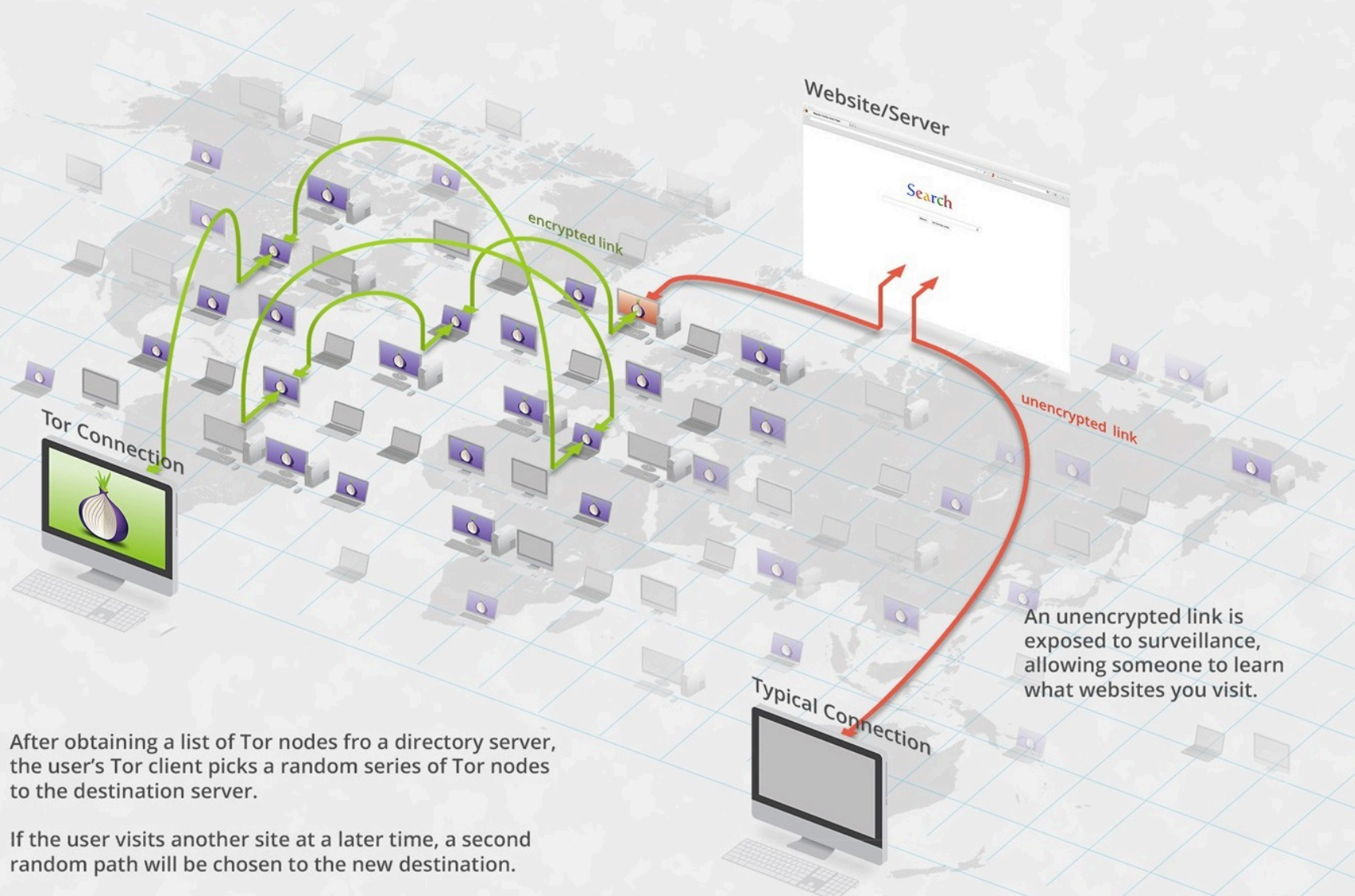
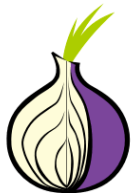
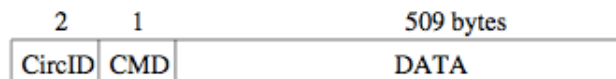


Imagem: <https://www.extremetech.com/internet/226106-onionscan-tests-dark-web-sites-to-see-if-they-really-are-anonymous>

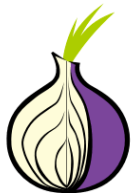


TOR (The Onion Router)

- OR comunicam entre si e com OP através de conexões TLS em pacotes (células) de tamanho fixo.
 - Cada célula tem 512 bytes e é constituída por um *header* e um *payload*;
 - O *header* inclui identificador do circuito circID que indica a que circuito a célula se refere (vários circuitos podem ser multiplexados sobre a mesma ligação TLS) e um comando CMD que descreve o que fazer com o *payload*;



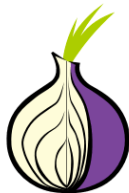
- Uma célula pode ser uma control cell (sempre interpretada pelo OR que a recebe) ou uma relay cell (leva dados ponto a ponto);
- O CMD das control cells pode ser:
 - padding (utilizado para *keepalive*),
 - create/created (para criar novo circuito), ou
 - destroy (para finalizar circuito);



TOR (The Onion Router)

- OR comunicam entre si e com OP através de conexões TLS em pacotes (células) de tamanho fixo.
 - As relay cells têm um *header* adicional com o streamID (identificador do stream: vários streams podem ser multiplexados sobre o mesmo circuito), hash ponto-a-ponto (para verificação de integridade), o tamanho do payload do relay e o CMD do relay;
- Todo o conteúdo do relay header e relay payload (i.e., o payload da célula) é cifrado ou decifrado (AES 128 bits) sequencialmente à medida que a célula se move ao longo do circuito;
- O CMD do relay pode ser:
 - data (para dados a serem comunicados na stream),
 - begin (para abrir nova stream), end (para fechar stream),
 - teardown (para fechar uma stream “estragada”),
 - connected (para notificar o OP que foi efectuado um begin com sucesso),
 - extend/extended (para extender o circuito por mais um OR),
 - truncate/truncated (para destruir apenas parte do circuito),
 - sendme (para controlo de congestionamento num OR), ou
 - drop (para testar stream);

2	1	2	6	2	1	498
CircID	Relay	StreamID	Digest	Len	CMD	DATA



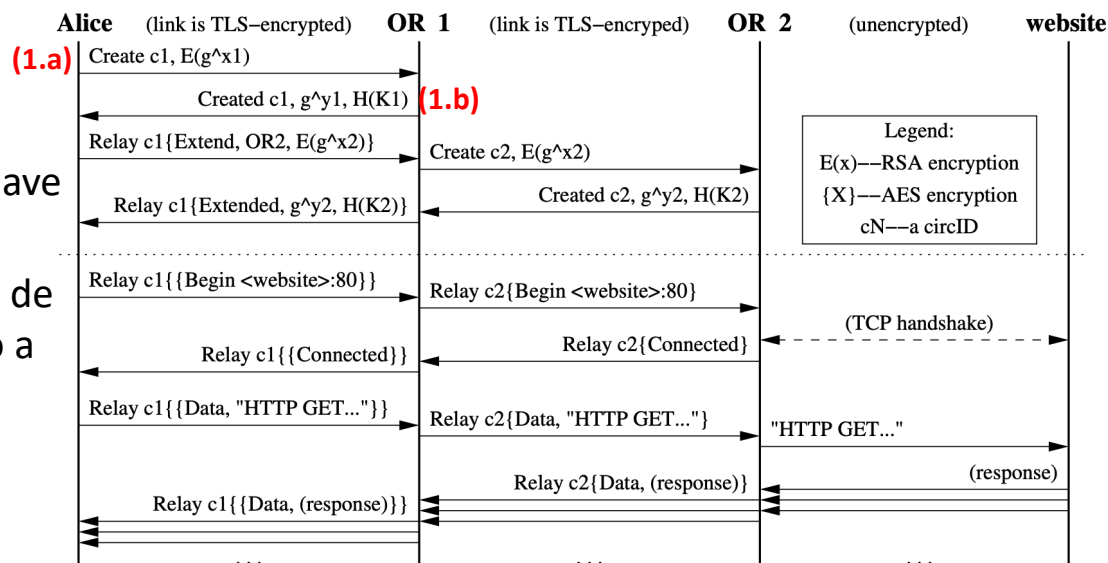
TOR - Anonimização

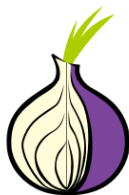
- OP pré-estabelece circuitos (normalmente de 3 OR) e muda para um novo circuito a cada 10 minutos, garantindo que apenas um número limitado de pedidos podem ser ligados uns aos outros no OR de saída;
- OP constrói o circuito incrementalmente, negociando uma chave simétrica com cada OR do circuito, OR a OR. Note-se que escolhe os OR a partir da lista de OR fornecida pelo *Directory Server* que tem associado as chaves de longo termo (*identity key* para assinar certificados TLS) e de curto termo (*onion key* para estabelecer chaves de sessão por Diffie-Hellman).

Passo 1a: O OP (Alice) envia uma célula de controlo *create* para o primeiro nodo (OR1) do circuito escolhido pelo OP, escolhendo um novo circID e com o payload da célula contendo a primeira metade da troca de chaves Diffie-Hellman (g^{x1} cifrado com a chave pública da *onion key* de OR1).

Passo 1b: O OR1 responde com uma célula de controlo *created*, contendo g^{y1} assim como a hash da chave K_1 negociada ($K_1 = g^{x1.y1}$).

A partir deste momento, OP e OR1 podem comunicar a célula de *relay* com o payload cifrado com a chave K_1 .





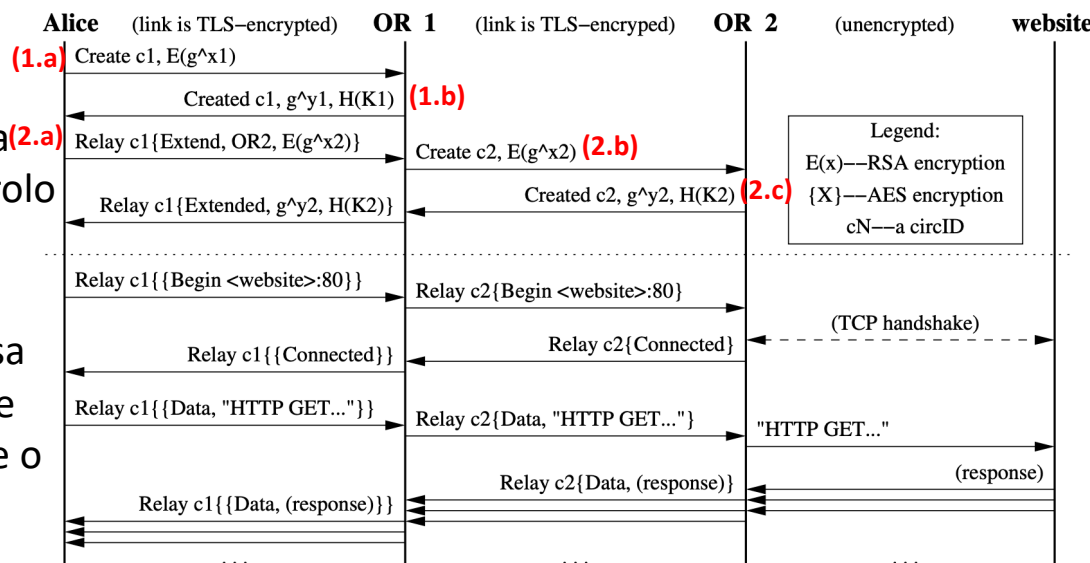
TOR - Anonimização

Passo 2a: Para estender o circuito, o OP (Alice) envia uma célula de *relay extend* ao OR1, identificando o próximo OR (OR2) e com g^{x2} cifrado com a chave pública da *onion key* de OR2 ($E(g^{x2})$).

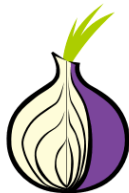
Passo 2b: OR1 escolhe um novo CircID, copia $E(g^{x2})$ para o payload de uma célula de controlo *create* e, envia-a a OR2.

Passo 2c: OR2 responde com uma célula de controlo *created* e OR1 copia o payload dessa célula para uma célula de *relay extended* que envia a OP. O circuito está estendido a OR2 e o OP e OR2 partilham a chave comum ($K_2 = g^{x2.y2}$).

A partir deste momento, OP e OR2 podem comunicar a célula de *relay* com o payload cifrado com a chave K_2 .



Para estender o circuito para nodos adicionais (OR_{n+1}), OP (Alice) efetua os passos anteriores, indicando sempre ao último OR (OR_n) no circuito para estender ao novo OR (OR_{n+1}).



TOR - Anonimização

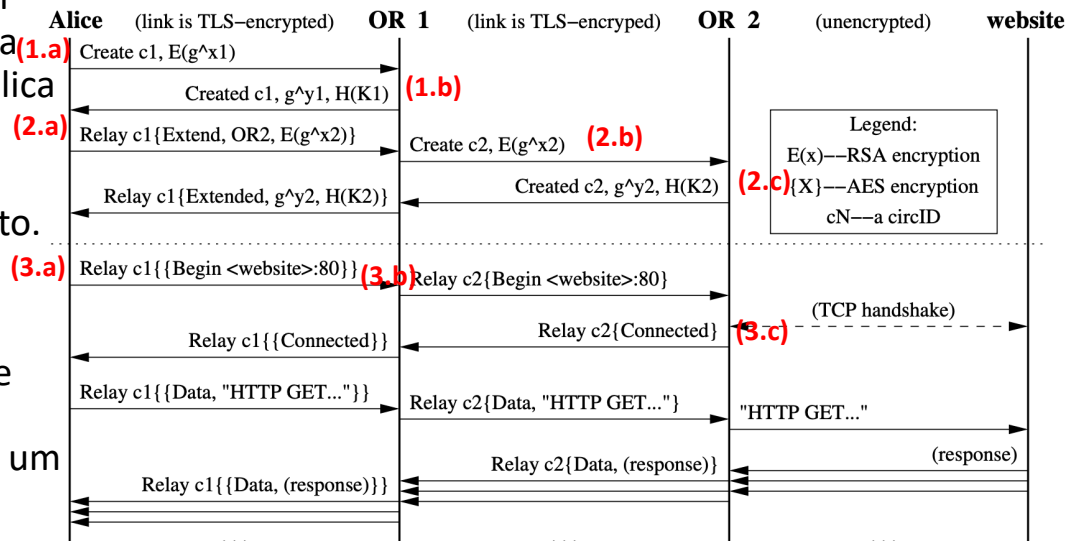
O Protocolo de estabelecimento do circuito garante autenticação unilateral (OP sabe que está a trocar chaves com o OR, mas o OR não sabe quem está a abrir o circuito – i.e., OP não usa a sua chave pública e mantém-se anónimo).

Assim que o circuito está estabelecido, OP pode enviar células de *relay* até ao último OR do circuito.

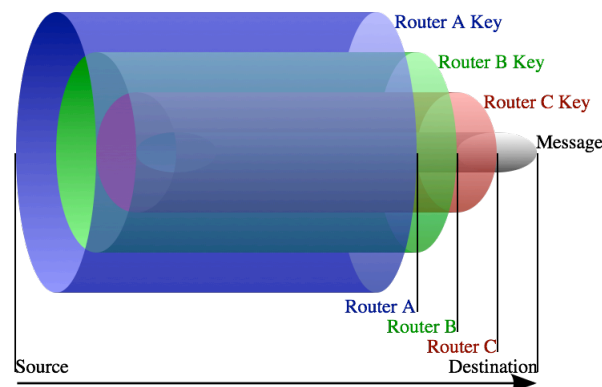
Passo 3a: OP (Alice) envia a célula de *relay* ao OR destinatário. Para construir essa célula, insere-lhe todos os dados necessários, gera o hash/digest e cifra com cada chave simétrica trocada com cada um dos OR (neste caso cifra com OR1 e depois com OR2).

Passo 3b: o primeiro OR (OR1) decifra o payload e verifica se o hash está correcto. Se estiver, efectua o comando pedido pelo OP. Se não estiver, pega no payload decifrado e envia uma célula de *relay* para o OR seguinte no circuito.

Passo 3c: O OR final responde, através do circuito estabelecido, com uma célula de *relay* com o payload cifrado para o OP. Os OR intermédios adicionam novos níveis de cifra à medida que a “reencaminham” para o OP.

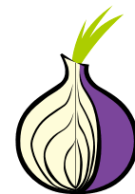


Condição de paragem, i.e., chegou ao OR de destino



TOR – Pontos de *Rendezvous* e serviços anónimos

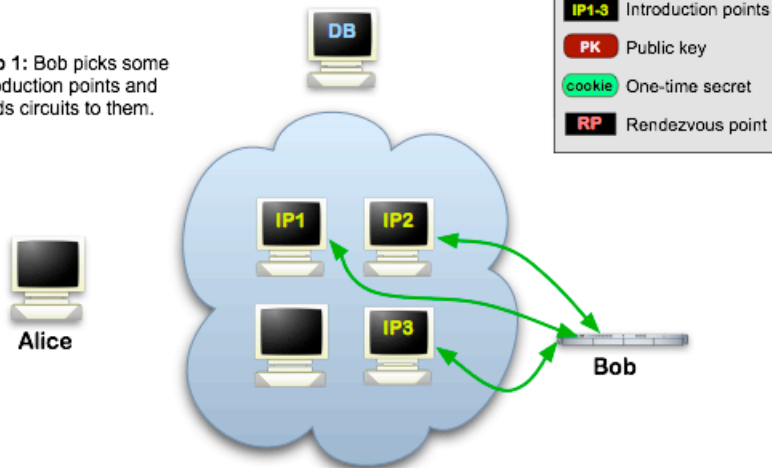
- **Pontos de *Rendezvous*** são o suporte para a disponibilização de serviços anónimos (também designados por *responder anonymity*).
 - Na rede TOR, a disponibilização de **serviços anónimos** permite a um OP (Bob) disponibilizar serviços TCP (por exemplo, servidor *web*) sem revelar o seu endereço IP.
 - Como o OP (Alice) que acede ao serviço anónimo também é anonimizado, tanto o OP que acede como o OP que é acedido são anónimos.



TOR – Pontos de *Rendezvous* e serviços anónimos

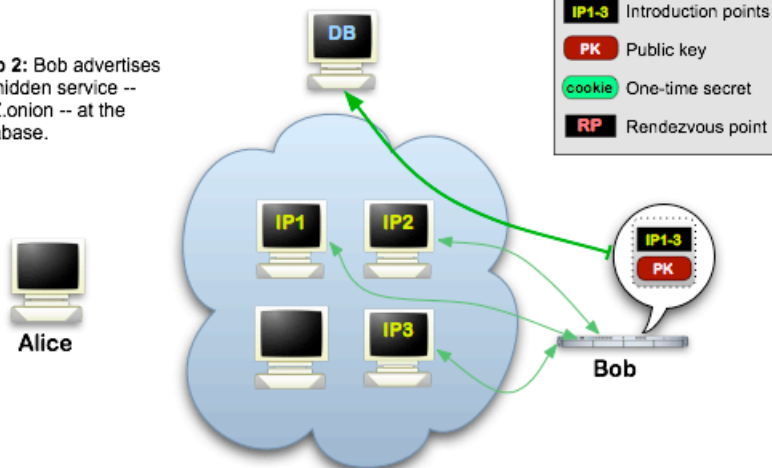
Tor Hidden Services: 1

Step 1: Bob picks some introduction points and builds circuits to them.



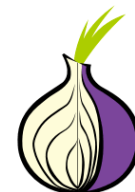
Tor Hidden Services: 2

Step 2: Bob advertises his hidden service -- XYZ.onion -- at the database.



Passos 1 e 2:

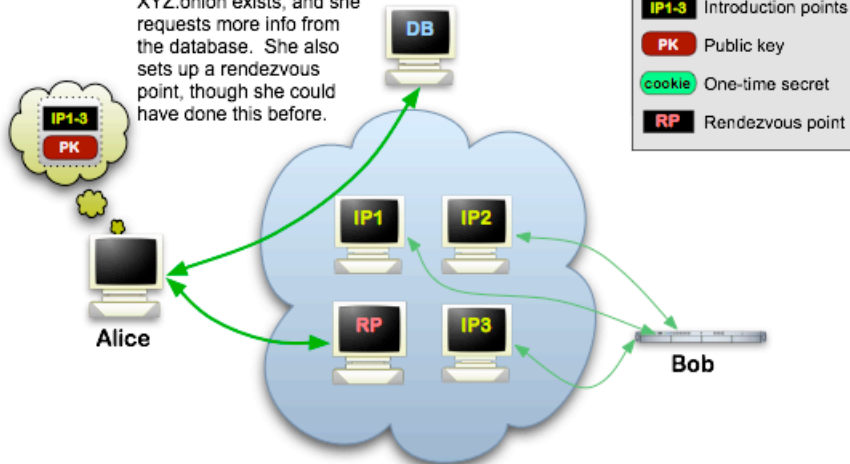
- Bob gera um par de chaves de longo prazo para identificar o seu serviço Web (a chave pública passa a ser o identificador do serviço);
- Bob escolhe alguns pontos de introdução (*introduction points*) e anuncia-os no *Directory Server*, assinando o anuncio (descriptor do serviço) com a sua chave privada;
 - O descriptor do serviço anónimo contém a chave pública do serviço e um sumário de cada ponto de introdução;
 - O descriptor/serviço será encontrado pelos clientes que acederem a XYZ.onion na rede TOR, onde XYZ é um nome de 16 caracteres derivado da chave pública do serviço.
- Bob cria um circuito TOR (conforme visto nos últimos slides) para cada um dos pontos de introdução e pede-lhes para esperarem por pedidos.



TOR – Pontos de Rendezvous e serviços anónimos

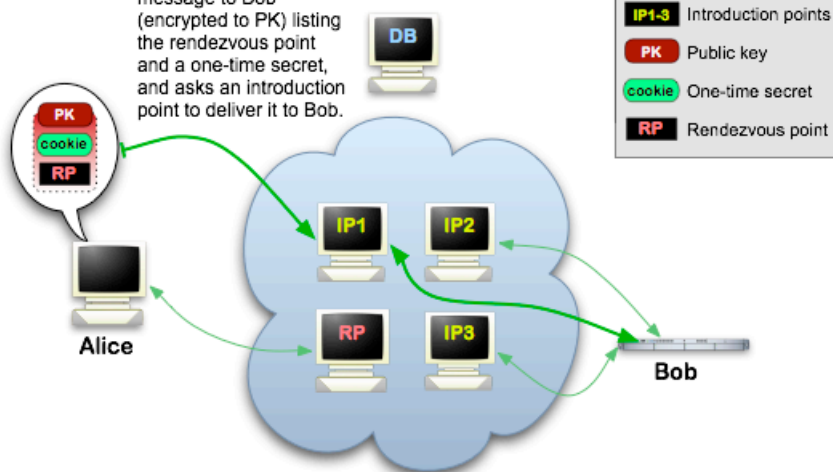
Tor Hidden Services: 3

Step 3: Alice hears that XYZ.onion exists, and she requests more info from the database. She also sets up a rendezvous point, though she could have done this before.



Tor Hidden Services: 4

Step 4: Alice writes a message to Bob (encrypted to PK) listing the rendezvous point and a one-time secret, and asks an introduction point to deliver it to Bob.



Passos 3 e 4:

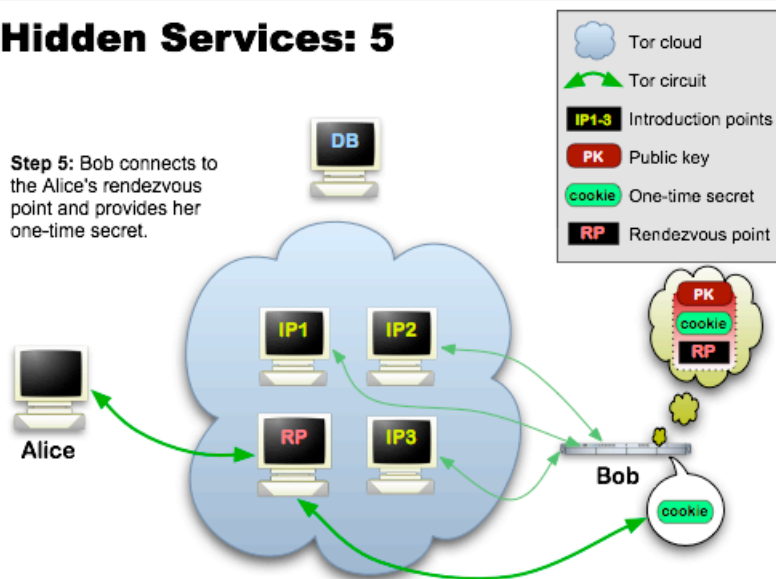
- Alice sabe da existência do serviço XYZ.onion e acede aos seus detalhes (chave pública e *introduction points*) no TOR através do Directory Server;
- Alice escolhe um OR como ponto de *rendezvous* (RP) para a conexão com o serviço XYZ.onion;
- Alice constrói um circuito TOR até ao RP e fornece-lhe um “*rendezvous cookie*” (segredo aleatório único) para posterior reconhecimento do serviço XYZ.onion;
- Alice abre um *stream* anónimo até um dos pontos de introdução e fornece-lhe uma mensagem (cifrada com a chave pública de XYZ.onion) com informação sobre o RP, o “*rendezvous cookie*” e o início de troca de chaves Diffie-Hellman. O ponto de introdução reencaminha a mensagem para o serviço XYZ.onion através do circuito TOR criado nos passos anteriores.



TOR – Pontos de Rendezvous e serviços anónimos

Tor Hidden Services: 5

Step 5: Bob connects to the Alice's rendezvous point and provides her one-time secret.

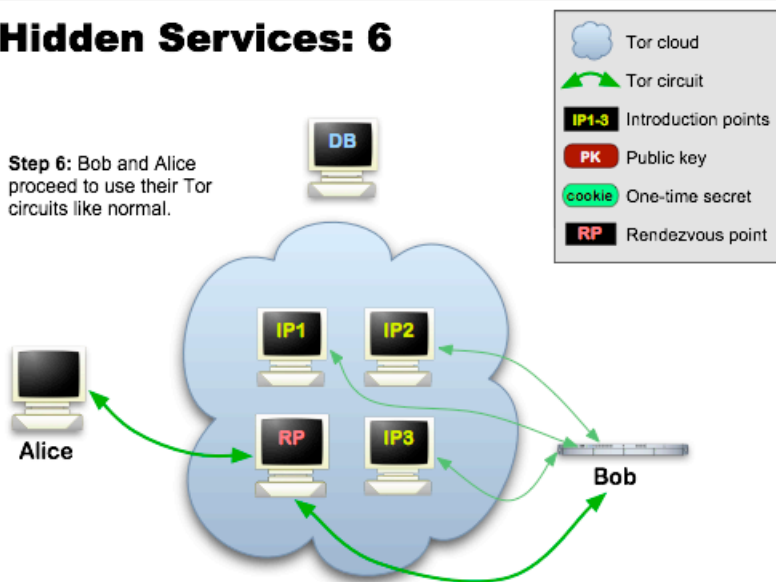


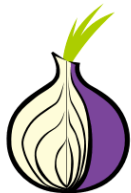
Passos 5 e 6:

- Se Bob (XYZ.onion) pretender falar com Alice (OP), Bob cria um circuito TOR até ao RP e envia o “rendezvous cookie”, a segunda parte da troca de chaves Diffie-Hellman e um *hash* da chave de sessão que agora partilha com Alice;
- O RP conecta o circuito de Alice com o circuito de Bob (normalmente o circuito consiste de 6 OR: 3 escolhidos por Alice sendo o terceiro o RP e, outros 3 escolhidos por Bob). Note-se que o RP não consegue reconhecer Alice, Bob nem os dados que transmitem;
- Alice envia uma célula de *relay begin* através do circuito que, ao chegar ao OP de Bob, conecta com o serviço disponibilizado por Bob (por exemplo, um servidor Web);
- Um *stream* anónimo foi estabelecido e Alice e Bob comunicam da forma normal num *stream* TOR.

Tor Hidden Services: 6

Step 6: Bob and Alice proceed to use their Tor circuits like normal.





TOR – Possíveis Ataques



O que acontece se o nosso servidor actuar como nodo de entrada?

- Sabe que o IP de John está a utilizar a rede TOR (interessante para SIGINT – *signal intelligence* – mas pouco mais).

O que acontece se o nosso servidor actuar como nodo intermédio?

- Nada. Recebe informação cifrada de um nodo TOR que vai para outro nodo TOR.

O que acontece se o nosso servidor actuar como nodo de saída?

- A missão do nodo de saída é decifrar a comunicação, e enviá-la para o serviço (web) de destino, pelo que não sabe quem foi o originante da comunicação mas sabe qual é a comunicação.
- Podemos argumentar que se o destino é SSL/TLS, não há hipótese de aceder à comunicação em claro do John.
- Errado. Foi demonstrado que é possível um *MitM attack* sobre o SSL/TLS, no nodo de saída.

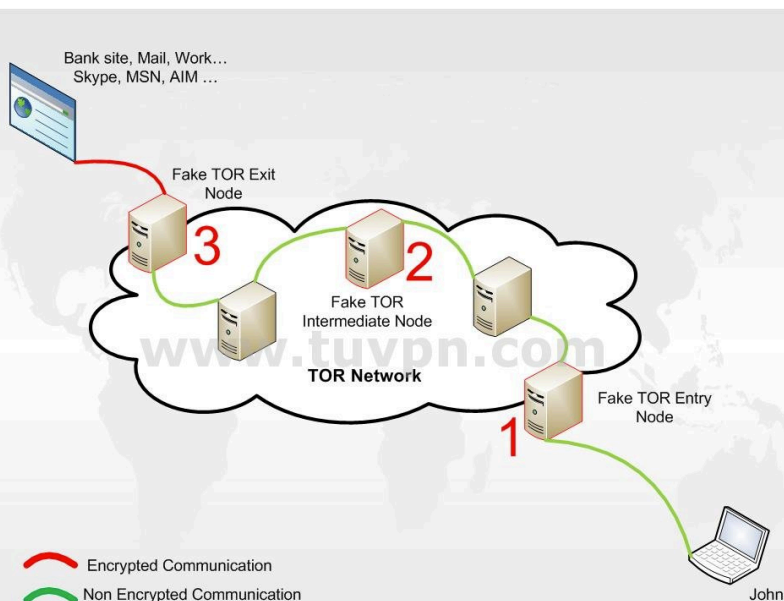
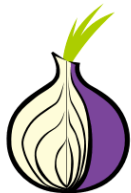


Imagem: <http://blog.tuvpn.com/2010/01/tor-vs-vpn-services-who-wins/>



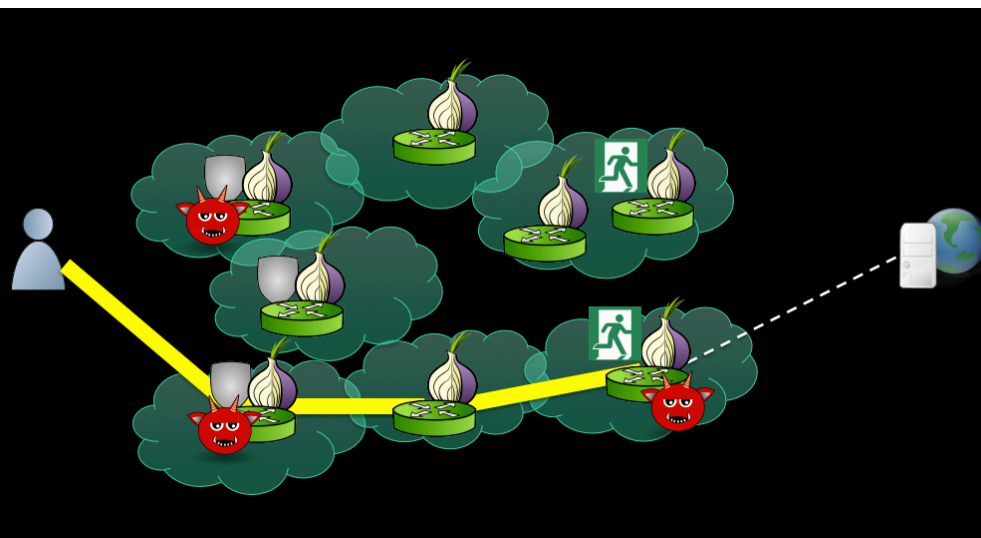


TOR – Possíveis Ataques



O que acontece se um servidor nosso actuar como nodo de entrada e outro servidor nosso actuar como nodo de saída?

- É possível calcular coeficientes de correlação – através de fórmulas matemáticas da área da probabilidade e estatística – na análise de pacotes nos dois nodos, baseado na frequência, timing e tamanho do pacote.
- Supõe-se que 80% dos utilizadores podem ser de-anonimizados no período de 6 meses.



- Custo elevado, já que uma grande percentagem dos OR (TOR tem cerca de 7.000 OR) têm que pertencer à entidade que queira efetuar um ataque de correlação.
- Utilizado por agências governamentais (BND, GCHQ, NSA).
- Supõe-se que o “Silk Road 2.0” foi de-anonimizado com base neste ataque.

Imagem: <https://www.deepdotweb.com/2016/10/25/tors-biggest-threat-correlation-attack/>



TOR

- Exemplo efectuado em menos de dez minutos, a partir da mesma máquina, no site www.whatismyip.com

Tor Browser

IP Address: 87.106.148.90

City: Karlsruhe

State/Region: Baden-wurttemberg

Country Code: DE

Postal Code: 76229

ISP: 1&1 Internet Ag

Time Zone: +01:00 UTC/GMT

Latitude: 49.0047

Longitude: 8.3858

IP Address: 92.222.172.41

City: Roubaix

State/Region: Nord-pas-de-calais

Country Code: FR

Postal Code: 59689

ISP: Ovh Sas

Time Zone: +01:00 UTC/GMT

Latitude: 50.6942

Longitude: 3.1746

IP Address: 94.242.206.170

City: Steinsel

State/Region: Luxembourg

Country Code: LU

Postal Code: L-7349

ISP: Root Sa

Time Zone: +01:00 UTC/GMT

Latitude: 49.6769

Longitude: 6.1239

Firefox

IP Address: 94.132.113.217

City: Porto

State/Region: Porto

Country Code: PT

Postal Code: -

ISP: TVCABO Portugal, S.A.

Latitude: 41.1496

Longitude: -8.611

- Qual a explicação?