Trabalho realizado por:

Carlos Matos, 2020245868

Mariana Magueijo, 2020246886

Mestrado de Engenharia e Ciência de Dados

2023/2024

Secure multiparty computation

Segurança e Privacidade

**A close-up of a logo

Description automatically generated**

Índice

[Introdução 2](#_Toc153736925)

[Caracterização do dataset 3](#_Toc153736926)

[Tratamento de colunas 3](#_Toc153736927)

[Atributos 4](#_Toc153736928)

[Aplicação dos protocolos PSI 4](#_Toc153736929)

[Divisão do dataset 5](#_Toc153736930)

[Naive Hashing 6](#_Toc153736931)

[Diffie-Hellman-based 7](#_Toc153736932)

[OT-based 7](#_Toc153736933)

[Tempo de execução 7](#_Toc153736934)

[Dados trocados entre entidades 9](#_Toc153736935)

[Registos intersetados entre entidades 10](#_Toc153736936)

[Nível de segurança e privacidade 10](#_Toc153736937)

[Conclusão 12](#_Toc153736938)

[Referências 12](#_Toc153736939)

# Introdução

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da cadeira de Segurança e Privacidade e tem como objetivo explorar os conceitos de *Secure Multiparty Computation.* Para aplicar este método, usamos os protocolos de *Private Set Intersection* (PSI).

Existem vários protocolos, mas apenas abordamos o *Naive hashing*, *Diffie-Hellman-based* e o *OT-based*, sendo estes explicados como funcionam na teoria, e quais os resultados obtidos na prática ao aplicá-los.

# Caracterização do dataset

O *dataset* escolhido para a realização deste trabalho consiste num conjunto de filmes com diferentes classificações dadas pelos utilizadores, em plataformas como a Netflix e a HBO. Existem 6 colunas que constituem este *dataset*: nome do filme, realizador, duração, género, data de lançamento, rating atribuído a cada música. Os dados encontram-se organizados da seguinte maneira:

A screenshot of a computer

Description automatically generated

Este *dataset* continha mais do que as colunas apresentadas, no entanto foram aproveitados apenas os dados necessários para este trabalho.

Como objetivo principal pretende-se que cada plataforma (Netflix e HBO) consiga trocar entre si os ratings de um utilizador, de forma privada, com o intuito de tornar possível obter a interseção dos dois conjuntos de dados. Através desta interseção, cada plataforma terá conhecimento dos filmes que o utilizador classificou e, com base nisso, poderá efetuar sistemas de recomendação de filmes.

## Tratamento de colunas

O *dataset* original continha 12 colunas, mas, como dito anteriormente, este possuía informação irrelevante para o objetivo estabelecido do trabalho.

A screen shot of a computer

Description automatically generated

Dito isto, foram feitas modificações no mesmo de modo a uma melhor adaptação ao trabalho, como adição, modificação ou remoção de colunas.

Primeiramente, alteramos o nome dos 6 atributos que iríamos utilizar para o nosso *dataset* final para “Filme”, “Realizador”, “Ano lancamento”, “Rating”, “Duracao”, “Genero”.

Na coluna do “type” começamos por remover todas as linhas que tinham a denominação de “TV Show” de modo a ficarmos só com os filmes. A coluna de “Genero”, poderia apresentar mais do que um valor, por exemplo “International TV Shows, TV Dramas, TV Mysteries”. Nestes casos, decidimos simplificar de modo que apenas o primeiro valor da lista dada, no caso do exemplo dado, “International TV Shows”. Por fim, uma vez que o rating apresentava valores que não iam de encontro ao que pretendíamos, substituímos estes valores por valores *random* de 1 a 5.

Por fim, eliminamos todas as outras colunas que não consideramos serem relevantes para este trabalho.

## Atributos

Após uma breve apresentação do *dataset* é necessário explicitar melhor o significado dos mesmos.

* Nome do filme;
* Realizador: se um indivíduo gostar de um filme de um determinado realizador, existe uma maior probabilidade de voltar a ver outros filmes do mesmo;
* Duração: duração, em minutos, do filme;
* Género: indica o tipo de filme. Poderá permitir recomendar aos utilizadores géneros que eles tenham visto anteriormente e que, à partida, sejam do seu agrado. É composto por diversas categorias;
* Data lançamento: ano em que o filme foi lançado;
* Rating atribuído: classificação que o utilizador atribui ao filme, sendo o fator principal a considerar durante a criação de modelos de recomendação. Poderá apresentar valores de 1 a 5.

Estes serão, assim, os atributos que representam os dados em questão e os quais se pretende trocar/intersetar de forma segura e privada, utilizando os protocolos PSI.

# Aplicação dos protocolos PSI

O Private Set Intersection (PSI) é um protocolo que permite que duas partes colaborem e descubram a interseção de seus conjuntos de dados sem revelar informações específicas sobre os elementos individuais desses conjuntos. É útil em situações em que duas partes têm conjuntos de dados privados e querem descobrir se existem elementos em comum entre eles, mas não desejam divulgar os detalhes específicos desses elementos.

A red and blue circles with green ticks

Description automatically generated

* **Naive hashing**: considerando apenas 2 entidades (A e B), ambas chegam a um consenso de usar a função de hash H(x). Posto isto, B envia os seus dados encriptados com a função H(x), A compara os seus hashes com os enviados por B e reenvia a interseção entre estes, mais especificamente os que apresentam valores idênticos.
* **Diffie-Hellman-based**: pode ser utilizado para estabelecer uma chave secreta entre duas partes, que posteriormente é usada para proteger a troca de informações durante o processo de interseção privada de conjuntos. Isso ajuda a garantir a confidencialidade dos dados durante a execução do protocolo PSI. Este protocolo assume claramente um alto grau de confiança entre A e B: A pode falsificar uma correspondência com B enviando de volta a B a mensagem que recebeu; B (ou A) também pode descobrir se tem uma correspondência sem revelá-la a A, enviando lixo na última etapa do protocolo.

* **Server-aided**: tipo de protocolo em que um servidor desempenha um papel ativo na realização da computação ou execução de operações criptográficas em conjunto com os participantes. A e B confiam no servidor, sendo que este não deve guardar informação de A e B. A única informação dada ao servidor é o número de itens que A e B originalmente têm e o tamanho da sua interseção (A interseção B).

A diagram of a computer network

Description automatically generated

* **OT-based**: imaginando que A pretende saber uma das 4 mensagens de B. A gera um par de mensagens público-privadas e 3 chaves públicas. Estas chaves públicas são enviadas para B, encriptando as suas mensagens com as mesmas. B envia as mensagens encriptadas para A. Como A apenas possui uma chave privada que corresponde a uma das chaves públicas enviadas, logo apenas poderá desencriptar uma mensagem e aprender a mesma. Deste modo, como B desconhece a chave privada de A não saberá qual foi a mensagem que esta conseguiu desencriptar.

# Divisão do dataset

De forma a ser possível aplicar os protocolos PSI e analisar os resultados, foi necessário criar dois *datasets*, um para a Netflix e outro para a HBO. Ambos os *datasets* devem ter um conjunto de dados semelhantes para tornar possível a sua interseção. Assim sendo, utilizamos os dados de *dataset* original e preenchemos o resto das linhas com dados *random*, criando assim dois *datasets* cada uma com 50000 linhas.

A screenshot of a computer program

Description automatically generatedA screen shot of a computer program

Description automatically generated

Por fim é aplicado um *shuffle* aos filmes de cada *dataset*, de modo a evitar que os dados em comum estejam todos seguidos.

Como é solicitado 5 *subdatasets*, cada uma com um tamanho diferente, dividimos o nosso *dataset* nos seguintes tamanhos: 10000, 20000, 30000, 40000 e o original 50000. A função usada para fazer isto foi a seguinte:

A screen shot of a computer code

Description automatically generated

Acreditamos que esta divisão seria a ideal para este trabalho e para a aplicação dos protocolos, pois o tamanho dos *datasets* aumenta uniformemente, assim como as interseções de dados entre *datasets* com o mesmo tamanho.

# Naive Hashing

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 10000 | 20000 | 30000 | 40000 | 50000 |
| Tempo | 0.141 | 0.236 | 0.343 | 0.465 | 0.569 |
| Pacotes | 39 | 48 | 58 | 66 | 78 |
| Bytes | 182657 | 362930 | 544052 | 724448 | 905222 |

# Diffie-Hellman-based

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 10000 | 20000 | 30000 | 40000 | 50000 |
| Tempo | 5.597 | 10.027 | 15.027 | 20.302 | 25.262 |
| Pacotes | 83 | 125 | 160 | 189 | 231 |
| Bytes | 1065677 | 2128782 | 3191224 | 4092162 | 5118812 |

# OT-based

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 10000 | 20000 | 30000 | 40000 | 50000 |
| Tempo | 0.25 | 0.29 | 0.328 | 0.369 | 0.422 |
| Pacotes | 96 | 137 | 170 | 196 | 229 |
| Bytes | 1081928 | 2108298 | 3167172 | 4061978 | 5151201 |

# Tempo de execução

O tempo de execução é importante para avaliar a performance dos protocolos PSI, pois se o tempo de execução for excessivamente longo, o protocolo pode não ser prático para cenários do mundo real, quando trabalhando com elevada quantidade de dados. Em comparação com isto, é importante ver a escalabilidade do protocolo à medida que o tamanho dos conjuntos de dados aumenta.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 10000 | 20000 | 30000 | 40000 | 50000 |
| Naive Hashing | 0.141 | 0.236 | 0.343 | 0.465 | 0.569 |
| Diffie-Hellman | 5.597 | 10.027 | 15.027 | 20.302 | 25.262 |
| OT-based | 0.25 | 0.29 | 0.328 | 0.369 | 0.422 |

Observando as imagens anteriores, é possível verificar que o tempo de execução evolui de forma linear, à medida que o tamanho dos nossos *datasets* aumenta.

Analisando individualmente é percetível que a abordagem que apresenta melhores resultados é a *Naive Hashing*, devido à sua complexidade comparando com as outras. Apesar de o protocolo *Diffie-Hellman* ter uma troca de pacotes menor do que o protocolo *OT-based*, este acaba por ter um tempo de execução significativamente maior, devido ao tipo de operações que ambas utilizam.

# Dados trocados entre entidades

A quantidade de dados trocados entre as entidades pode impactar diretamente o desempenho do protocolo PSI. Protocolos que exigem a transmissão de grandes volumes de dados podem enfrentar problemas de latência, consumo excessivo de largura de banda e, consequentemente, maior tempo de execução. Como, mais uma vez a escalabilidade é um ponto importante em qualquer projeto, é necessário garantir que protocolos eficientes sejam capazes de lidar com grandes volumes de dados sem comprometer significativamente o desempenho. A análise dos dados trocados em diferentes tamanhos de conjuntos ajuda a entender a capacidade do protocolo de escalar e maneira eficiente.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 10000 | 20000 | 30000 | 40000 | 50000 |
| Naive Hashing | 182657 | 362930 | 544052 | 724448 | 905222 |
| Diffie-Hellman | 1065677 | 2128782 | 3191224 | 4092162 | 5118812 |
| OT-based | 1081928 | 2108298 | 3167172 | 4061978 | 5151201 |

Mais uma vez, é visível uma evolução linear presente nos gráficos, assim como, para o mesmo tamanho do *dataset*, o *Diffie-Hellman* e *OT-based* são parecidos

Após a análise dos gráficos é possível verificar que o declive do *Diffie-Hellman* e *OT-based* é, aproximadamente, 5 vezes superior ao do *Naive Hashing*. Tendo em conta esta análise podemos concluir que a quantidade de bytes necessária para os diferentes tamanhos dos nossos *datasets* aumenta significativamente mais rápido nestas abordagens, devido à sua complexidade.

# Registos intersetados entre entidades

Para obter estes resultados, a quantidade de dados intersetados é crucial, pois é desta forma que se consegue perceber a fiabilidade dos dados. Também é de referir que cada protocolo usa processos diferentes, que influenciam os resultados de diferentes formas. Na tabela apresentada a baixo encontram-se os dados existentes em comum entre cada ficheiro, não havendo diferença de valores para diferentes protocolos:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Interseção | 10000 | 20000 | 30000 | 40000 | 50000 |
| Naive Hashing | 231 | 967 | 2149 | 3851 | 6132 |
| Diffie-Hellman | 231 | 967 | 2149 | 3851 | 6132 |
| OT-based | 231 | 967 | 2149 | 3851 | 6132 |

# Nível de segurança e privacidade

* **Naive hashing**: apresenta limitações na privacidade, já que utiliza apenas *hashes* para interseção de conjuntos. Se um atacante tiver acesso a um conjunto suficientemente grande de *hashes*, pode potencialmente inferir quais são os registos originais, comprometendo assim a privacidade dos dados.
* **Diffie-Hellman**: oferece uma abordagem assimétrica robusta para troca de chaves, garantindo privacidade nas comunicações. Cada parte envolvida não conhece diretamente a chave da outra parte. No entanto, um ataque comum ao *Diffie-Hellman* é o ataque “*men in the middle*”, no qual um adversário intercepta e altera as comunicações entre as partes. Isso pode comprometer a confidencialidade da chave compartilhada e permitir que o atacante decifre ou manipule as mensagens, comprometendo a segurança
* **OT**-**based**: Assegura privacidade em ambas as partes, pois cada usuário apenas tem conhecimento de alguns registos do outro, impossibilitando o conhecimento total de ambas as partes, revelando apenas a interseção.

Para fazer uma comparação com tudo o que foi dito acima, apresentamos os seguintes gráficos:

# Conclusão

Neste trabalho, exploramos a importância e funcionamento dos protocolos de Conjunto Privado de Interseção (PSI) na troca segura de informações entre entidades, desempenhando um papel fundamental na preservação da privacidade e segurança dos dados durante a interseção dos mesmos.

Começamos por definir um *dataset* para mais tarde o testar com diferentes tamanhos (10000, 20000, 30000, 40000, 50000 linhas) com diferentes protocolos. De seguida avaliámos métricas como tempo de execução, quantidade de dados transmitida e quantidade de interseções encontradas.

# 

# Referências

<https://eprint.iacr.org/2016/930.pdf>

<https://blog.openmined.org/private-set-intersection-with-diffie-hellman/>

<https://www.appsflyer.com/glossary/private-set-intersection/>

<https://www.kaggle.com/datasets/shivamb/netflix-shows>