

Laboratórios de Informática III
[F.light R.eservation U.ser T.icket A.rchive]

[a104001] - Frederico Cunha Afonso
LEI - Grupo 97

2023 / 2024

Índice

Introdução.....	2
Arquitetura.....	2
Estruturas de Dados.....	2
Flight.....	2
User.....	3
Reservation.....	3
Auxiliares.....	4
BTree.....	4
Calendar.....	4
FHash.....	5
Stack.....	5
Trie.....	5
Catálogos.....	6
Catálogo de Passengers.....	6
Calendar_Almanac.....	7
Flight_Almanac.....	7
Reservation_Almanac.....	7
User_Almanac.....	8
Parser.....	8
Validação dos Utilizadores.....	8
Validação das Reservas.....	9
Validação dos Voos.....	10
Validação dos Passageiros.....	11
Interativo.....	11
Interpreter.....	12
Query 1.....	12
Query 2.....	12
Query 3.....	13
Query 4.....	13
Query 5.....	13
Query 6.....	13
Query 7.....	14
Query 8.....	14
Query 9.....	14
Query 10.....	15
Testes.....	15
Desempenho.....	16
Análise do Desempenho (plataformas).....	16
Análise do Desempenho (Queries).....	17
Conclusão.....	17

Introdução

Este relatório objetiva apresentar uma análise detalhada sobre o projeto desenvolvido no âmbito da disciplina **Laboratórios de Informática III**. Este projeto deverá ser capaz de acessar a 4 ficheiros (.csv) relacionados a *utilizadores*, *voos*, *reservas (de um utilizador)* e *passageiros (de voos presentes no ficheiro .csv de voos e utilizadores no ficheiro .csv)*, fazer parsing das entradas válidas e guardar a informação essencial para responder a queries específicas.

Mais especificamente, esta aplicação tem de ser capaz de:

- Fazer parsing dos ficheiros de entrada e a sua validação;
- Ter um modo de operação batch;

(onde o programa é executado pelo terminal com 3 argumentos: o seu executável, a diretoria dos ficheiros e o ficheiro de input das queries,

e.g.: `“./programa-principal ../dataset/data ../dataset/input.txt”`);

- Executar todas as 10 queries demonstradas no enunciado providenciado aos alunos;;
- Ter um modo de operação interativo, incluindo o menu de interação com o programa e um módulo
- de paginação para apresentação de resultados longos;
- Testes funcionais, que verificam a validação dos outputs criados, memória e tempo gasto durante a execução do programa;
- Respeitar os conceitos de modularidade e encapsulamento;
- Processar um dataset com uma ordem de grandeza superior.

Arquitetura

Antes de começar o desenvolvimento do programa, houve um pequeno período de tempo em que se discutiu as diversas estratégias que se podiam aplicar para ter o melhor rendimento possível em termos de tempo e memória gasta.

ESTRUTURAS DE DADOS

Houve vários aspetos a ter em conta na implementação de certas estruturas de dados no projeto, tendo-se separado as estruturas de dados em dois tipos:

- Estruturas de dados que visavam o armazenamento de informação diretamente relacionada com a informação de utilizadores, voos, reservas e passageiros;
- Estruturas de dados genéricas que tinham como objetivo armazenar informação genérica (**void ***) em grandes quantidades (auxiliares);

Flight

Quando se trata de voos, é usada a estrutura **Flight**, que contém **strings** relativas ao seu identificador do voo, companhia aérea, modelo do avião, aeroporto de origem, aeroporto de destino, data e hora estimada e real de partida e data e hora estimada de chegada, tudo informação obtida do ficheiro *“flights.csv”*, deixando a única informação que não se obtém diretamente desse ficheiro o número de passageiros válidos, sendo que esta é a única variável daqui que só é obtida através da leitura de um outro ficheiro.

Para determinar o número de passageiros válidos é necessário acessar ao ficheiro *“passengers.csv”* e assim contar todos os passageiros (que são utilizadores válidos) associados ao identificador do voo.

User

A estrutura **User** trata de guardar toda a informação relevante de um utilizador. Assim, esta contém o identificador, o nome, a data de nascimento, o género, o passaporte, o código do país de residência, a data de criação e estado da conta de um dado utilizador. Toda esta informação é obtida diretamente do ficheiro .csv relativo a utilizadores (*users.csv*).

É de notar que, de maneira a gastar o mínimo de memória possível, passei de usar uma **string** para guardar o género e estado de conta de um utilizador para usar um **short**, sendo que ambos só podem assumir dois estados (género feminino ou masculino e estado de conta ativo ou inativo);

Reservation

Como última estrutura *não auxiliar*, a **Reservation** contém o identificador da reserva, identificador do utilizador, identificador do hotel, nome do hotel, número de estrelas do hotel, percentagem do imposto da cidade (sobre o valor total), data de início e fim de estadia, preço por noite, inclusão de pequeno-almoço e classificação atribuída pelo utilizador de uma certa reserva. Tal como com a **User**, toda a informação contida desta estrutura é obtida ao acessar o ficheiro que lhe é relativo (*reservations.csv*)

Também como com a **User**, em vez de guardar toda a informação como **strings**, transformaram-se certos dados de **string** para outros tipos de forma a reduzir a quantidade de memória necessária para guardar os dados.

Como um **char *** requer 8 bytes de memória, houve uma reestruturação desta estrutura de maneira a usar o mínimo número de **char *** possíveis.

A classificação de uma reserva e o número de estrelas só pode variar entre 1 e 5 (ou, no caso da classificação, pode incluir 0 caso seja nula) , por isso passei a usar **char** (1 byte).

A percentagem do imposto da cidade e o preço por noite de uma reserva tem que ser um inteiro superior a 0, por isso (esperando que não seja maior que 10000) passei a usar um **short** (2 bytes).

O identificador de um hotel tem o formato “HTL1102”, logo, em vez de guardar os primeiros caracteres que estão presentes em todos os outros identificadores, apenas guardo o número seguido pelo “HTL” (e.g. de “HTL1102” será apenas guardado “1102”) num **short** (2 bytes)

A inclusão de pequeno-almoço só pode ter dois estados (incluir ou não incluir), passei a usar um **char** (1 byte).

O identificador da reserva tem o formato “BookXXXXXXXXXX” (alterando os X’s por números), por isso seria uma boa ideia guardar apenas o número (**int**) do id em vez da **string** toda (e.g. de “Book0000000002”, guardar apenas o 2), mas infelizmente isto só seria possível para um quarto de todas as possíveis reservas a serem feitas, pois como um **int** apenas consegue armazenar **2,147,483,647** números positivos e é possível haver **9,999,999,999** reservas (Book9999999999), isto não é possível. Logo, de maneira a não usar um **char ***, passei a guardar os últimos 9 dígitos do identificador como um **int** (4 bytes) e o primeiro dígito como um **char** (1 byte), usando assim apenas 5 bytes (e.g. para o identificador “Book1234567890”, será guardado como primeiro dígito ‘1’ e será guardado como **int** “234567890”).

Passando assim de usar **88 bytes** por **Reservation** a usar **46 bytes** (o que se torna numa grande diferença quando estivermos a tratar de datasets de maior escala).

Auxiliares

De maneira a responder às queries da forma mais eficiente possível, foram usadas estruturas de dados capazes de receber informação genérica com diferentes níveis de eficiência de inserção e obtenção de dados nos catálogos.

BTree

Btrees (árvores binárias de procura) são estruturas de dados incrivelmente eficientes na armazenagem organizada de dados genéricos (**void ***) quando comparada a outras estruturas de dados. Tal como **HashTables** e **Stacks**, **BTrees** servem para guardar apontadores para estruturas de dados criadas (**strings**, outras estruturas de dados, etc.), sendo assim eficientes em termos de memória.

Neste projeto em específico, foram implementadas nos catálogos de utilizadores (na armazenagem de datas e horas de partida de vôos aos quais certos utilizadores tenha ido) e nos catálogos de voos (na armazenagem de **Flights** organizados pela sua data e hora de partida em todos os nodos relacionados a aeroportos de algum dado voo).

Tempo de Inserção	Tempo de Procura	Organização
$O(\log n)$	$O(\log n)$	Personalizada, feita por uma função dada à inserção

Calendar

Diferente de **BTrees**, **Stacks** e **HashTables**, a estrutura **Calendar** serve para armazenagem de várias métricas gerais da aplicação, tais como utilizadores, voos, passageiros, passageiros únicos (utilizadores que só estiveram num voo num dia/mês/ano) e reservas. Esta será mais tarde complementada por um catálogo que permite relacionar datas a esta estrutura.

Foi criada de maneira a responder à Query 10 da forma mais eficiente possível (em termos de tempo, pois é capaz de ocupar uma quantidade considerável de memória), sendo basicamente um array de 5 elementos e tendo funções que somam cada uma das métricas mencionadas anteriormente após serem validadas.

Todas as métricas de avaliação apresentadas foram feitas com o Catálogo de Datas em mente.

Tempo de Inserção	Tempo de Procura	Organização
$O(1)$	$O(1)$	Feita pela data (de reserva, criação de conta ou partida)

FHash

Esta estrutura é simplesmente uma **HashTable** com “closed addressing” em mente, sendo um array de **N** nodos em que cada um destes é uma lista ligada com de **void ***.

Esta é criada por uma função que recebe como argumento o número de nodos a serem criados (**N**). A função de inserção de dados (**função hash**) pode ser feita de 2 maneiras (dependendo do que o programa queira):

- Ao tornar uma dada **string** num **int** pela função de hash DJB2 (Catálogo de Datas, Catálogo de Reservas no tratar de hotéis e no Catálogo de Utilizadores);
- Ao tornar a sub-**string** 4 posições à frente da original num número inteiro (Catálogo de Voos e Catálogo de Reservas no tratar direto de reservas);

Apesar de ser uma estrutura ótima, para libertar a informação nela armazenada, é necessário especificar-lhe uma função personalizada que liberte a memória dos elementos armazenados. Uma otimização que poderia ser facilmente feita, seria ser capaz de dar à função de inserção e procura uma função de hash em vez de predefinir só dois tipos de *hash_functions*.

Tempo de Inserção	Tempo de Procura	Organização
$O(1)$	$O(1)$	Feita pela string chave dada

Stack

Uma das estruturas mais interessantes deste projeto, sendo ironicamente uma das mais simples.

Apesar de não ter qualquer tipo de organização (como **BTrees**, **FHashs** ou **Tries**), o tempo de inserção é de $O(1)$, e contrário às outras estruturas, não aumenta consoante outros dados que já tinham sido inseridos na estrutura (o que é ótimo na inserção de uma grande quantidade de dados).

A inserção, criação e eliminação de uma **Stack** são extremamente diretas, o que difere esta estrutura das outras, é a maneira como obtém informação específica de dados que lhe foram inseridos. Para isto é necessário indicar o número de **strings** por entidade a serem guardadas, um inteiro que indique quantas entidades existem e uma função que, dada a tal entidade, copia para o array de **strings** resultantes todos os elementos a serem copiados compactados (como demonstrado na documentação da função *stack_to_char_array* no ficheiro “Stack.c”).

Tempo de Inserção	Tempo de Procura	Organização
$O(1)$	$O(N * \text{argumentos_desejados})$	—

Trie

Uma mistura entre uma Árvore Binária e um array, onde dado um nome e um id, vai percorrer o nome todo de letra a letra, e por cada **char** de ‘A’ a ‘z’ passa para um próximo “nível” da **Trie** (quando apresentada por um **char** com valores fora deste

limite (e.g. 'Á', 'ö', etc.) continua para o próximo char do nome, após percorrer todo o nome, guarda ambos id e nome numa **Stack** juntos.

Esta estrutura, tal como a **Calendar**, foi criada com o objetivo de responder a uma query em específico, a Query 9. Assim, quando for preciso procurar por todos os nomes com um prefixo específico, só seria necessário percorrer a **Trie** com o prefixo, e com uma função personalizada, guardar todos os nomes e ids do “nível” específico da **Trie** relacionada ao prefixo e todos os “sub-níveis” seguintes, mais tarde organizando-os com a função `sort_strings`.

Tempo de Inserção	Tempo de Procura	Organização
$O(k)$	$O(k + N_{\text{elementos_dos_sub_níveis}})$	Feito pelo nome dado
k - número de chars num nome dado		

CATÁLOGOS

Catálogo de Passengers

Dado que o ficheiro `passengers.csv` apenas contém informação pertinente aos utilizadores e aos voos, não vi necessidade em criar uma estrutura específica para este (tal como com os utilizadores, voos e reservas), logo, tomei a decisão de apenas criar um array capaz de guardar o mesmo número de **ints** que há entradas no ficheiro `flights.csv`, para assim contar todos os passageiros válidos do `passengers.csv`.

Como a validação de voos depende da quantidade de passageiros que um voo tem, é necessário ter o `passengers.csv` em consideração na validação do `flights.csv`. Apesar de ser possível tornar o processo mais eficiente, infelizmente, não houve tempo suficiente para implementar uma versão melhor. Este processo pode ser visto da seguinte maneira:

1. `passengers.csv` (apenas para a contagem de lugares)
 - 1.1. Validação do tamanho da **string** do utilizador e voo
 - 1.2. Validação do utilizador
2. `flights.csv` (validação)
3. `passengers.csv` (validação)
 - 3.1. Validação do tamanho da **string** do utilizador e voo
 - 3.2. Validação do utilizador
 - 3.3. Validação do voo

Isto é incrivelmente ineficiente visto que estou a validar as entradas do `passengers.csv` duas vezes. Uma solução para isto seria, na contagem, associar cada entrada válida a um número e após a contagem, ao voltar a abrir o `passengers.csv`, só seria necessário validar o voo e verificar se esta é uma entrada válida pela linha guardada usando um contador presente na estrutura **Catalog**, assim substituindo os pontos 3.1 e 3.2 por uma simples comparação de **ints** em vez de perder tempo a verificar strings e procurar um user numa **HashTable** (esta implementação está presente no programa, mas infelizmente não se encontra funcional).

Calendar_Almanac

Semelhante à estrutura **Calendar**, este catálogo tem como objetivo responder à Query 10, sendo que estas têm funcionalidades diferentes que se complementam perfeitamente, visa que:

- A estrutura **Calendar** conta as reservas e voos feitos, utilizadores criados e passageiros normais e únicos num dado momento;
- O catálogo **Calendar_Almanac** guarda informação de acordo a uma certa data, guardando-a num ano, no mês do ano e no dia do mês.

Após a validação de um utilizador, reserva e voo, é usada a sua dada função da **Calendar** para contá-lo na sua, e tem-se em conta o *schedule_departure_date*, *account_creation* ou *begin_date* para utilizar o **Calendar** apropriadamente neste catálogo. É de notar que, para contar corretamente o número de passageiros únicos, foi necessário criar uma função específica (*is_unique_passenger*) que percorre a **BTree**, mencionada no **User_Almanac**, e compara a dada *schedule_departure_date* a todas as datas presentes na árvore e determina se o utilizador é (ou não) um passageiro único no dia, mês e/ou ano da *schedule_departure_date*.

Este catálogo usa **FHashs** para armazenar nodos especiais que contêm **Calendars** e outros **FHashs** dentro deles para “recursivamente” guardar a informação querida do “ano” ao “mês” ao “dia” da data, usando cada um destes como chave para procurar ou inserir o elemento.

Flight_Almanac

O **Flight_Almanac** é o catálogo relacionado aos voos presentes no ficheiro *flights.csv*, armazenando assim todas as entradas do ficheiro como **Flights** em diferentes estruturas, sendo estas:

- **HashTables** (Permitindo assim o acesso direto a informação de um voo ou nodo, dado o seu identificador como chave de procura);
- Nodos personalizados para:
 - Aeroportos (com o nome do aeroporto como identificador/chave do nodo), que contém uma árvore binária de **Flights** (ordenada pela data e hora de partida estimada dos voos de maneira a responder à Query 5), e uma lista de atrasos (correspondente à diferença entre a data e hora de partida estimada e real de cada voo);
 - Anos (com o ano como identificador/chave do nodo), que contém a quantidade de passageiros que estiveram num aeroporto (quer seja de origem ou de destino) e os tais aeroportos (usado mais tarde na execução da Query 6);
- **Stacks** (Permitindo assim um acesso rápido e geral a todos os aeroportos);
- Arrays (e.g. o *airport_names_delay* e o *airport_median_delays* servem para guardar o nome e a mediana de atrasos de um certo aeroporto após a validação de todos os voos presentes no ficheiro *flights.csv*, assim tratando da Query 7 eficientemente).

Reservation_Almanac

O **Reservation_Almanac** é o catálogo que trata de armazenar a informação de diferentes entradas do ficheiro *reservations.csv*, sendo que trata desta usando duas **HashTables**, uma que contém a estrutura **Reservations** e outra que contém nodos personalizados (**Hotéis**), sendo que estes apenas contêm a parte numérica do identificador de um hotel (“HTL1104”) como identificador/chave do nodo, e uma **Stack** de todas as reservas com o mesmo identificador de hotel (respondendo à Query 3, 4 e 8 ao verificar todos os elementos da **Stack**).

User_Almanac

O **User_Almanac** é o catálogo que contém toda a informação relevante de todas as entradas válidas do ficheiro `users.csv`. Este último catálogo pode ser dividido em duas estruturas distintas:

- Uma **Trie** que contém os nomes e identificadores de todos os utilizadores válidos (ordenada pelo nome dos utilizadores, tratando assim da Query 9)
- Uma **HashTable** que contém nodos personalizados que representam cada utilizador, contendo estes a estrutura **User**, uma **Stack** com **Reservations** relacionadas às reservas feitas e outra **Stack** com **Flights** relacionados a voos a que o utilizador foi passageiro (respondendo assim à Query 2), e uma **BTree** (esta contém as datas e horas de partida dos voos presentes na **Stack**).

PARSER

De forma a trabalhar com um **Parser** genérico, tratei de fazer com que os argumentos que a função recebesse fossem:

- A diretoria dos datasets (dada pelo utilizador no modo batch pelo terminal ou no modo interativo);
- O tipo (nome do ficheiro `.csv` a ser avaliado, ou seja, só podia ser um destes 4: “users”, “reservations”, “flights”, “passengers”);
- O **Almanac** (catálogo geral);
- Uma função genérica que recebe o **Almanac** e uma **string** e retorna um **int** (1 se a função verificar que a **string** dada/entrada de um certo ficheiro é válida perante o ficheiro em que se encontra, e 0 caso contrário);

Assim a função apenas teria de juntar a **string** da diretoria dos datasets com o tipo dado, abrir o ficheiro presente, verificar que linhas do ficheiro são válidas com a função genérica e guardar a informação destas no **Almanac**. Caso uma linha do ficheiro fosse inválida, esta seria guardada no ficheiro correspondente ao ficheiro de erros do csv de origem (`users_errors.csv`, `reservations_errors.csv`, `flights_errors.csv` e `passengers_errors.csv`).

Validação dos Utilizadores

Dado que cada entrada do `users.csv` tem de ser uma string com os seguintes elementos:

- id – identificador do utilizador;
- name – nome;
- email – email;
- phone_number – número de telemóvel;
- birth_date – data de nascimento;
- sex – sexo;
- passport – número do passaporte;
- country_code – código do país de residência;
- address – morada;
- account_creation – data de criação da conta;
- pay_method – método de pagamento;
- account_status – estado da conta.

Será necessário verificar que:

- O email de um utilizador tem que ter o formato: “<username>@<domain>.<TLD>”. O <username> e o <domain> têm que ter pelo menos tamanho 1; O <TLD> tem que ter pelo menos tamanho 2. (Exemplo de erros: @email.com, john@.pt, john@email.a, john@email.pt, john.email.pt, ...);
- O birth_date tem que vir antes de account_creation (o formato de ambos deverá ser sempre do tipo nnnn/nn/nn, onde n é um número entre 0 e 9, o mês deverá estar entre 1 e 12 e o dia entre 1 e 31, todos os casos são inclusivos);
- O country_code de um utilizador deverá ser formado por duas letras;
- O account_status de um utilizador deverá ter o valor “active” ou “inactive”, sendo que diferentes combinações de maiúsculas e minúsculas também são válidas (e.g., “Active”, “aCtive”, e “INACTIVE” também são válidos);
- Os seguintes restantes campos têm que ter tamanho superior a zero: id, name, phone_number, sex, passport, address, pay_method;

Tudo isto pode ser verificado no ficheiro *users.csv* diretamente, logo é ideal começar o programa pelo parsing deste ficheiro.

Validação das Reservas

Dado que cada entrada do *reservations.csv* tem de ser uma string com os seguintes elementos:

- id – identificador da reserva;
- user_id – identificador do utilizador;
- hotel_id – identificador do hotel;
- hotel_name – nome do hotel;
- hotel_stars – número de estrelas do hotel;
- city_tax – percentagem do imposto da cidade (sobre o valor total);
- address – morada do hotel;
- begin_date – data de início;
- end_date – data de fim;
- price_per_night – preço por noite;
- includes_breakfast – se a reserva inclui pequeno-almoço;
- room_details – detalhes sobre o quarto;
- rating – classificação atribuída pelo utilizador;
- comment – comentário sobre a reserva.

Será necessário verificar que:

- O identificador do utilizador pertence a um utilizador válido (tem que estar presente no *users.csv* e tem de pertencer a um user válido);
- O número de estrelas de um hotel (hotel_stars) tem que ser um valor inteiro entre 1 e 5, inclusive. Exemplos de erros: 0, -3, 1.4, ...;
- A percentagem de imposto da cidade de uma reserva (city_tax) tem que ser um valor inteiro maior ou igual a zero; Exemplos de erros: -3, 1.4, ...;
- O begin_date tem que vir antes do end_date (o formato de ambos deverá ser sempre do tipo nnnn/nn/nn, onde n é um número entre 0 e 9, o mês deverá estar entre 1 e 12 e o dia entre 1 e 31, todos os casos são inclusivos);
- O preço por noite de uma reserva (price_per_night) tem que ser um valor inteiro maior que 0. Exemplo de erros: 0, -3, 1.4, ...;

- As classificações de uma reserva (rating) têm que ter um valor inteiro entre 1 e 5, inclusive. Exemplos de erros: 0, -3, 1.4, Opcionalmente, podem estar vazias caso o utilizador não tenha classificado o hotel;
- Os seguintes restantes campos têm que ter tamanho superior a zero: id, user_id, hotel_id, hotel_name, address;

Antes de conseguir validar qualquer entrada neste ficheiro, é necessário verificar o ficheiro *users.csv*, impossibilitando a validação do *reservations.csv* antes da validação do *users.csv*.

Validação dos Voos

Dado que cada entrada do *flights.csv* tem de ser uma string com os seguintes elementos:

- id – identificador do voo;
- airline – companhia aérea;
- plane_model – modelo do avião;
- total_seats – número de lugares totais disponíveis;
- origin – aeroporto de origem;
- destination – aeroporto de destino;
- schedule_departure_date – data e hora estimada de partida;
- schedule_arrival_date – data e hora estimada de chegada;
- real_departure_date – data e hora real de partida;
- real_arrival_date – data e hora real de chegada;
- pilot – nome do piloto;
- copilot – nome do copiloto;
- notes – observações sobre o voo.

Será necessário verificar que:

- O número de lugares de um voo (total_seats) não poderá ser inferior ao número de passageiros nesse voo (número de utilizadores válidos presentes no *passengers.csv* associados ao id do voo);
- Os aeroportos de origem e destino de um voo tem que ser constituídos por 3 letras. Considera-se que dois aeroportos são iguais quando são formados pela mesma sequência de letras, mesmo que existam diferenças entre maiúsculas e minúsculas (e.g., OPO, opo, e opO são considerados o mesmo aeroporto);
- O schedule_departure_date tem que vir antes de schedule_arrival_date, e o real_departure_date tem que vir antes de real_arrival_date (o formato destes deverá ser sempre do tipo nnnn/nn/nn nn:nn:nn, onde n é um número entre 0 e 9, o mês deverá estar entre 1 e 12, o dia entre 1 e 31, a hora deverá estar entre 0 e 23, os minutos entre 0 e 59, e os segundos entre 0 e 59, todos os casos são inclusivos);
- Os seguintes restantes campos têm que ter tamanho superior a zero: id, airline, plane_model, pilot, copilot;

Antes de conseguir validar qualquer entrada neste ficheiro, é necessário verificar o ficheiro *passengers.csv*, impossibilitando a validação do *flights.csv* antes de efetuar uma contagem apropriada no *passengers.csv*.

Validação dos Passageiros

Dado que cada entrada do *passengers.csv* tem de ser uma string com os seguintes elementos:

- *flight_id* – identificador do voo
- *user_id* – identificador do utilizador

Será necessário verificar que:

- O identificador do utilizador pertence a um utilizador válido (tem que estar presente no *users.csv* e tem de pertencer a um user válido);
- O identificador do voo pertence a um voo válido (tem que estar presente no *flights.csv* e tem de pertencer a um voo válido);
- Os seguintes restantes campos têm que ter tamanho superior a zero: *flight_id*, *user_id*;

Antes de conseguir validar qualquer entrada neste ficheiro, é necessário verificar o ficheiro *users.csv* e *flights.csv*, impossibilitando a validação do *passengers.csv* antes da validação do *users.csv* e do *flights.csv*.

Assim, escolhi usar a ordem que aparentava ser a mais simples (e infelizmente, algo que ineficiente):

1. Validação do *users.csv*;
2. Validação do *reservations.csv*;
3. *Contagem no passengers.csv*;
4. Validação do *flights.csv*;
5. Validação do *passengers.csv*;

INTERATIVO

O modo interativo foi feito usando todas as ferramentas disponibilizadas pela *libc*, não usando a biblioteca *ncurses.h* pois tinha como objetivo realizar um trabalho sem qualquer memory leak, independentemente do modo utilizado (isto veio a incentivar a criação de HashTables “personalizadas”).

Para analisar o modo interativo criado podemos separá-lo em 6 categorias:

- Executar uma Query;
- Visualizar o Menu de Queries já executadas
- Adicionar um *input.txt* preenchido de Queries já existentes;
- Adicionar um dataset;
- Apresentar o Output de uma Query executada;
- Paginação;

O modo interativo, antes de mais, não permite que o utilizador execute qualquer Query ou adicione algum *input.txt* até um dataset válido ter sido inserido, até lá, qualquer tentativa de executar alguma Query será ignorada. Após o utilizador adicionar um dataset válido, o programa executará como se estivesse no modo batch, mas não irá ainda executar qualquer Query, para isso será necessário o utilizador executar Queries individuais ou carregar um ficheiro *input.txt* com Queries válidas. Após uma das duas serem feitas, o programa irá adicionar a(s) Query(ies) a um ficheiro que tem em conta todas as Queries já executadas. Este ficheiro foi criado no início da execução do modo interativo e tem exatamente o mesmo formato que o ficheiro “*input.txt*” providenciado pelos professores.

Caso seja executada uma Query individualmente, o programa irá executá-la e guardar o resultado na diretoria “Resultados/”, apresentando o início desse ficheiro de texto no terminal, dando ao utilizador saltar para uma linha específica do ficheiro ou avançar/recuar um número constante de linhas dependendo do tamanho do terminal (paginação).

Finalmente, o utilizador pode verificar todas as Queries já executadas ao selecionar o Menu de Queries. Este pode ser visualizado como o resultado de uma Query executada, com uma adição: a capacidade de selecionar uma linha em específico do ficheiro para abrir a Query executada correspondente à linha (melhor explicado nas instruções).

Interpreter

Após o parsing dos ficheiros esperados, o programa deverá ser capaz de abrir o ficheiro *input.txt* (obtido no modo interativo pelo utilizador ou no modo batch como terceiro argumento ao executar o programa), ler cada linha presente e executá-la caso tenha o formato correto.

O executar de cada linha deve consistir em: criar um ficheiro com o formato *commandN_output.txt* (onde o N seria substituído pelo número da linha da Query executada) e posteriormente, inserir nesse ficheiro de texto o resultado esperado da Query, caso esta tenha um formato válido.

QUERY 1

Comando: 1 <ID>

Objetivo: Listar o resumo de um utilizador, voo, ou reserva, consoante o identificador recebido por argumento. É garantido que não existem identificadores repetidos entre as diferentes entidades (Não deverão ser retornadas informações para utilizadores com *account_status* = “inactive”).

Resposta: O programa irá usar uma das HashTables criadas para armazenar **Users**, **Flights** ou **Reservations** (dependendo do identificador recebido) e irá acessar à entidade desejada (caso exista), obtendo dela a informação esperada pela Query.

QUERY 2

Comando: 2 <ID> [flights|reservations]

Objetivo: Listar os voos ou reservas de um utilizador, se o segundo argumento for flights ou reservations, respetivamente, ordenados por data (da mais recente para a mais antiga). Caso não seja fornecido um segundo argumento, apresentar voos e reservas, juntamente com o tipo (flight ou reservation). Para os voos, a data a ter em conta é o *schedule_departure_date*, para as reservas, a data a ter em conta é o *begin_date*. Em caso de empate, ordenar pelo identificador (de forma crescente). Utilizadores com *account_status* = “inactive” deverão ser ignorados.

Resposta: O programa irá usar a HashTable criada para armazenar nodos de utilizadores, sendo que estes contêm uma **Stack** que contêm os voos (**Flights**) a que o utilizador tenha sido passageiro e uma **Stack** que contêm as reservas (**Reservations**) a que o utilizador tenha feito e irá copiar apenas o id e o *schedule_departure_date* e/ou *begin_date* dos voos e/ou reservas para um array de strings desorganizado e mais tarde usará a função *sort_strings* ($O(N * \log(N))$) para organizar o resultado como seria desejado.

QUERY 3

Comando: 3 <ID>

Objetivo: Apresentar a classificação média de um hotel, a partir do seu identificador

Resposta: O programa irá usar uma das HashTables criadas para armazenar nodos que representam hotéis e irá copiar as classificações de todas as reservas (**Reservations**) feitas para o dado Hotel, e (após torná-las em **ints**) irá calcular a média desejada.

QUERY 4

Comando: 4 <ID>

Objetivo: Listar as reservas de um hotel, ordenadas por data de início (da mais recente para a mais antiga). Caso duas reservas tenham a mesma data, deve ser usado o identificador da reserva como critério de desempate (de forma crescente).

Resposta: Tal como a Query anterior, o programa irá usar a HashTable que armazena nodos que representam hotéis e irá obter toda a informação esperada pela Query de todas as reservas (**Reservations**) feitas para o dado Hotel, e finalmente, irá organizá-las como a Query o indicou.

QUERY 5

Comando: 5 <Name> <Begin_date> <End_date>

Objetivo: Listar os voos com origem num dado aeroporto, entre duas datas, ordenados por data de partida estimada (da mais recente para a mais antiga). Um voo está entre <begin_date> e <end_date> caso a sua respetiva data estimada de partida esteja entre <begin_date> e <end_date> (ambos inclusivos). Caso dois voos tenham a mesma data, o identificador do voo deverá ser usado como critério de desempate (de forma crescente).

Resposta: O programa irá usar a HashTable que armazena nodos que representam aeroportos, que contém uma árvore binária de **Flights**, e irá percorrer toda a árvore binária e imprimir diretamente no ficheiro de output qualquer **Flight** que se encontre entre a <begin_date> e <end_date>. Como a árvore encontra-se ordenada pela data e hora de partida estimada dos voos, ao imprimir os voos que se encontrem entre estas datas, a ordem será exatamente como a Query deseja sem ter de fazer qualquer tipo de ordenação.

QUERY 6

Comando: 6 <Year> <N>

Objetivo: Listar o top N aeroportos com mais passageiros, para um dado ano. Deverão ser contabilizados os voos com a data estimada de partida nesse ano. Caso dois aeroportos tenham o mesmo valor, deverá ser usado o nome do aeroporto como critério de desempate (de forma crescente).

Resposta: O programa irá usar a HashTable que armazena nodos que representam anos no catálogo de voos, e irá imprimir diretamente os primeiros N elementos do array de **strings** com os nomes de aeroportos e os primeiros N elementos do array de **ints** que representam o número de passageiros presentes num dado aeroporto.

QUERY 7

Comando: 7 <N>

Objetivo: Listar o top N aeroportos com a maior mediana de atrasos. Atrasos num aeroporto são calculados a partir da diferença entre a data estimada e a data real de partida, para voos com origem nesse aeroporto. O valor do atraso deverá ser apresentado em segundos. Caso dois aeroportos tenham a mesma mediana, o nome do aeroporto deverá ser usado como critério de desempate (de forma crescente).

Resposta: O programa irá usar o catálogo de voos, e, tal como a Query anterior, irá imprimir diretamente os primeiros N elementos do array de **strings** com os nomes de aeroportos e os primeiros N elementos do array de **ints** que representam a mediana de atrasos de um dado aeroporto.

QUERY 8

Comando: 8 <Id> <Begin_date> <End_date>

Objetivo: Apresentar a receita total de um hotel entre duas datas (inclusive), a partir do seu identificador. As receitas de um hotel devem considerar apenas o preço por noite (**price_per_night**) de todas as reservas com noites entre as duas datas. E.g., caso um hotel tenha apenas uma reserva de 100€/noite de 2023/10/01 a 2023/10/10, e quisermos saber as receitas entre 2023/10/01 a 2023/10/02, deverá ser retornado 200€ (duas noites). Por outro lado, caso a reserva seja entre 2023/10/01 a 2023/10/02, deverá ser retornado 100€ (uma noite).

Resposta: O programa irá usar uma das HashTables criadas para armazenar nodos que representam hotéis e irá copiar o preço por noite, a data de início e fim de todas as reservas (**Reservations**) da **Stack**, mais tarde irá calcular a receita de cada reserva (caso se encontre dentro das datas dadas) e finalmente, irá somar todas as receitas e obterá assim a receita desejada.

QUERY 9

Comando: 9 <Prefix>

Objetivo: Listar todos os utilizadores cujo nome começa com o prefixo passado por argumento, ordenados por nome (de forma crescente). Caso dois utilizadores tenham o mesmo nome, deverá ser usado o seu identificador como critério de desempate (de forma crescente). Utilizadores inativos não deverão ser considerados pela pesquisa.

Resposta: O programa irá usar a **Trie** do catálogo de utilizadores, e irá percorrê-la de letra a letra do prefixo dado até este “acabar”, aí o programa irá copiar todos os nomes presentes no nível atual e nos próximos “sub-níveis” da **Trie**.

QUERY 10

Comando: 10 [year [month]]

Objetivo: Apresentar várias métricas gerais da aplicação. As métricas consideradas são: número de novos utilizadores registados (de acordo com o campo `account_creation`); número de voos (de acordo com o campo `schedule_departure_date`); número de passageiros; número de passageiros únicos; e número de reservas (de acordo com o campo `begin_date`). Caso a Query seja executada sem argumentos, apresentar os dados agregados por ano, para todos os anos que a aplicação tem registo. Caso a query seja executada com um argumento, `year`, apresentar os dados desse ano agregados por mês. Finalmente, caso a query seja executada com dois argumentos, `year` e `month`, apresentar os dados desse ano e mês agregados por dia. O output deverá ser ordenado de forma crescente consoante o ano/mês/dia.

Resposta: O programa irá usar o **Calendar_Almanac**, e, dependendo do número de argumentos presentes no comando, irá percorrer as HashTables presentes neste catálogo até alcançar ao nodo com o espaço de tempo desejado (para um comando com 1 argumento obterá a informação de todos os anos presentes no catálogo, com 2 argumentos obterá a informação de todos os meses presentes no catálogo de um dado ano e com 3 argumentos obterá a informação de todos os dias presentes no catálogo de um dado mês e ano).

Testes

Para avaliar o programa o mais corretamente possível, terei apenas em atenção os resultados obtidos após executá-lo com o dataset de ordem de grandeza superior (sendo que ao utilizar o dataset providenciado normalmente, é-se mais difícil analisar diferenças entre o tempo de execução e a memória gasta).

Através de uma adição no makefile, fui capaz de criar um executável separado do *programa-principal* que (apesar de usar os mesmos componentes que o executável mencionado), é capaz de receber três argumentos (diretoria do dataset que irá ser utilizado, o caminho para o *input.txt* a ser utilizado e a diretoria de todos os resultados esperados após a execução do programa, sendo estes os ficheiros de entradas incorretas nos ficheiros *.csv* e os outputs das Queries presentes no *input.txt*). Este executável irá funcionar tal e qual como o *programa-principal*, com a adição de ser capaz de comparar todos os ficheiros da diretoria dada como terceiro argumento e os ficheiros da diretoria

“Resultados/”, indicando se um output encontra-se em falta na diretoria, se dois ficheiros são diferentes nalguma linha (indicando em que linhas diferem) e se dois ficheiros são iguais mas diferem no número de linhas.

Uma adição feita não mencionada no enunciado foi a inclusão da criação da pasta “Tests”, que avalia o tempo que cada entrada do `input.txt` tomou, o tempo acumulado que cada tipo de Query tomou e a memória e tempo gastos em cada parte da execução do programa (parse de utilizadores, reservas, voos e passageiros, set-up inicial, execução de Queries, etc.).

DESEMPENHO

Independentemente de área de trabalho a ser testada, a memória gasta na execução do programa será sempre a mesma, esta sendo de 4047MB (para o *large_dataset*).

Agora, o tempo de execução é algo a ser avaliado de plataforma para plataforma, sendo a variável a ser analisada. Após a execução do programa localmente num portátil com 16GB de Ram e um processador intel i7 de 11ª primeira geração, o programa demora (em média) 72.158 segundos a executar, estando o tempo assim distribuído:

- Criação dos Catálogos: 0,069 segundos;
- Parse dos Utilizadores: 2,321 segundos;
- Parse das Reservas: 12,758 segundos;
- Parse dos Voos: 11,263 segundos;
- Parse dos Passageiros: 27,112 segundos;
- Organização dos Catálogos: 0,427 segundos;
- Execução geral das Queries: 5,548 segundos;
- Libertação de Memória: 6,709 segundos;

Análise do Desempenho (plataformas)

Há algumas incongruências nos tempos de cada parte do programa, sendo que há apenas um milhão de entradas no ficheiro de utilizadores e duzentas mil no ficheiro de voos, e no entanto, o parse (validação e o guardar de informação) do ficheiro de voos demora 11 segundos e o de utilizadores demora apenas 2 segundos. Algo ainda mais preocupante, o ficheiro de reservas tem cerca de seis milhões de entradas e o parse demora quase tanto como o parse de voos.

Isto tem a ver com a quantidade de tempo gasta na otimização de espaço e tempo gasto em cada parte do programa. Sendo que a parte dos voos foi algo que “negligenciada” no decorrer do projeto, ao ver a quantidade de entradas que cada ficheiro continha, com o tempo disponível, parecia de maior importância a otimização do tempo e memória gastos das reservas, utilizadores e passageiros a serem guardados, algo que torna a análise do tempo de cada uma destas algo que interessante, sendo que o número de entradas de reservas é seis vezes maior do que de utilizadores, tal como o tempo gasto no parse (validação e guardar de informação) de reservas, e o número de entradas de passageiros é dezesseis vezes maior do que de utilizadores e o tempo de parse (validação e guardar de informação) de passageiros é catorze vezes maior do que de utilizadores. Havendo assim uma relação (quase) linear de tempo gasto no parse de cada ficheiro.

Continuando a avaliação do tempo gasto, a maior parte do tempo gasto no parse de informação, não é na validação de cada entrada, mas sim na **inserção de informação nos catálogos**, quer seja por colisões nas HashTables, na inserção ordenada (por datas em **árvores binárias**, nomes em **Tries** ou **HashTables**) ou desordenada (em **Stacks**) de informação em estruturas de dados auxiliares. Esta foi a razão pela qual as **Stacks** foram implementadas no catálogo de reservas, apesar de ser desorganizada, o tempo de inserção é imediato (contrário a **árvores binárias** que foram anteriormente implementadas, após perceber que o tempo de inserção aumentava após a inserção de dados, estas foram quase imediatamente descartadas em catálogos de grande escala, apenas estando presentes no

catálogo de voos, que está desatualizado e não foi alterado há semanas, e no catálogo dos users, de maneira a responder à Query 10 da maneira mais eficiente percebida na altura, aliás, foi esta mesma Query que fez com que o parse do ficheiro de passageiros demorasse tanto tempo, se não fosse por esta, o parse demoraria menos de quinze segundos, antes de algumas alterações finais do projeto envolvendo a tal implementação de **árvores binárias**).

Algumas melhorias que podiam ter sido feitas ao projeto seriam algumas otimizações na área dos catálogos dos voos e as estruturas de dados nele utilizadas, o parse dos passageiros (aplicando a alteração anteriormente mencionada na função `count_passengers`), usando alguma estrutura diferente que não uma **árvore binária** de datas por user e uma melhoria na implementação da estrutura **Trie**, sendo que, olhando para trás, talvez não fosse necessário guardar a **string** do nome do utilizador guardado, e apenas seria necessário guardar o id e, quando fosse obter o nome dos utilizadores, verificava se de facto é um nome desejado pelo programa.

Ao testar o programa em diferentes plataformas, é de salientar que a diferença de tempos varia ligeiramente, sendo que este foi testado no computador anteriormente mencionado, no site providenciado pelos professores (114.4 segundos) e num portátil separado com um processador intel i5 de 3ª geração e com 6Gb de Ram (134.7 segundos).

Análise do Desempenho (Queries)

Na execução das Queries, a maioria mostra um tempo médio de execução ínfimo, com exceção à Query 3, 4, 5, 8 e 9.

A razão pela qual a Query 3 demora mais, é porque tem de passar por todos as reservas de um dado hotel para obter a média de classificação do dado hotel, sendo que, normalmente, os hotéis têm mais de vinte mil reservas feitas, e o programa teria de acessar ao hotel desejado, acessar a cada reserva do hotel, obter a classificação da reserva e calcular a média.

A Query 4 demora tanto por tratar da demonstração de todas as reservas de um hotel ordenadamente por data. Isto envolve acessar todas as reservas do hotel, obter os dados desejados de cada reserva e **ordenar a lista das mais de vinte mil reservas**.

A Query 5 envolve o uso do catálogo de voos, parte do trabalho que podia ser imensamente melhorada, e a razão por demorar tanto, é o facto de ter de procurar pelo aeroporto desejado e (apesar de ser uma **árvore binária** ordenada pela data de partida) acessar a todos os membros da estrutura e imprimir aqueles que estão entre as duas datas dadas.

A Query 8 é muito semelhante à Query 5, sendo que esta envolve a análise de hotéis, como o número de reservas é trinta vezes maior ao número de voos, é normal que o tempo de execução média desta Query seja incrivelmente superior ao tempo de execução da Query 5.

A Query 9 consegue demorar mais por tratar de uma pesquisa global pelos nomes com um mesmo prefixo que um utilizador, se não fosse pela pesquisa global, a Query poderia demorar muito menos.

Conclusão

Após a realização consegui alcançar uma maior familiarização com a linguagem de programação C e mais facilmente consigo lidar com manipulação de dados, gestão de memória, decidir que estrutura de dados é a mais apropriada a ser utilizada dependendo da situação apresentada e eficiência a trabalhar com projetos desta escala. Mas para fechar com o projeto, acredito que conseguiria um melhor resultado com um catálogo de voos (e outros) mais trabalhado e com a implementação de matéria dada na disciplina de Arquitetura de Computadores (paralelismo, vetorização e super escalaridade).