



Relatório do Projeto

Parte 2

Nome do Integrante	RA
Joaquim Rafael Mariano Prieto Pereira	10408805
Antonio Carlos Sciamarelli Neto	10409160
Henrique Arabe Neres de Farias	10410152

Relatório

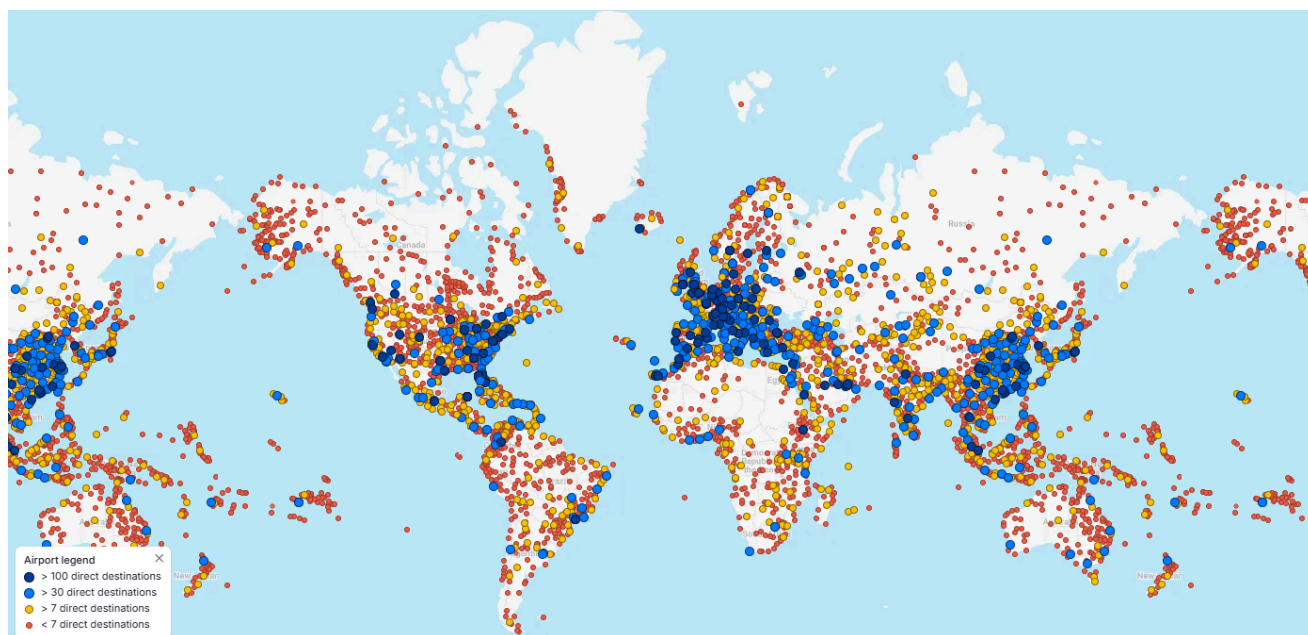
Rede internacional de voos a longas distâncias

O projeto propõe a modelagem de uma rede internacional de voos de longa distância, utilizando como vértices os aeroportos com maior número de voos diários dos 60 países mais populosos do mundo, selecionados com base em informações provenientes da Wikipedia, da Population Pyramid e do Flight Connections.

Cada vértice representa um aeroporto e carrega como atributos o código IATA do aeroporto, o país e a quantidade média de voos diários, enquanto cada arco (totalizando 164) indica até três voos diretos mais extensos entre esses aeroportos, ponderados pela distância (em milhas) e pelo tempo de viagem (em horas).

Com essa estrutura, o grafo será do tipo 7 – grafo orientado com peso nos vértices e arestas, o que possibilitará a investigação da conectividade entre os hubs globais, permitindo identificar quais aeroportos desempenham papéis centrais na interligação de rotas intercontinentais de longa duração.

Além disso, a rede servirá como base para a aplicação de diversos conceitos e algoritmos de Teoria dos Grafos, como o estudo de caminhos mínimos, análise de métricas de centralidade e outras abordagens que podem revelar insights relevantes sobre o fluxo aéreo internacional.



Malha de aeroportos mundiais obtida no site flight connections

- Obtenção dos dados

Para determinar os aeroportos com maior número de voos diários nos 60 países mais populosos do mundo, foi realizada uma pesquisa em fontes oficiais e reconhecidas na indústria da aviação, como a OAG (Official Airline Guide), CAPA (Centre for Aviation), Flight Connections, Compare the Market e AviationPros. Essas fontes fornecem informações atualizadas sobre tráfego aéreo, movimentos anuais de aeronaves e médias diárias de voos. Os dados utilizados são recentes e refletem o volume médio de voos diários (decolagens e pousos) registrados nos principais aeroportos internacionais desses países. Dessa forma, garantiu-se precisão e atualidade das informações usadas para modelar o grafo orientado com peso nos vértices e arestas.

Para obter os 3 voos internacionais mais distantes dentre os aeroportos presentes na lista, utilizamos a ferramenta do Flight Connections para, um a um, informar o código do aeroporto, observar e registrar os voos mais distantes possíveis. Fizemos uma tabela no Excel para organizar os vértices e respectivas conexões.

(Usamos o código da Associação Internacional de Transportes Aéreos para identificar os aeroportos)



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira
Teoria dos Grafos



Aeroportos e dados coletados

A tabela a seguir apresenta esses 60 aeroportos e seus respectivos dados:

Código IATA	País	Voos diários (média)
DEL	Índia	624
PVG	China	691
ORD	Estados Unidos	991
CGK	Indonésia	559
KHI	Paquistão	118
LOS	Nigéria	204
GRU	Brasil	276
DAC	Bangladesh	190
SVO	Rússia	321
MEX	México	339
HND	Japão	641
ADD	Etiópia	380
MNL	Filipinas	384
CAI	Egito	580
FIH	República Democrática do Congo	40
SGN	Vietnã	280
THR	Irã	84
IST	Turquia	591
FRA	Alemanha	528
BKK	Tailândia	440
LHR	Reino Unido	569



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira

Teoria dos Grafos



DAR	Tanzânia	94
CDG	França	558
JNB	África do Sul	504
FCO	Itália	423
NBO	Quênia	124
RGN	Mianmar	102
BOG	Colômbia	411
ICN	Coreia do Sul	488
KRT	Sudão	8
EBB	Uganda	42
MAD	Espanha	493
ALG	Argélia	154
BGW	Iraque	96
AEP	Argentina	346
KBL	Afeganistão	30
SAH	Iêmen	38
YYZ	Canadá	416
WAW	Polônia	346
CMN	Marrocos	153
LAD	Angola	24
KBP	Ucrânia	0
TAS	Uzbequistão	129
KUL	Malásia	519
MPM	Moçambique	44
ACC	Gana	112



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira

Teoria dos Grafos



LIM	Peru	434
JED	Arábia Saudita	321
TNR	Madagascar	26
ABJ	Costa do Marfim	26
KTM	Nepal	500
DLA	Camarões	36
CCS	Venezuela	44
NIM	Níger	10
SYD	Austrália	374
FNJ	Coreia do Norte	2
DAM	Síria	8
BKO	Mali	22
OUA	Burkina Faso	18
TPE	Taiwan	752

Conexões aéreas mais distantes

A tabela abaixo lista essas conexões, indicando o aeroporto de origem, o aeroporto de destino, a distância em milhas e o tempo estimado de viagem (duração do voo):

Origem (IATA)	Destino (IATA)	Distância (milhas)	Tempo de viagem (horas)
MNL	YYZ	8206	14h50min
ORD	ADD	7564	13h45min
ADD	ORD	7564	13h45min
ICN	MEX	7512	13h55min
TPE	YYZ	7501	14h00min
DEL	ORD	7466	15h15min



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira

Teoria dos Grafos



ORD	DEL	7466	14h30min
YYZ	ADD	7143	13h15min
DEL	YYZ	7228	14h50min
KHI	YYZ	7247	15h00min
PVG	YYZ	7089	14h35min
YYZ	PVG	7089	14h50min
ICN	YYZ	6593	13h20min
KUL	LHR	6586	13h35min
IST	MEX	7073	14h55min
MEX	IST	7073	14h55min
TPE	ORD	7440	13h35min
ORD	PVG	7039	14h50min
PVG	ORD	7039	13h40min
HND	YYZ	6425	12h15min
YYZ	HND	6425	14h10min
MNL	CDG	6665	15h00min
CDG	LIM	6381	12h40min
LIM	CDG	6381	12h25min
PVG	MAD	6377	14h40min
MAD	PVG	6377	13h05min
SGN	LHR	6346	14h00min
SGN	CDG	6276	14h00min
FRA	GRU	6085	12h00min
LHR	HND	5956	13h35min
FRA	MEX	5932	12h20min



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira

Teoria dos Grafos



MEX	FRA	5932	10h40min
BKK	LHR	5948	13h40min
CDG	GRU	5840	11h55min
FCO	GRU	5857	12h00min
GRU	IST	6557	12h30min
IST	GRU	6557	13h40min
SYD	JNB	6846	14h15min
JNB	SYD	6846	12h00min
DEL	SYD	6481	12h35min
KUL	CDG	6485	13h55min
JED	YYZ	6486	13h50min
YYZ	TPE	7501	14h00min
ORD	ADD	7564	13h45min
ADD	GRU	6165	12h10min
GRU	ADD	6165	12h00min
ADD	YYZ	7143	13h15min
CCS	IST	6027	11h50min
SGN	FRA	5997	13h15min
FCO	HND	6144	12h15min
HND	ORD	6287	11h55min
ORD	PVG	7039	14h50min
ICN	ORD	6533	13h00min
IST	BOG	6663	13h45min
BOG	IST	6663	13h45min
IST	FRA	5813	12h40min



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira

Teoria dos Grafos



FRA	HND	5813	12h40min
IST	BOG	6663	13h45min
PVG	MAD	6377	14h40min
MAD	BKK	6330	11h55min
BKK	MAD	6330	14h00min
MEX	FCO	6348	11h45min
FCO	MEX	6348	13h45min
LHR	PVG	5739	12h35min
PVG	ORD	7039	13h40min
ORD	DEL	7466	14h30min
DEL	ORD	7466	15h15min
DEL	YYZ	7228	14h50min
YYZ	ADD	7143	13h15min
ADD	ORD	7564	13h45min
ORD	ADD	7564	13h45min
MNL	YYZ	8206	14h50min
HND	LHR	5956	15h00min
LHR	GRU	5875	11h50min
BKK	CDG	5868	13h10min
CDG	PVG	5755	12h35min
CAI	YYZ	5731	12h00min
YYZ	ADD	7143	13h15min
ADD	ORD	7564	13h45min
ORD	ADD	7564	13h45min
FRA	GRU	6085	12h00min



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira

Teoria dos Grafos



GRU	FRA	6085	11h30min
WAW	ICN	4798	11h20min
ICN	YYZ	6593	13h20min
YYZ	ICN	6593	13h20min
TPE	LHR	6075	16h10min
LHR	HND	5956	13h35min
HND	YYZ	6425	12h15min
YYZ	HND	6425	14h10min
DEL	SYD	6481	12h35min
SYD	HND	4855	9h35min
HND	ORD	6287	11h55min
ORD	HND	6287	11h55min
JNB	LHR	5636	11h30min
LHR	GRU	5875	11h50min
GRU	IST	6557	12h30min
IST	GRU	6557	13h40min
JNB	CDG	5426	11h30min
CDG	LHR	5739	12h35min
LHR	PVG	5739	12h35min
PVG	LHR	5739	12h35min
FRA	MEX	5932	12h20min
MEX	FRA	5932	10h40min
FRA	HND	5813	12h40min
HND	FRA	5813	15h00min
IST	FRA	5813	12h40min



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira

Teoria dos Grafos



FRA	IST	5813	12h40min
ACC	LHR	3167	6h40min
LHR	KUL	6586	13h35min
KUL	LHR	6586	13h35min
LHR	PVG	5739	12h35min
PVG	LHR	5739	12h35min
JED	YYZ	6486	13h50min
YYZ	JED	6486	13h50min
BKK	MAD	6330	13h40min
MAD	BKK	6330	11h55min
TAS	MAD	3684	8h50min
MAD	ICN	6188	12h45min
ICN	MAD	6188	12h45min
WAW	ORD	4669	10h00min
ORD	WAW	4669	10h00min
WAW	ICN	4798	11h20min
ICN	WAW	4798	11h20min
CMN	GRU	4682	9h50min
GRU	CMN	4682	9h50min
CCS	MAD	4351	8h25min
MAD	CCS	4351	8h25min
AEP	BOG	2898	6h45min
BOG	AEP	2898	6h45min
BOO	AEP	2898	6h45min
BOG	FRA	5643	10h25min



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira

Teoria dos Grafos



FRA	BOG	5643	12h00min
ABJ	IST	3199	7h15min
IST	ABJ	3199	7h15min
BKO	IST	2968	6h45min
IST	BKO	2968	6h45min
BKO	ADD	3177	7h00min
ADD	BKO	3177	7h00min
ABJ	ADD	2937	6h05min
ADD	ABJ	2937	6h05min
ABJ	CDG	3045	6h30min
CDG	ABJ	3045	6h30min
TNR	CDG	5433	11h40min
CDG	TNR	5433	11h40min
TNR	ADD	2007	4h40min
ADD	TNR	2007	4h40min
DLA	IST	2830	6h55min
IST	DLA	2830	6h55min
DLA	CDG	3136	6h45min
CDG	DLA	3136	6h45min
DLA	CMN	2314	5h30min
CMN	DLA	2314	5h30min
OUA	IST	2704	6h15min
IST	OUA	2704	6h15min
OUA	CDG	2542	5h30min
CDG	OUA	2542	5h30min



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira

Teoria dos Grafos



OUA	ADD	2743	6h00min
ADD	OUA	2743	6h00min
SAH	CAI	1297	3h00min
CAI	SAH	1297	3h00min
BGW	KUL	4255	8h30min
KUL	BGW	4255	8h30min
BGW	DEL	1966	4h45min
DEL	BGW	1966	4h45min
BGW	IST	1012	3h15min
IST	BGW	1012	3h15min
RGN	DEL	1451	3h45min
DEL	RGN	1451	3h45min
RGN	TPE	1710	3h55min
TPE	RGN	1710	3h55min
RGN	SGN	820	2h30min
SGN	RGN	820	2h30min
EBB	IST	2856	7h35min
IST	EBB	2856	7h35min
EBB	CAI	2078	5h20min
CAI	EBB	2078	5h20min
EBB	LOS	2056	4h30min
LOS	EBB	2056	4h30min
ALG	JED	2383	4h55min
JED	ALG	2383	4h55min
ALG	SVO	2069	5h10min



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira

Teoria dos Grafos



SVO	ALG	2069	5h10min
ALG	CAI	1680	3h45min
CAI	ALG	1680	3h45min
ACC	IST	3039	7h10min
IST	ACC	3039	7h10min
ACC	FCO	2613	5h50min
FCO	ACC	2613	5h50min
ACC	LHR	3167	6h40min
LHR	ACC	3167	6h40min
LAD	FRA	4076	8h35min
FRA	LAD	4076	8h35min
LAD	CDG	4048	8h35min
CDG	LAD	4048	8h35min
LAD	GRU	4057	8h30min
GRU	LAD	4057	8h30min
MPM	JNB	268	1h05min
JNB	MPM	268	1h05min
MPM	NBO	1723	3h55min
NBO	MPM	1723	3h55min
MPM	ADD	2446	5h20min
ADD	MPM	2446	5h20min
NBO	LHR	4249	9h10min
LHR	NBO	4249	9h10min
NBO	FRA	3923	9h05min
FRA	NBO	3923	9h05min



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira
Teoria dos Grafos



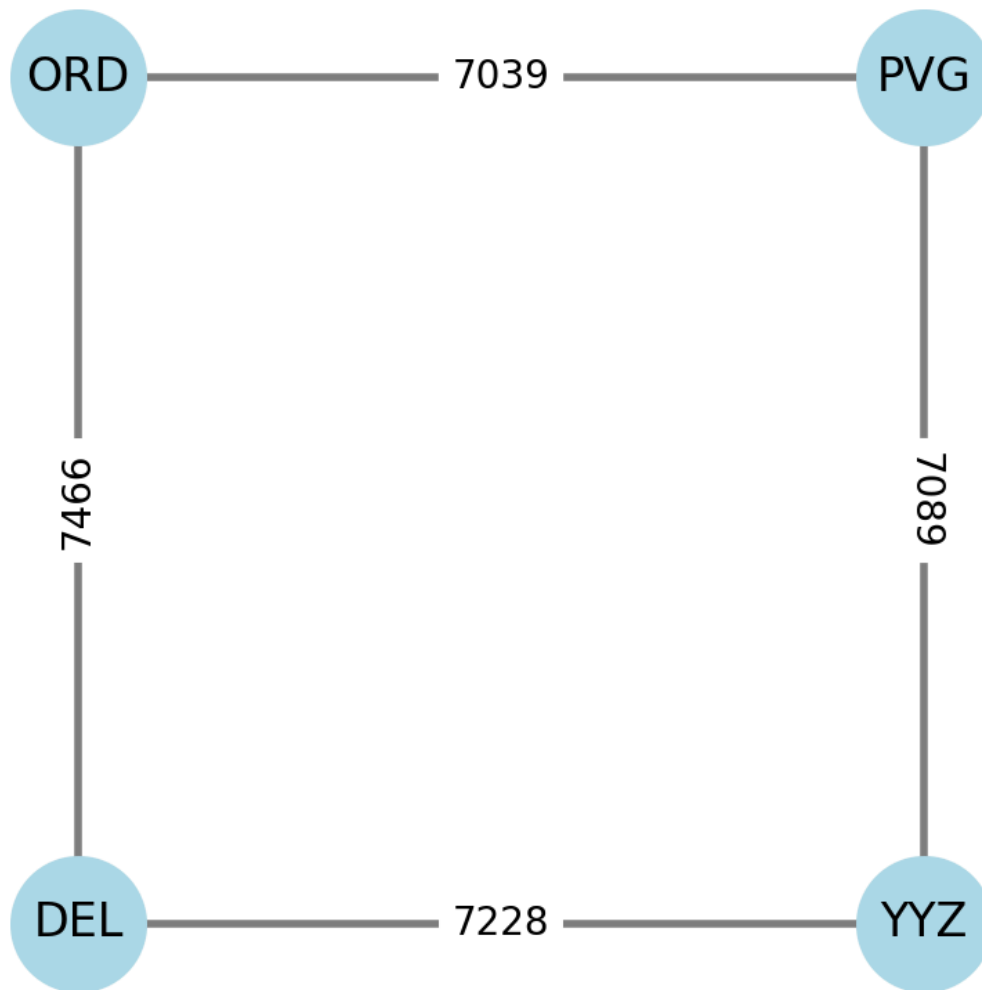
NBO	CDG	4033	9h10min
CDG	NBO	4033	9h10min
TPE	LHR	6075	16h10min
LHR	TPE	6075	16h10min
SYD	PVG	4884	10h30min
PVG	SYD	4884	10h30min
FNJ	—	—	—
KBP	—	—	—

(Obs.: Os aeroportos FNJ e KBP não possuem conexões listadas no arquivo, por não operarem voos internacionais de longa distância relevantes no contexto do grafo.)

Exemplo Simplificado de Modelagem

É possível modelar a rede de aeroportos e voos como um grafo em que os aeroportos são representados por vértices, e os voos diretos entre aeroportos são representados por arestas conectando esses vértices. Cada aresta é ponderada de acordo com um critério relevante, como a distância entre os aeroportos ou o tempo de viagem do voo, conforme os dados disponíveis. Essa modelagem possibilita a aplicação de algoritmos de teoria dos grafos para analisar as rotas e determinar, por exemplo, caminhos mais curtos ou mais eficientes entre destinos.

Para ilustrar de forma simplificada a construção e utilização do grafo, considere um subconjunto com quatro aeroportos: Delhi (DEL), Chicago (ORD), Shanghai (PVG) e Toronto (YYZ). A Figura 1 apresenta o grafo correspondente a esses aeroportos. Cada nó (vértice) representa um dos aeroportos selecionados, e cada ligação (aresta) representa um voo direto entre dois desses aeroportos. As arestas estão etiquetadas com as respectivas distâncias de voo em milhas entre os aeroportos conectados.

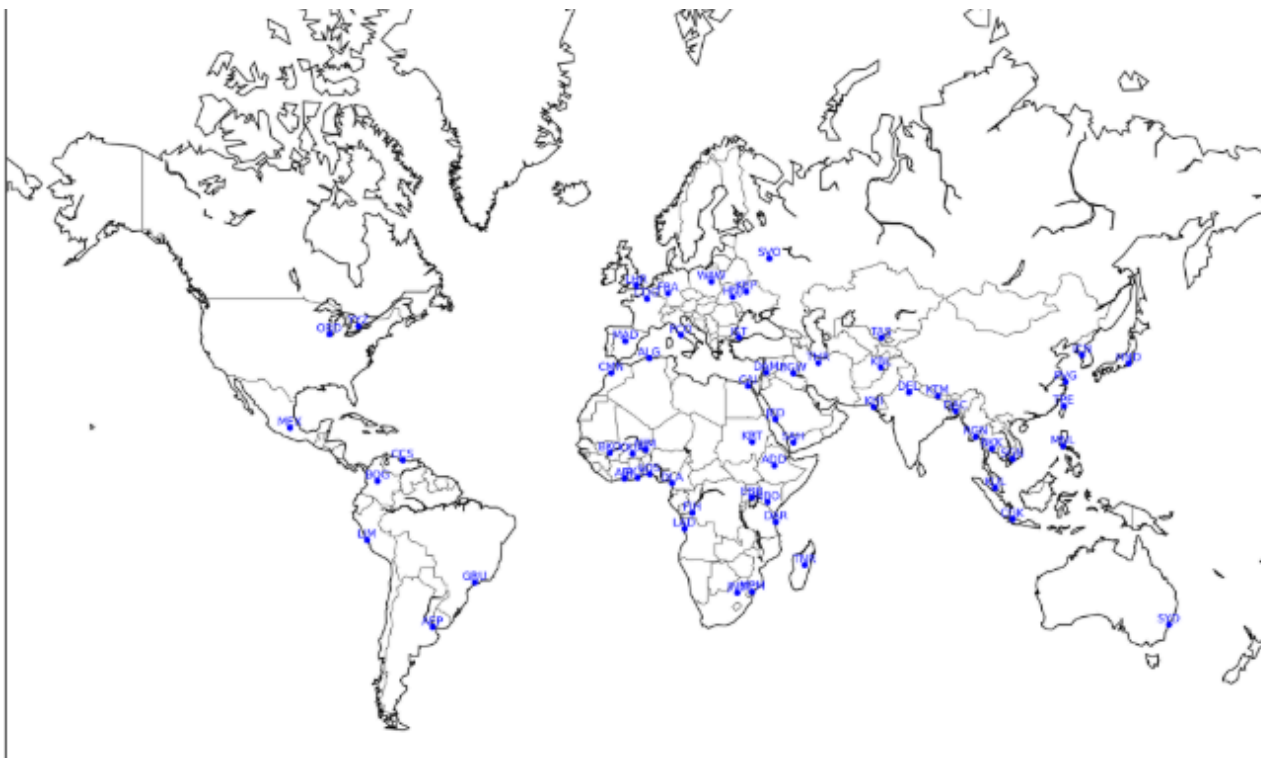


Grafo simplificado com quatro aeroportos (DEL, ORD, PVG e YYZ) como vértices e suas conexões diretas como arestas. Os valores nas arestas indicam a distância em milhas entre os dois aeroportos conectados.

Como exemplo de aplicação dos algoritmos estudados, pode-se empregar o algoritmo de Dijkstra para encontrar o caminho de menor distância nesse grafo simplificado. Suponha que se deseja determinar a rota mais curta entre Delhi (DEL) e Shanghai (PVG). Não há um voo direto entre esses dois aeroportos no subconjunto considerado, de forma que o algoritmo avaliará as rotas alternativas possíveis. Nesse caso, existem duas rotas viáveis: uma passando por Chicago (DEL → ORD → PVG) e outra passando por Toronto (DEL → YYZ → PVG). As distâncias totais percorridas nessas rotas seriam, respectivamente, 14505 milhas e 14317 milhas. Ao comparar os pesos (distâncias) acumulados, os algoritmos de Dijkstra identificaram que a segunda opção (via YYZ) apresenta a menor distância total, correspondendo assim ao caminho mais curto entre Delhi e Shanghai nesse exemplo. Esse resultado ilustra a utilidade da modelagem por grafos para encontrar rotas otimizadas entre aeroportos.

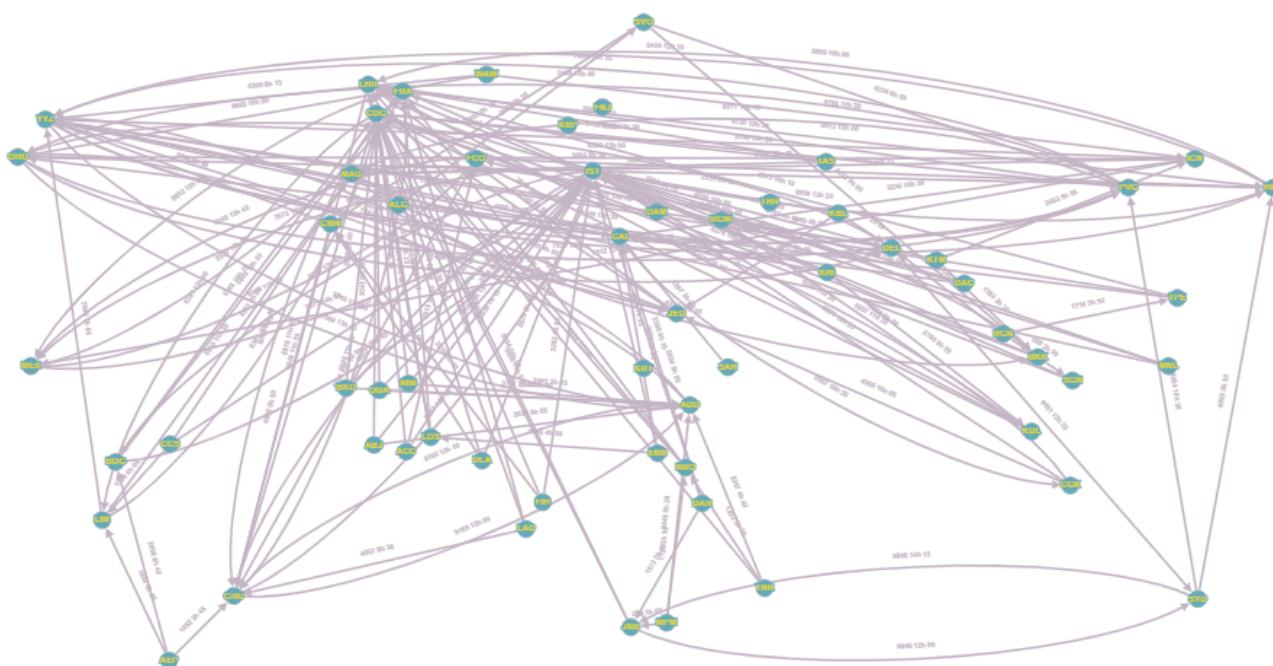


- Visualização dos vértices



Localização dos aeroportos escolhidos no mapa

- Modelagem no Graph online



Grafo modelado na ferramenta indicada



- Objetivos da ODS contemplados no seu projeto

Considerando a relevância dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) para a humanidade, este projeto contempla principalmente o ODS 9 - Indústria, inovação e infraestrutura, pois aborda diretamente a importância da infraestrutura resiliente e sustentável por meio da análise da rede internacional de aeroportos. Ao identificar os hubs globais e suas conexões estratégicas, promove-se a compreensão da infraestrutura de transporte aéreo como um catalisador essencial para a inovação tecnológica e o desenvolvimento econômico regional e global.

Além de enfatizar a necessidade de sistemas de mobilidade sustentáveis e eficientes, a pesquisa relaciona-se ao ODS 13 - Ação contra a mudança global do clima, uma vez que destaca práticas responsáveis no setor aéreo, incentivando estratégias que visam diminuir a pegada de carbono e melhorar a eficiência energética dos transportes internacionais.

Dessa maneira, a investigação não apenas fornece uma compreensão aprofundada das dinâmicas do transporte aéreo global, mas também reforça o compromisso com um crescimento econômico dissociado da pobreza, da desigualdade e dos impactos ambientais negativos, contribuindo para um desenvolvimento sustentável e inclusivo no contexto global.

- Soluções utilizando a teoremas da teoria dos grafos

1.1 Algoritmo de Dijkstra

O algoritmo de Dijkstra determina o caminho mínimo partindo de um aeroporto específico (vértice inicial) para todos os outros aeroportos do grafo, considerando as arestas ponderadas (distância ou tempo de voo). No contexto desse projeto, ele permite descobrir a rota mais curta ou mais rápida entre dois aeroportos, facilitando o planejamento de rotas internacionais eficientes em termos de tempo e custo operacional.

1.2 Algoritmo de Floyd-Warshall

O algoritmo de Floyd é usado para determinar os menores caminhos entre todos os pares de aeroportos simultaneamente. Aplicado nesse contexto, permite analisar rapidamente quais aeroportos têm conexões mais eficientes entre si. Com isso, é possível identificar hubs mais bem conectados globalmente, permitindo melhor planejamento estratégico da malha aérea.



1.3 Algoritmo de Bellman-Ford

O algoritmo de Bellman-Ford determina caminhos mínimos assim como Dijkstra, mas é útil especialmente quando existem arestas com pesos negativos (não é o caso explícito deste projeto, mas poderia ocorrer se considerássemos fatores adicionais, como incentivos econômicos). Mesmo sem pesos negativos, pode servir para validação e comparação de resultados obtidos por outros algoritmos, garantindo robustez na análise dos caminhos mínimos.

2.0 Algoritmo de Coloração dos Vértices (Classes)

Este algoritmo divide o grafo em grupos de aeroportos (cores) onde nenhum aeroporto conectado diretamente pode compartilhar a mesma cor. No projeto, essa técnica pode ser utilizada para planejar operações simultâneas ou sequenciais em aeroportos, como alocação de recursos operacionais ou organização de horários, evitando conflitos e garantindo que operações próximas sejam feitas de forma segura e eficiente.

2.1 Ciclo Euleriano

Um ciclo Euleriano é um percurso que passa por todas as arestas exatamente uma vez e retorna ao ponto de partida. No contexto da rede internacional de aeroportos, verificar se existe um ciclo Euleriano permite avaliar a possibilidade de criar rotas que visitem cada trecho específico exatamente uma vez, otimizando percursos para manutenção ou operações especiais, porém a existência deste ciclo depende fortemente da estrutura das conexões aéreas modeladas, o que não ocorre no nosso grafo, por ser desconexo.

2.3 Maior Componente Fortemente Conexa

Uma componente fortemente conexa é um subgrupo de aeroportos onde cada aeroporto pode alcançar qualquer outro aeroporto diretamente ou através de conexões intermediárias. Identificar a maior componente fortemente conexa nesse projeto ajuda a destacar a região mais bem integrada do sistema aéreo global, facilitando decisões estratégicas sobre investimentos em infraestrutura, segurança operacional e otimização logística.

Cada um desses algoritmos oferece insights valiosos para diferentes aspectos da modelagem do sistema aéreo internacional proposto no projeto, ajudando na análise estratégica da infraestrutura de transporte aéreo global e sua eficiência.



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira
Teoria dos Grafos



- Testes

Opção 1

Projeto 1 - Teoria dos Grafos - Rede internacional de voos a longas distancias

- 1-Ler dados do arquivo grafo.txt
- 2-Gravar dados no arquivo grafo.txt
- 3-Inserir vértice
- 4-Inserir aresta
- 5-Remove vértice
- 6-Remove aresta
- 7-Mostrar conteúdo do arquivo
- 8-Mostrar grafo
- 9-Apresentar a conexidade do grafo e o reduzido
- 10-Encerrar a aplicação

Digite a opção desejada:

1

Arquivo Lido!

Projeto 1 - Teoria dos Grafos - Rede internacional de voos a longas distancias

- 1-Ler dados do arquivo grafo.txt
- 2-Gravar dados no arquivo grafo.txt
- 3-Inserir vértice
- 4-Inserir aresta
- 5-Remove vértice
- 6-Remove aresta
- 7-Mostrar conteúdo do arquivo
- 8-Mostrar grafo
- 9-Apresentar a conexidade do grafo e o reduzido
- 10-Encerrar a aplicação

Digite a opção desejada:

1

Arquivo Lido!

Projeto 1 - Teoria dos Grafos - Rede internacional de voos a longas distancias

- 1-Ler dados do arquivo grafo.txt
- 2-Gravar dados no arquivo grafo.txt
- 3-Inserir vértice
- 4-Inserir aresta
- 5-Remove vértice
- 6-Remove aresta
- 7-Mostrar conteúdo do arquivo
- 8-Mostrar grafo
- 9-Apresentar a conexidade do grafo e o reduzido
- 10-Encerrar a aplicação

Digite a opção desejada:

□



Opção 2

```
Projeto 1 - Teoria dos Grafos - Rede internacional de voos a longas distancias
```

```
1-Ler dados do arquivo grafo.txt
2-Gravar dados no arquivo grafo.txt
3-Inserir vértice
4-Inserir aresta
5-Remove vértice
6-Remove aresta
7-Mostrar conteúdo do arquivo
8-Mostrar grafo
9-Apresentar a conexidade do grafo e o reduzido
10-Encerrar a aplicação
```

```
Digite a opção desejada:
```

```
2
```

```
Dados gravados com sucesso!
```

```
Projeto 1 - Teoria dos Grafos - Rede internacional de voos a longas distancias
```

```
1-Ler dados do arquivo grafo.txt
2-Gravar dados no arquivo grafo.txt
3-Inserir vértice
4-Inserir aresta
5-Remove vértice
6-Remove aresta
7-Mostrar conteúdo do arquivo
8-Mostrar grafo
9-Apresentar a conexidade do grafo e o reduzido
10-Encerrar a aplicação
```

```
Digite a opção desejada:
```

```
2
```

```
Dados gravados com sucesso!
```



Opção 3

Projeto 1 - Teoria dos Grafos - Rede internacional de voos a longas distancias

- 1-Ler dados do arquivo grafo.txt
- 2-Gravar dados no arquivo grafo.txt
- 3-Inserir vértice
- 4-Inserir aresta
- 5-Remove vértice
- 6-Remove aresta
- 7-Mostrar conteúdo do arquivo
- 8-Mostrar grafo
- 9-Apresentar a conexidade do grafo e o reduzido
- 10-Encerrar a aplicação

Digite a opção desejada:

3

Código do aeroporto:

BSB

País do aeroporto:

Brasil

Média de voos:

1219

Projeto 1 - Teoria dos Grafos - Rede internacional de voos a longas distancias

- 1-Ler dados do arquivo grafo.txt
- 2-Gravar dados no arquivo grafo.txt
- 3-Inserir vértice
- 4-Inserir aresta
- 5-Remove vértice
- 6-Remove aresta
- 7-Mostrar conteúdo do arquivo
- 8-Mostrar grafo
- 9-Apresentar a conexidade do grafo e o reduzido
- 10-Encerrar a aplicação

Digite a opção desejada:

3

Código do aeroporto:

SIN

País do aeroporto:

Singapura

Média de voos:

667



Opção 4

Projeto 1 - Teoria dos Grafos - Rede internacional de voos a longas distancias

- 1-Ler dados do arquivo grafo.txt
- 2-Gravar dados no arquivo grafo.txt
- 3-Inserir vértice
- 4-Inserir aresta
- 5-Remove vértice
- 6-Remove aresta
- 7-Mostrar conteúdo do arquivo
- 8-Mostrar grafo
- 9-Apresentar a conexidade do grafo e o reduzido
- 10-Encerrar a aplicação

Digite a opção desejada:

4

Origem da aresta:

BSB

Destino da aresta:

SIN

Distancia:

10002

Tempo do voo:

12

Projeto 1 - Teoria dos Grafos - Rede internacional de voos a longas distancias

- 1-Ler dados do arquivo grafo.txt
- 2-Gravar dados no arquivo grafo.txt
- 3-Inserir vértice
- 4-Inserir aresta
- 5-Remove vértice
- 6-Remove aresta
- 7-Mostrar conteúdo do arquivo
- 8-Mostrar grafo
- 9-Apresentar a conexidade do grafo e o reduzido
- 10-Encerrar a aplicação

Digite a opção desejada:

4

Origem da aresta:

GRU

Destino da aresta:

BSB

Distancia:

900

Tempo do voo:

2



Opção 5

Projeto 1 - Teoria dos Grafos - Rede internacional de voos a longas distancias

- 1-Ler dados do arquivo grafo.txt
- 2-Gravar dados no arquivo grafo.txt
- 3-Inserir vértice
- 4-Inserir aresta
- 5-Remove vértice
- 6-Remove aresta
- 7-Mostrar conteúdo do arquivo
- 8-Mostrar grafo
- 9-Apresentar a conexidade do grafo e o reduzido
- 10-Encerrar a aplicação

Digite a opção desejada:

5

Código do aeroporto a ser removido:

BSB

Projeto 1 - Teoria dos Grafos - Rede internacional de voos a longas distancias

- 1-Ler dados do arquivo grafo.txt
- 2-Gravar dados no arquivo grafo.txt
- 3-Inserir vértice
- 4-Inserir aresta
- 5-Remove vértice
- 6-Remove aresta
- 7-Mostrar conteúdo do arquivo
- 8-Mostrar grafo
- 9-Apresentar a conexidade do grafo e o reduzido
- 10-Encerrar a aplicação

Digite a opção desejada:

5

Código do aeroporto a ser removido:

DEL



Opção 7

Projeto 1 - Teoria dos Grafos - Rede internacional de voos a longas distancias

- 1-Ler dados do arquivo grafo.txt
- 2-Gravar dados no arquivo grafo.txt
- 3-Inserir vértice
- 4-Inserir aresta
- 5-Remove vértice
- 6-Remove aresta
- 7-Mostrar conteúdo do arquivo
- 8-Mostrar grafo
- 9-Apresentar a conexidade do grafo e o reduzido
- 10-Encerrar a aplicação

Digite a opção desejada:

7

Conteúdo do arquivo txt:

7

60

```
0 "DEL" "India" "624.0"
1 "PVG" "China" "691.0"
2 "ORD" "United States" "991.0"
3 "CGK" "Indonesia" "559.0"
4 "KHI" "Pakistan" "118.0"
5 "LOS" "Nigeria" "204.0"
6 "GRU" "Brazil" "276.0"
7 "DAC" "Bangladesh" "190.0"
8 "SVO" "Russia" "321.0"
9 "MEX" "Mexico" "339.0"
10 "HND" "Japan" "641.0"
11 "ADD" "Ethiopia" "380.0"
12 "MNL" "Philippines" "384.0"
13 "CAI" "Egypt" "580.0"
14 "FIH" "Democratic Republic of the Congo" "40.0"
15 "SGN" "Vietnam" "280.0"
16 "THR" "Iran" "84.0"
17 "IST" "Türkiye" "591.0"
18 "FRA" "Germany" "528.0"
19 "BKK" "Thailand" "440.0"
20 "LHR" "United Kingdom" "569.0"
21 "DAR" "Tanzania" "94.0"
22 "CDG" "France" "558.0"
23 "JNB" "South Africa" "504.0"
```



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira
Teoria dos Grafos



```
24 "FCO" "Italy" "423.0"
25 "NBO" "Kenya" "124.0"
26 "RGN" "Myanmar" "102.0"
27 "BOG" "Colombia" "411.0"
28 "ICN" "South Korea" "488.0"
29 "KRT" "Sudan" "8.0"
30 "EBB" "Uganda" "42.0"
31 "MAD" "Spain" "493.0"
32 "ALG" "Algeria" "154.0"
33 "BGW" "Iraq" "96.0"
34 "AEP" "Argentina" "346.0"
35 "KBL" "Afghanistan" "30.0"
36 "SAH" "Yemen" "38.0"
37 "YYZ" "Canada" "416.0"
38 "WAW" "Poland" "346.0"
39 "CMN" "Morocco" "153.0"
40 "LAD" "Angola" "24.0"
41 "KBP" "Ukraine" "0.0"
42 "TAS" "Uzbekistan" "129.0"
43 "KUL" "Malaysia" "519.0"
44 "MPM" "Mozambique" "44.0"
45 "ACC" "Ghana" "112.0"
46 "LIM" "Peru" "434.0"
47 "JED" "Saudi Arabia" "321.0"
48 "TNR" "Madagascar" "26.0"
49 "ABJ" "Côte d'Ivoire" "26.0"
50 "KTM" "Nepal" "500.0"
51 "DLA" "Cameroon" "36.0"
52 "CCS" "Venezuela" "44.0"
53 "NIM" "Niger" "10.0"
54 "SYD" "Australia" "374.0"
55 "FNJ" "North Korea" "2.0"
56 "DAM" "Syria" "8.0"
57 "BKO" "Mali" "22.0"
58 "OUA" "Burkina Faso" "18.0"
59 "TPE" "Taiwan" "752.0"
```

164

```
DEL_ORD 7466 15h 15
DEL_YYZ 7228 14h 50
DEL_SYD 6481 12h 35
PVG_ORD 7039 13h 40
PVG_MAD 6377 14h 40
PVG_YYZ 7089 14h 35
```



ORD_DEL 7466 14h 30
ORD_PVG 7039 14h 50
ORD_ADD 7564 13h 45
CGK_CAI 5557 11h 20
CGK_IST 5874 12h 25
CGK_JED 4950 10h 05
KHI_IST 2466 6h 20
KHI_YYZ 7247 15h 00
KHI_KUL 2760 6h 20
LOS_FRA 3016 6h 35
LOS_LHR 3108 6h 40
LOS_CDG 2930 6h 15
GRU_ADD 6165 12h 00
GRU_IST 6557 12h 30
GRU_FRA 6085 11h 30
DAC_CAI 3617 8h 40
DAC_IST 3703 8h 55
DAC_FCO 4546 10h 20
SVO_PVG 4254 8h 55
SVO_BKK 4412 9h 05
SVO_CMN 2635 6h 15
MEX_IST 7073 14h 55
MEX_FRA 5932 10h 40
MEX_FCO 6348 11h 45
HND_ORD 6287 11h 55
HND_LHR 5956 15h 00
HND_YYZ 6425 12h 15
ADD_ORD 7564 13h 45
ADD_GRU 6165 12h 10
ADD_YYZ 7143 13h 15
MNL_IST 5674 13h 10
MNL_CDG 6665 15h 00
MNL_YYZ 8206 14h 50
CAI_CGK 5557 10h 20
CAI_ICN 5236 10h 30
CAI_YYZ 5731 12h 00
FIH_IST 3262 8h 05
FIH_CDG 3768 8h 20
FIH_CMN 3010 6h 40
SGN_FRA 5997 13h 15
SGN_LHR 6346 14h 00
SGN_CDG 6276 14h 00
IST_GRU 6557 13h 40



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira
Teoria dos Grafos



```
IST_MEX 7073 14h 55
IST_BOG 6663 13h 45
FRA_GRU 6085 12h 00
FRA_MEX 5932 12h 20
FRA_HND 5813 12h 40
BKK_LHR 5948 13h 40
BKK_CDG 5868 13h 10
BKK_MAD 6330 14h 00
LHR_PVG 5739 12h 35
LHR_GRU 5875 11h 50
LHR_HND 5956 13h 35
DAR_CAI 2606 5h 50
DAR_IST 3390 8h 10
DAR_JNB 1513 3h 45
CDG_PVG 5755 12h 35
CDG_GRU 5840 11h 55
CDG_LIM 6381 12h 40
JNB_LHR 5636 11h 30
JNB_CDG 5426 11h 30
JNB_SYD 6846 12h 00
FCO_GRU 5857 12h 00
FCO_MEX 6348 13h 45
FCO_HND 6144 12h 15
NBO_FRA 3923 9h 05
NBO_LHR 4249 9h 10
NBO_CDG 4033 9h 10
RGN_DEL 1451 3h 45
RGN_SGN 820 2h 30
RGN_TPE 1710 3h 55
BOG_IST 6663 13h 45
BOG_FRA 5643 10h 25
BOG_CDG 5368 10h 10
ICN_ORD 6533 13h 00
ICN_MEX 7512 13h 55
ICN_YYZ 6593 13h 20
EBB_LOS 2056 4h 30
EBB_CAI 2078 5h 20
EBB_IST 2856 7h 35
MAD_PVG 6377 13h 05
MAD_BKK 6330 11h 55
MAD_ICN 6188 12h 45
ALG_SVO 2069 5h 10
ALG_CAI 1680 3h 45
```



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira
Teoria dos Grafos



```
ALG_JED 2383 4h 55
BGW_DEL 1966 4h 45
BGW_IST 1012 3h 15
BGW_KUL 4255 8h 30
AEP_GRU 1052 2h 45
AEP_BOG 2898 6h 45
AEP_LIM 1949 4h 50
KBL_DEL 621 2h 00
KBL_IST 2231 5h 45
KBL_JED 2024 5h 05
SAH_CAI 1297 3h 00
YYZ_PVG 7089 14h 50
YYZ_HND 6425 14h 10
YYZ_ADD 7143 13h 15
WAW_ORD 4669 10h 00
WAW_ICN 4798 11h 20
WAW_YYZ 4306 9h 15
CMN_GRU 4682 9h 50
CMN_YYZ 3834 8h 40
CMN_JED 2948 6h 15
LAD_GRU 4057 8h 30
LAD_FRA 4076 8h 35
LAD_CDG 4048 8h 35
TAS_LHR 3267 8h 15
TAS_CDG 3188 8h 05
TAS_MAD 3684 8h 50
KUL_IST 5209 11h 20
KUL_LHR 6586 13h 35
KUL_CDG 6485 13h 55
MPM_ADD 2446 5h 20
MPM_JNB 268 1h 05
MPM_NBO 1723 3h 55
ACC_IST 3039 7h 10
ACC_LHR 3167 6h 40
ACC_FCO 2613 5h 50
LIM_CDG 6381 12h 25
LIM_MAD 5916 11h 35
LIM_YYZ 3849 7h 55
JED_LHR 2949 6h 50
JED_CDG 2749 6h 25
JED_YYZ 6486 13h 50
TNR_ADD 2007 4h 40
TNR_CDG 5433 11h 40
```



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira
Teoria dos Grafos



```
TNR_NBO 1402 3h 20
ABJ_ADD 2937 6h 05
ABJ_IST 3199 7h 15
ABJ_CDG 3045 6h 30
KTM_IST 3295 8h 25
KTM_BKK 1384 3h 20
KTM_ICN 2463 5h 55
DLA_IST 2830 6h 55
DLA_CDG 3136 6h 45
DLA_CMN 2314 5h 30
CCS_IST 6027 11h 50
CCS_MAD 4351 8h 25
CCS_LIM 1709 4h 05
NIM_ADD 2497 5h 45
NIM_IST 2496 6h 05
NIM_CDG 2453 5h 35
SYD_PVG 4884 10h 30
SYD_HND 4855 9h 35
SYD_JNB 6846 14h 15
DAM_IST 689 2h 10
BKO_ADD 3177 7h 00
BKO_IST 2968 6h 45
BKO_CDG 2589 5h 40
OUA_ADD 2743 6h 00
OUA_IST 2704 6h 15
OUA_CDG 2542 5h 30
TPE_ORD 7440 13h 35
TPE_LHR 6075 16h 10
TPE_YYZ 7501 14h 00
```



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira
Teoria dos Grafos



Opção 8

Projeto 1 - Teoria dos Grafos - Rede internacional de voos a longas distancias

- 1-Ler dados do arquivo grafo.txt
- 2-Gravar dados no arquivo grafo.txt
- 3-Inserir vértice
- 4-Inserir aresta
- 5-Remove vértice
- 6-Remove aresta
- 7-Mostrar conteúdo do arquivo
- 8-Mostrar grafo
- 9-Apresentar a conexidade do grafo e o reduzido
- 10-Encerrar a aplicação

Digite a opção desejada:

8

Matriz de Adjacência:

	PVG	ORD	CGK	KHI	LOS	GRU	DAC	SVO	MEX	HND	ADD	MNL	CAI	FIH	SGN	THR	A
IST	FRA	BKK	LHR	DAR	CDG	JNB	FCO	NBO	RGN	BOG	ICN	KRT	EBB	MAD	ALG	BGM	DL
EP	KBL	SAH	YYZ	WAW	CMN	LAD	KBP	TAS	KUL	MPM	ACC	LIM	JED	TNR	ABJ	KTM	
A	CCS	NIM	SYD	FINJ	DAM	BKO	OUA	TPE	SIN								
	PVG	ORD	CGK	KHI	LOS	GRU	DAC	SVO	MEX	HND	ADD	MNL	CAI				
FIH	SGN	THR	IST	FRA	BKK	LHR	DAR	CDG	JNB	FCO	WAW	CMN	L				
BOG	ICN	KRT	EBB	MAD	ALG	BGM	AEP	KBL	SAH	YYZ	WAW	CMN	L				
AD	KBP	TAS	KUL	MPM	ACC	LIM	JED	TNR	ABJ	KTM	DLA	CCS	NIM				
SYD																	
PVG	-	7039mi 13h 40-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	6377mi 14h 40-	-	-	-	-	-	-	-	7089mi 14h 35-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ORD	7039mi 14h 50-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7564mi 13h 45-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CGK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5557mi 11h	-
20-	-	-	-	-	5874mi 12h 25-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	4950mi 10h 05-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KHI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	2466mi 6h 20 -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7247mi 15h 00-	-	-	-	-



Opção 9

Projeto 1 - Teoria dos Grafos - Rede internacional de voos a longas distancias

- 1-Ler dados do arquivo grafo.txt
- 2-Gravar dados no arquivo grafo.txt
- 3-Inserir vértice
- 4-Inserir aresta
- 5-Remove vértice
- 6-Remove aresta
- 7-Mostrar conteúdo do arquivo
- 8-Mostrar grafo
- 9-Apresentar a conexidade do grafo e o reduzido
- 10-Encerrar a aplicação

Digite a opção desejada:

9

Conexidade do grafo: desconexo

Componentes Fortemente Conexos:

- Componente 0: ['SIN']
- Componente 1: ['OUA']
- Componente 2: ['BKO']
- Componente 3: ['DAM']
- Componente 4: ['FNJ']
- Componente 5: ['NIM']
- Componente 6: ['CCS']
- Componente 7: ['DLA']
- Componente 8: ['KTM']
- Componente 9: ['ABJ']
- Componente 10: ['TNR']
- Componente 11: ['ACC']
- Componente 12: ['MPM']
- Componente 13: ['TAS']
- Componente 14: ['KBP']
- Componente 15: ['LAD']
- Componente 16: ['WAW']
- Componente 17: ['SAH']
- Componente 18: ['KBL']
- Componente 19: ['AEP']
- Componente 20: ['BGW']
- Componente 21: ['ALG']
- Componente 22: ['EBB']
- Componente 23: ['KRT']
- Componente 24: ['RGN']
- Componente 25: ['TPE']



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira

Teoria dos Grafos



```
Componente 26: ['NBO']
Componente 27: ['DAR']
Componente 28: ['JNB', 'SYD']
Componente 29: ['THR']
Componente 30: ['SGN']
Componente 31: ['FIH']
Componente 32: ['MNL']
Componente 33: ['SVO']
Componente 34: ['CMN']
Componente 35: ['DAC']
Componente 36: ['LOS']
Componente 37: ['KHI']
Componente 38: ['KUL']
Componente 39: ['CGK', 'CAI']
Componente 40: ['JED']
Componente 41: ['PVG', 'ORD', 'HND', 'FRA', 'GRU', 'ADD', 'YYZ', 'ICN', 'MAD', 'BKK', 'LIM', 'CDG', 'BOG', 'IST', 'MEX', 'FCO', 'LHR']
```

Grafo Reduzido (arestas entre componentes):

```
C39 -> C40
C39 -> C41
C37 -> C41
C37 -> C38
C36 -> C41
C35 -> C41
C35 -> C39
C33 -> C41
C33 -> C34
C32 -> C41
C31 -> C41
C31 -> C34
C30 -> C41
C27 -> C41
C27 -> C28
C27 -> C39
C28 -> C41
C26 -> C41
C24 -> C25
C24 -> C30
C22 -> C41
C22 -> C36
C22 -> C39
C21 -> C40
C21 -> C33
```



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira
Teoria dos Grafos



```
C20 -> C41
C20 -> C38
C19 -> C41
C18 -> C40
C18 -> C41
C17 -> C39
C16 -> C41
C34 -> C40
C34 -> C41
C15 -> C41
C13 -> C41
C38 -> C41
C12 -> C41
C12 -> C26
C12 -> C28
C11 -> C41
C40 -> C41
C10 -> C41
C10 -> C26
C9 -> C41
C8 -> C41
C7 -> C41
C7 -> C34
C6 -> C41
C5 -> C41
C3 -> C41
C2 -> C41
C1 -> C41
C25 -> C41
```

Opção 10

Projeto 1 - Teoria dos Grafos - Rede internacional de voos

```
1- Ler dados do arquivo grafo.txt
2- Gravar dados no arquivo grafo.txt
3- Inserir vértice
4- Inserir aresta
5- Remover vértice
6- Remover aresta
7- Mostrar conteúdo do arquivo
8- Mostrar grafo
9- Conexidade e grafo reduzido
10- Dijkstra (menor caminho)
11- Floyd-Warshall (todos os caminhos mínimos)
12- Bellman-Ford (menor caminho e detecção de ciclos negativos)
13- Colorir vértices
14- Maior componente fortemente conexa
15- Detectar ciclo Hamiltoniano
16- Encerrar aplicação
Digite a opção desejada: 10
Origem: GRU
Destino: HND
Critério ('distancia' ou 'tempo'): tempo
Caminho: GRU -> FRA -> HND | Custo: 1380
```



Projeto 1 - Teoria dos Grafos - Rede internacional de voos

```
1- Ler dados do arquivo grafo.txt
2- Gravar dados no arquivo grafo.txt
3- Inserir vértice
4- Inserir aresta
5- Remover vértice
6- Remover aresta
7- Mostrar conteúdo do arquivo
8- Mostrar grafo
9- Conexidade e grafo reduzido
10- Dijkstra (menor caminho)
11- Floyd-Warshall (todos os caminhos mínimos)
12- Bellman-Ford (menor caminho e detecção de ciclos negativos)
13- Colorir vértices
14- Maior componente fortemente conexa
15- Detectar ciclo Hamiltoniano
16- Encerrar aplicação
Digite a opção desejada: 10
Origem: ORD
Destino: FRA
Critério ('distancia' ou 'tempo'): tempo
Caminho: ORD -> ADD -> GRU -> FRA | Custo: 2160
```

Opção 11

Projeto 1 - Teoria dos Grafos - Rede internacional de voos

```
1- Ler dados do arquivo grafo.txt
2- Gravar dados no arquivo grafo.txt
3- Inserir vértice
4- Inserir aresta
5- Remover vértice
6- Remover aresta
7- Mostrar conteúdo do arquivo
8- Mostrar grafo
9- Conexidade e grafo reduzido
10- Dijkstra (menor caminho)
11- Floyd-Warshall (todos os caminhos mínimos)
12- Bellman-Ford (menor caminho e detecção de ciclos negativos)
13- Colorir vértices
14- Maior componente fortemente conexa
15- Detectar ciclo Hamiltoniano
16- Encerrar aplicação
Digite a opção desejada: 11
Critério ('distancia' ou 'tempo'): tempo
```



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira
Teoria dos Grafos



```
TPE -> GRU = 1620
TPE -> DAC = inf
TPE -> SVO = inf
TPE -> MEX = 3000
TPE -> HND = 1680
TPE -> ADD = 1560
TPE -> MNL = inf
TPE -> CAI = inf
TPE -> FIH = inf
TPE -> SGN = inf
TPE -> THR = inf
TPE -> IST = 2340
TPE -> FRA = 2280
TPE -> BKK = 3120
TPE -> LHR = 960
TPE -> DAR = inf
TPE -> CDG = 3720
TPE -> JNB = 3180
TPE -> FCO = 3660
TPE -> NBO = inf
TPE -> RGN = inf
TPE -> BOG = 3120
TPE -> ICN = 3180
TPE -> KRT = inf
TPE -> EBB = inf
TPE -> MAD = 2460
TPE -> ALG = inf
TPE -> BGW = inf
TPE -> AEP = inf
TPE -> KBL = inf
TPE -> SAH = inf
TPE -> YYZ = 840
TPE -> WAW = inf
TPE -> CMN = inf
TPE -> LAD = inf
TPE -> KBP = inf
TPE -> TAS = inf
TPE -> KUL = inf
TPE -> MPM = inf
TPE -> ACC = inf
TPE -> LIM = 4440
TPE -> JED = inf
TPE -> TNR = inf
TPE -> ABJ = inf
TPE -> KTM = inf
TPE -> DLA = inf
TPE -> CCS = inf
TPE -> NIM = inf
TPE -> SYD = 2340
TPE -> FNJ = inf
TPE -> DAM = inf
TPE -> BKO = inf
TPE -> OUA = inf
TPE -> TPE = 0
```



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira
Teoria dos Grafos



Opção 12

Projeto 1 - Teoria dos Grafos - Rede internacional de voos

- 1- Ler dados do arquivo grafo.txt
- 2- Gravar dados no arquivo grafo.txt
- 3- Inserir vértice
- 4- Inserir aresta
- 5- Remover vértice
- 6- Remover aresta
- 7- Mostrar conteúdo do arquivo
- 8- Mostrar grafo
- 9- Conexidade e grafo reduzido
- 10- Dijkstra (menor caminho)
- 11- Floyd-Warshall (todos os caminhos mínimos)
- 12- Bellman-Ford (menor caminho e detecção de ciclos negativos)
- 13- Colorir vértices
- 14- Maior componente fortemente conexa
- 15- Detectar ciclo Hamiltoniano
- 16- Encerrar aplicação

Digite a opção desejada: 12

Origem para Bellman-Ford: GRU

Critério ('distancia' ou 'tempo'): distancia

Distâncias mínimas a partir de GRU:

DEL: 21195
PVG: 20397
ORD: 13729
CGK: inf
KHI: inf
LOS: inf
GRU: 0
DAC: inf
SVO: inf
MEX: 12017
HND: 11898
ADD: 6165
MNL: inf
CAI: inf
FIH: inf
SGN: inf
THR: inf
IST: 6557
FRA: 6085
BKK: 33104
LHR: 17854
DAR: inf
CDG: 18588
JNB: 34522
FCO: 18365
NBO: inf
RGN: inf
BOG: 13220
ICN: 32962
KRT: inf
EBB: inf
MAD: 26774



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira

Teoria dos Grafos



```
NBO: inf
RGN: inf
BOG: 13220
ICN: 32962
KRT: inf
EBB: inf
MAD: 26774
ALG: inf
BGW: inf
AEP: inf
KBL: inf
SAH: inf
YYZ: 13308
WAW: inf
CMN: inf
LAD: inf
KBP: inf
TAS: inf
KUL: inf
MPM: inf
ACC: inf
LTM: 24969
JED: inf
TNR: inf
ABJ: inf
KTM: inf
DLA: inf
CCS: inf
NIM: inf
SYD: 27676
FNJ: inf
DAM: inf
BKO: inf
OUA: inf
TPE: inf
Predecessores:
DEL: ORD
PVG: YYZ
ORD: ADD
MEX: FRA
HND: FRA
ADD: GRU
IST: GRU
FRA: GRU
BKK: MAD
LHR: HND
CDG: BOG
JNB: SYD
FCO: MEX
BOG: IST
ICN: MAD
MAD: PVG
YYZ: ADD
LTM: CDG
SYD: DEL
```



Opção 13

Projeto 1 - Teoria dos Grafos - Rede internacional de voos

- 1- Ler dados do arquivo grafo.txt
- 2- Gravar dados no arquivo grafo.txt
- 3- Inserir vértice
- 4- Inserir aresta
- 5- Remover vértice
- 6- Remover aresta
- 7- Mostrar conteúdo do arquivo
- 8- Mostrar grafo
- 9- Conexidade e grafo reduzido
- 10- Dijkstra (menor caminho)
- 11- Floyd-Warshall (todos os caminhos mínimos)
- 12- Bellman-Ford (menor caminho e detecção de ciclos negativos)
- 13- Colorir vértices
- 14- Maior componente fortemente conexa
- 15- Detectar ciclo Hamiltoniano
- 16- Encerrar aplicação

Digite a opção desejada: 13

Coloração (vértice: cor):

DEL: 0
PVG: 0
ORD: 1
CGK: 0
KHI: 0
LOS: 0
GRU: 0
DAC: 0
SVO: 1
MEX: 0
HND: 0
ADD: 2
MNL: 0
CAI: 1
FIH: 0
SGN: 0
THR: 0
IST: 1
FRA: 1
BKK: 0
LHR: 1
DAR: 0
CDG: 1
JNB: 2
FCO: 1
NBO: 0
RGN: 1
BOG: 0
ICN: 2
KRT: 0
EBB: 2
MAD: 1
ALG: 0
BGW: 2



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira

Teoria dos Grafos



LOS: 0
GRU: 0
DAC: 0
SVO: 1
MEX: 0
HND: 0
ADD: 2
MNL: 0
CAI: 1
FIH: 0
SGN: 0
THR: 0
IST: 1
FRA: 1
BKK: 0
LHR: 1
DAR: 0
CDG: 1
JNB: 2
FCO: 1
NBO: 0
RGN: 1
BOG: 0
ICN: 2
KRT: 0
EBB: 2
MAD: 1
ALG: 0
BGW: 2
AEP: 1
KBL: 2
SAH: 0
YYZ: 3
WAW: 0
CMN: 2
LAD: 2
KBP: 0
TAS: 0
KUL: 3
MPM: 1
ACC: 0
LIM: 0
JED: 4
TNR: 3
ABJ: 0
KTM: 3
DLA: 0
CCS: 2
NIM: 0
SYD: 1
FNI: 0
DAM: 0
BKO: 0
OUA: 0
TPE: 0



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira
Teoria dos Grafos



Opção 14

Projeto 1 - Teoria dos Grafos - Rede internacional de voos

```
1- Ler dados do arquivo grafo.txt
2- Gravar dados no arquivo grafo.txt
3- Inserir vértice
4- Inserir aresta
5- Remover vértice
6- Remover aresta
7- Mostrar conteúdo do arquivo
8- Mostrar grafo
9- Conexidade e grafo reduzido
10- Dijkstra (menor caminho)
11- Floyd-Warshall (todos os caminhos mínimos)
12- Bellman-Ford (menor caminho e detecção de ciclos negativos)
13- Colorir vértices
14- Maior componente fortemente conexa
15- Detectar ciclo Hamiltoniano
16- Encerrar aplicação
Digite a opção desejada: 14
Maior componente fortemente conexa: ['DEL', 'ORD', 'PVG', 'LHR', 'HND', 'FRA', 'GRU', 'ADD', 'YYZ', 'ICN', 'MAD', 'BKK', 'LIM', 'CDG', 'JNB', 'SVD', 'BOG', 'IST', 'MEX', 'FCO']
```

Opção 15

Projeto 1 - Teoria dos Grafos - Rede internacional de voos

```
1- Ler dados do arquivo grafo.txt
2- Gravar dados no arquivo grafo.txt
3- Inserir vértice
4- Inserir aresta
5- Remover vértice
6- Remover aresta
7- Mostrar conteúdo do arquivo
8- Mostrar grafo
9- Conexidade e grafo reduzido
10- Dijkstra (menor caminho)
11- Floyd-Warshall (todos os caminhos mínimos)
12- Bellman-Ford (menor caminho e detecção de ciclos negativos)
13- Colorir vértices
14- Maior componente fortemente conexa
15- Detectar ciclo Hamiltoniano
16- Encerrar aplicação
Digite a opção desejada: 15
Nenhum ciclo Hamiltoniano encontrado.
```

Opção 16

Projeto 1 - Teoria dos Grafos - Rede internacional de voos a longas distancias

```
1-Ler dados do arquivo grafo.txt
2-Gravar dados no arquivo grafo.txt
3-Inserir vértice
4-Inserir aresta
5-Remove vértice
6-Remove aresta
7-Mostrar conteúdo do arquivo
8-Mostrar grafo
9-Apresentar a conexidade do grafo e o reduzido
10-Encerrar a aplicação
```

Digite a opção desejada:

10

Finalizando...

PS C:\Users\netos\Projeto Grafos\ProjetoGrafos> █



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira
Teoria dos Grafos



- **Apêndice**

<https://github.com/joaquimrafael/ProjetoGrafos>

<https://youtu.be/C1IfJHVcpU?si=AB52JUHarrgxIFer>

Referências

POPULATIONPYRAMID.NET. População – 2020. Disponível em:
<https://www.populationpyramid.net/pt/popula%C3%A7%C3%A3o/2020/>. Acesso em: 14 mar. 2025.

WORLD AIRPORT CODES. s.d. Disponível em: <https://www.world-airport-codes.com/>. Acesso em: 14 mar. 2025.

WIKIPEDIA. Lista de aeroportos internacionais. Disponível em:
https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_aeroportos_internacionais. Acesso em: 14 mar. 2025.

FLIGHT CONNECTIONS. s.d. Disponível em: <https://www.flightconnections.com/>. Acesso em: 20 mar. 2025.

CAPA – Centre for Aviation. CAPA - Centre for Aviation. Disponível em:
<https://centreforaviation.com/>. Acesso em: 3 abr. 2025.

Compare the Market. *Compare the Market | Just make it simple*. Disponível em:
<https://www.comparethemarket.com/>. Acesso em: 30 mar. 2025.

AviationPros. *Home*. Disponível em: <https://www.aviationpros.com/>. Acesso em: 1 abr. 2025.

John Adrian Bondy, U.S. Rama Murty, Graph Theory, Springer, 2007.