

Danilo Souza - 10080000801  
Hugo Leonardo - 10080000701  
Welton Araújo - 10080000501

## *Controle de Tráfego Aéreo*

Belém

2013

Danilo Souza - 10080000801  
Hugo Leonardo - 10080000701  
Welton Araújo - 10080000501

## *Controle de Tráfego Aéreo*

Trabalho de Conclusão de disciplina referente  
à disciplina de Banco de Dados do 6º semestre  
do Curso de Engenharia de Computação.

Professora: Fabíola Araújo

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

Belém

2013

## *Lista de Figuras*

1	Modelo Entidade Relacionamento - Controle de Vôos . . . . .	p. 9
2	Modelo Relaciona - Controle de Vôos . . . . .	p. 10
3	Dicionário de Dados - Tabela Aeronaves . . . . .	p. 12
4	Dicionário de Dados - Tabela Aeroportos . . . . .	p. 12
5	Dicionário de Dados - Tabela CiaAerea . . . . .	p. 12
6	Dicionário de Dados - Tabela Controlador . . . . .	p. 13
7	Dicionário de Dados - Tabela Escala . . . . .	p. 13
8	Dicionário de Dados - Tabela ModeloAeronaves . . . . .	p. 13
9	Dicionário de Dados - Tabela Piloto . . . . .	p. 14
10	Dicionário de Dados - Tabela Pistas . . . . .	p. 14
11	Dicionário de Dados - Tabela PlanoVoo . . . . .	p. 15
12	Dicionário de Dados - Tabela PlanoVoo_has_Escalas . . . . .	p. 15
13	Dicionário de Dados - Tabela TipoPlanoVoo . . . . .	p. 15
14	Dicionário de Dados - Tabela Voo . . . . .	p. 16
15	Dicionário de Dados - Tabela Voo_has_Controlador . . . . .	p. 16

# *Lista de Tabelas*

1	Descrição do Mapeamento MER - MR . . . . .	p. 11
---	--------------------------------------------	-------

# *Sumário*

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	p. 5
<b>2</b>	<b>Mini-Mundo e Regras de Negócio</b>	p. 6
2.1	Descrição do Mini-Mundo . . . . .	p. 6
2.2	Descrição das Regras de Negócio . . . . .	p. 7
<b>3</b>	<b>Modelo Entidade Relacionamento (MER)</b>	p. 9
3.1	O Modelo . . . . .	p. 9
<b>4</b>	<b>Modelo Relacional</b>	p. 10
4.1	O Modelo . . . . .	p. 10
4.2	Descrição do Mapeamento . . . . .	p. 11
4.3	Dicionário de Dados . . . . .	p. 11
<b>5</b>	<b>Normalização</b>	p. 17
<b>6</b>	<b>Considerações Finais e Trabalhos Futuros</b>	p. 18

# *1 Introdução*

O aumento do fluxo de passageiros aéreos por ano é inegável. Com o barateamento das tecnologias, os preços das passagens estão ficando cada vez mais acessíveis. A maior acessibilidade faz aumentar o tráfego aéreo gerando uma demanda por sistemas cada vez mais complexos, capazes de gerenciar uma grande quantidade de vôos indo para vários lugares ao redor do mundo sem deixar de priorizar a segurança que estes sistemas devem oferecer. Uma vez que um erro ocorra, pode ser fatal e é necessário automatizar ao máximo o controle de tráfego para minimizar os erros humanos.

Este sistema oferece uma visão simplificada de um sistema de controle de vôos, notadamente estes sistemas são muito mais complexos na prática, mas, para efeito de demonstração, apenas os principais aspectos foram destacados neste projeto.

## *2 Mini-Mundo e Regras de Negócio*

### **2.1 Descrição do Mini-Mundo**

O processo começa quando um piloto elabora um Plano de Vôo que contém informações a cerca de um determinado vôo (tipo completo ou simples) ou de vários vôos (tipo retificado). Este plano deve ser apresentado para aprovação podendo ser ou não alterado por um controlador de vôo, caso um plano seja alterado esta informação será gravada para possíveis análises estatísticas no futuro. O plano contém ainda informações sobre a aeronave que realizará o vôo e as escalas que este irá fazer. Uma mesma escala acontece em vários aeroportos e todos os vôos possuem pelo menos uma escala, ou seja, os vôos diretos possuem uma única escala, os vôos com uma parada possuem duas escalas e assim sucessivamente. Cada plano de vôo é único para cada vôo, exceto do tipo retificado, usado em casos de vôos regulares. Esse tipo de plano pode ter validade de até 7 e sua duração é indicada pelo atributo “diasOperacao” da tabela “PlanoVoo”. Uma vez aprovado, o processo vai para a etapa de vôo.

Sobre o vôo propriamente dito é necessário saber se sua data e hora de partida estão de acordo com o que está estipulado no plano de vôo e também se a aeronave está operando em sua velocidade máxima. Cada vôo possui um número único, provido pelo órgão regulador, porém vôos com o mesmo número acontecem várias vezes, e podem possuir o mesmo plano de vôo. Para que a informação seja guardada para cada decolagem em específico é utilizado um outro identificador chamado de “idVoo”, sendo este o identificador chave de todos os vôos realizados. Cada vôo pode ser controlado por um ou mais controladores e estes podem controlar um ou mais vôos simultaneamente.

Um piloto trabalha para uma Companhia Aérea, que por sua vez possui aeronaves que são utilizadas para os vôos e registradas para cada vôo no plano de vôo. Cada aeronave só pode possuir um comandante, sendo este o responsável pelo plano de vôo e cada aeronave

possui um número de série, seu identificador, uma matrícula, provida pelo órgão regulador e um modelo que refere às suas características técnicas.

## 2.2 Descrição das Regras de Negócio

1. Um controlador é responsável por controlar um ou mais vôos, sendo que cada vôo pode ser controlado por um ou mais controladores. O controlador é também responsável por autorizar um plano de vôo. Sobre o controlador é necessário saber as seguintes informações: matrícula, endereço, nome, telefone, e-mail e ano de admissão.
2. O plano de vôo é apresentado pelo piloto (comandante) responsável pelo vôo, cada plano é identificado por um número e só pode ter um piloto responsável. Sobre plano é importante saber também os aeroportos de origem/destino, a data e a hora previstas de saída/chegada, se o plano foi ou não aprovado, a prioridade, a aeronave que será utilizada, a altitude de cruzeiro prevista para o vôo, as escalas que o vôo irá realizar, o tipo do plano e o prazo de validade daquele plano (para casos em que o plano de vôo é do tipo repetitivo).
3. O sistema possui também um cadastro com todas as companhias aéreas que operam no espaço aéreo, bem como dos pilotos e das aeronaves à serviço destas companhias. Sobre os pilotos as informações armazenadas são: código ANAC, endereço, nome, telefone, e-mail, quantidade de horas e de milhas que o piloto já voou.
4. Cada aeronave da companhia possui uma matrícula fornecida pelo órgão regulador (INFRAERO) e são identificadas pelo seu número de série. Cada aeronave possui um modelo, e cada modelo tem características específicas: descrição do modelo, peso, número máximo de passageiros, peso máximo, e velocidade de cruzeiro em Km, nós e Mach's (unidade que mede a velocidade em comparação com a velocidade do som).
5. Sobre as escalas é necessário saber apenas os aeroportos de origem e destino, cada plano pode realizar várias escalas, do mesmo jeito que uma escala é utilizada por diferentes planos de vôo.
6. Sobre os aeroportos são armazenadas as seguintes informações: código ICAO (identificador internacional de aeroportos), cidade onde o aeroporto está localizado, capacidade de passageiros por ano, número de plataformas para embarque/desembarque



e número de pistas, sendo necessário também armazenar a extensão de cada pista dos aeroportos.

Figura 1: Modelo Entidade Relacionamento - Controle de Vãos

## 4 Modelo Relacional

### 4.1 O Modelo

A Figura 2 mostra o modelo relacional para o projeto proposto.

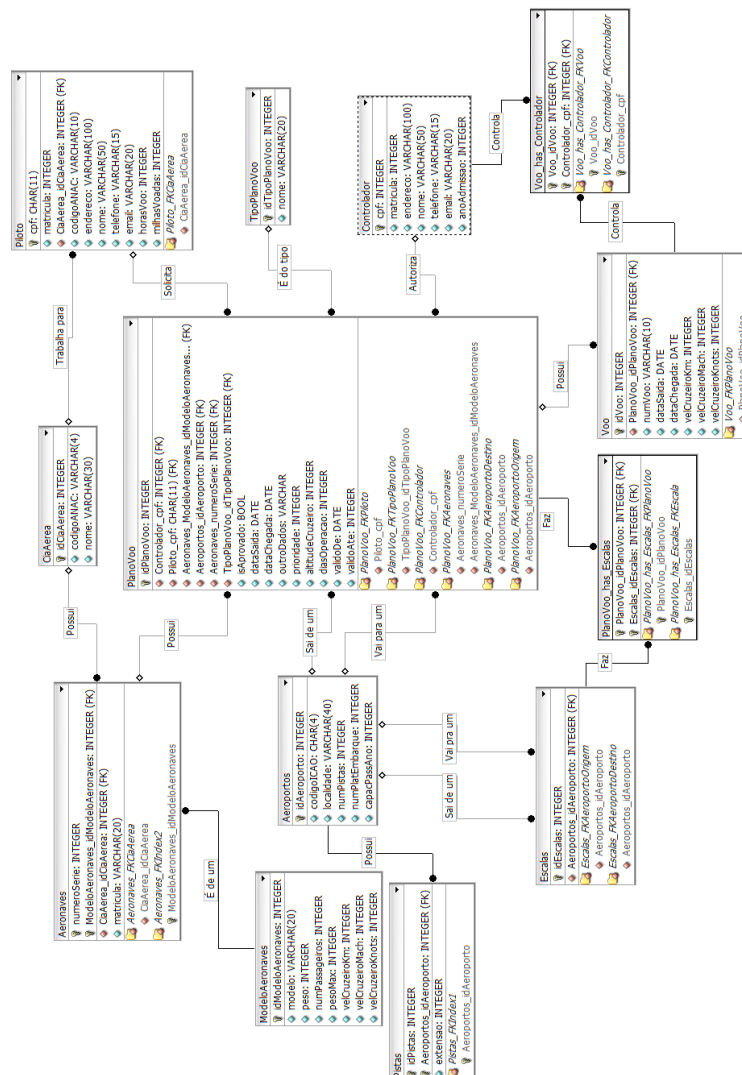


Figura 2: Modelo Relacional - Controle de Vôos

## 4.2 Descrição do Mapeamento

A Tabela 1 apresenta a descrição sobre as regras de mapeamentos aplicadas à cada entidade do Modelo Entidade Relacionamento (MER).

Tabela 1: Descrição do Mapeamento MER - MR

<b>Tabelas</b>	<b>Entidade(s) Originária(s)</b>	<b>Descrição do mapeamento</b>
CiaAerea	CiaAerea	Entidade Forte
Aeronaves	Aeronaves	Entidade Forte
Modelo Aeronaves	Aeronaves	Foi criada a partir da aplicação de uma regra de normalização que será explicada com mais detalhes na seção 5
Pilotos	Pilotos	Entidade Forte
Controladores	Controlador	Entidade Forte
Voo	Voo	Entidade Forte
Voo_has_Controlador	Controladores e Voo	Relacionamento N:N entre Voo e Controlador
Aeroportos	Aeroportos	Entidade Forte
Pistas	Pistas	Foi criada por ser um atributo multivalorado da tabela “Aeroportos”
Escalas	Escalas	Entidade Forte
PlanoVoo	PlanoVoo	Entidade Forte
TipoPlanoVoo	TipoPlanoVoo	Entidade Forte
PlanoVoo_has_Escalas	Escalas e Plano Voo	Relacionamento N:N entre PlanoVoo e Escalas

## 4.3 Dicionário de Dados

As Figuras 3 a 15 abaixo mostram o dicionário de dados de cada tabela do modelo relacional.

Aeronaves							
ColumnName	DataType	PrimaryKey	NotNull	Flags	Default Value	Comment	AutoInc
numeroSerie	INTEGER	PK	NN	UNSIGNED		Identificador da aeronave provido pela fabricante	
ModeloAeronaves_idModeloAeronaves	INTEGER	PK	NN	UNSIGNED		Identificador do modelo de cada aeronave	
CiaAerea_idCiaAerea	INTEGER		NN	UNSIGNED		Identificador da Cia Aérea detentora da aeronave	
matricula	VARCHAR(20)		NN			Número provido pelo órgão regulador(INFRAERO)	
IndexName	IndexType		Columns				
PRIMARY	PRIMARY		numeroSerie ModeloAeronaves_idModeloAeronaves				
Aeronaves_FKCiaAerea	Index		CiaAerea_idCiaAerea				
Aeronaves_FKIndex2	Index		ModeloAeronaves_idModeloAeronaves				

Figura 3: Dicionário de Dados - Tabela Aeronaves

Aeroportos							
ColumnName	DataType	PrimaryKey	NotNull	Flags	Default Value	Comment	AutoInc
idAeroporto	INTEGER	PK	NN	UNSIGNED		Identificador único do aeroporto	AI
codigoICAO	CHAR(4)		NN			Identificador internacional de aeroportos	
localidade	VARCHAR(40)		NN			Cidade em que o aeroporto está localizado	
numPistas	INTEGER			UNSIGNED		Número de pistas disponíveis no aeroporto	
numPlatEmbarque	INTEGER			UNSIGNED		Número de plataformas de embarque/desembarque no aeroporto	
capacPassAno	INTEGER			UNSIGNED		Capacidade do aeroporto em número de passageiros por ano	
IndexName	IndexType		Columns				
PRIMARY	PRIMARY		idAeroporto				

Figura 4: Dicionário de Dados - Tabela Aeroportos

CiaAerea							
ColumnName	DataType	PrimaryKey	NotNull	Flags	Default Value	Comment	AutoInc
idCiaAerea	INTEGER	PK	NN	UNSIGNED		Identificador da Cia Aérea	AI
codigoANAC	VARCHAR(4)		NN			Código da Cia Aérea provido pelo órgão regulador(ANAC)	
nome	VARCHAR(30)		NN			Nome da Cia Aérea	
IndexName	IndexType		Columns				
PRIMARY	PRIMARY		idCiaAerea				

Figura 5: Dicionário de Dados - Tabela CiaAerea

Controlador							
ColumnName	DataType	PrimaryKey	NotNull	Flags	Default Value	Comment	AutoInc
cpf	INTEGER	PK	NN	UNSIGNED		CPF do piloto	
matricula	INTEGER			UNSIGNED		Matrícula do controlador na empresa (INFRAERO)	
endereco	VARCHAR(100)		NN			Endereço do controlador	
nome	VARCHAR(50)					Nome do controlador	
telefone	VARCHAR(15)					Telefone para contato do controlador	
email	VARCHAR(20)					E-mail para contato do controlador	
anoAdmissao	INTEGER		NN	UNSIGNED		Ano em que o controlador foi contratado	
IndexName	IndexType		Columns				
PRIMARY	PRIMARY		cpf				

Figura 6: Dicionário de Dados - Tabela Controlador

Escala							
ColumnName	DataType	PrimaryKey	NotNull	Flags	Default Value	Comment	AutoInc
idEscala	INTEGER	PK	NN	UNSIGNED		Identificador de cada escala	AI
Aeroportos_idAeroporto	INTEGER		NN	UNSIGNED		Identificador dos aeroportos e origem/destino de cada escala	
IndexName	IndexType		Columns				
PRIMARY	PRIMARY		idEscala				
Escala_FK_AeroportoOrigem	Index		Aeroportos_idAeroporto				
Escala_FK_AeroportoDestino	Index		Aeroportos_idAeroporto				

Figura 7: Dicionário de Dados - Tabela Escala

ModeloAeronaves							
ColumnName	DataType	PrimaryKey	NotNull	Flags	Default Value	Comment	AutoInc
idModeloAeronaves	INTEGER	PK	NN	UNSIGNED		Identificador do modelo da aeronave	AI
modelo	VARCHAR(20)					Nome do modelo da aeronave	
peso	INTEGER			UNSIGNED		Peso da aeronave	
numPassageiros	INTEGER			UNSIGNED		Número máximo de passageiros da aeronave	
pesoMax	INTEGER			UNSIGNED		Peso máximo para decolagem da aeronave	
velCruzeiroKm	INTEGER			UNSIGNED		Velocidade de cruzeiro da aeronave em Km/h	
velCruzeiroMach	INTEGER			UNSIGNED		Velocidade de cruzeiro da aeronave em machs	
velCruzeiroKnots	INTEGER			UNSIGNED		Velocidade de cruzeiro da aeronave em nós	
IndexName	IndexType		Columns				
PRIMARY	PRIMARY		idModeloAeronaves				

Figura 8: Dicionário de Dados - Tabela ModeloAeronaves

Piloto							
ColumnName	DataType	PrimaryKey	NotNull	Flags	Default Value	Comment	AutoInc
cpf	CHAR(11)	PK	NN			CPF do piloto	
matricula	INTEGER		NN	UNSIGNED		Número de matrícula do piloto na Cia Aérea	
CiaAerea_idCiaAerea	INTEGER		NN	UNSIGNED		Código da Cia Aérea em que o piloto trabalha	
codigoANAC	VARCHAR(10)		NN			Código do piloto fornecido pelo órgão regulador	
endereco	VARCHAR(100)					Endereço do piloto	
nome	VARCHAR(50)					Nome do piloto	
telefone	VARCHAR(15)					Telefone para contato do piloto	
email	VARCHAR(20)					E-mail de contato do piloto	
horasVoo	INTEGER		NN	UNSIGNED		Total de horas voadas pelo piloto	
milhasVoadas	INTEGER			UNSIGNED		Total de milhas voadas pelo piloto	
IndexName	IndexType		Columns				
PRIMARY	PRIMARY		cpf				
Piloto_FK_CiaAerea	Index		CiaAerea_idCiaAerea				

Figura 9: Dicionário de Dados - Tabela Piloto

Pistas							
ColumnName	DataType	PrimaryKey	NotNull	Flags	Default Value	Comment	AutoInc
idPistas	INTEGER	PK	NN	UNSIGNED		Identificador de cada pista	AI
Aeroportos_idAeroporto	INTEGER	PK	NN	UNSIGNED		Identificador do aeroporto a qual cada pista pertence	
extensao	INTEGER		NN	UNSIGNED		Comprimento de cada pista	
IndexName	IndexType		Columns				
PRIMARY	PRIMARY		idPistas Aeroportos_idAeroporto				
Pistas_FK_Index1	Index		Aeroportos_idAeroporto				

Figura 10: Dicionário de Dados - Tabela Pistas

PlanoVoo							
ColumnName	DataType	PrimaryKey	NotNull	Flags	Default Value	Comment	AutoInc
idPlanoVoo	INTEGER	PK	NN	UNSIGNED		Identificador de cada plano de voo	AI
Controlador_cpf	INTEGER		NN	UNSIGNED			
Piloto_cpf	CHAR(11)		NN				
Aeronaves_ModeloAeronaves_idModeloAeronaves	INTEGER		NN	UNSIGNED			
Aeroportos_idAeroporto	INTEGER		NN	UNSIGNED		Identificador dos aeroportos de origem/destino do voo	
Aeronaves_numeroSerie	INTEGER		NN	UNSIGNED		Identificador da aeronave que irá realizar o voo	
TipoPlanoVoo_idTipoPlanoVoo	INTEGER		NN	UNSIGNED		Identificador do tipo de plano de voo	
isAprovado	BOOL		NN			Indica se o plano foi aprovado ou não	
dataSaida	DATE		NN			Data e hora previstas para decolagem do voo	
dataChegada	DATE		NN			Data e hora previstas para aterrisagem do voo	
outroDados	VARCHAR					Informações adicionais	
prioridade	INTEGER		NN	UNSIGNED		Prioridade do voo	
altitudeCruzeiro	INTEGER			UNSIGNED		Altitude de cruzeiro prevista para o voo	
diasOperacao	INTEGER			UNSIGNED		Quantidade de dias em que o plano estará em operação (somente para plano do tipo repetitivo)	
validoDe	DATE					Data inicial do plano (somente para planos do tipo repetitivo)	
validoAté	INTEGER			UNSIGNED		Data final do plano (somente para planos do tipo repetitivo)	
IndexName	IndexType		Columns				
PRIMARY	PRIMARY		idPlanoVoo				
PlanoVoo_FKPiloto	Index		Piloto_cpf				
PlanoVoo_FKTipoPlanoVoo	Index		TipoPlanoVoo_idTipoPlanoVoo				
PlanoVoo_FKControlador	Index		Controlador_cpf				
PlanoVoo_FKAeronaves	Index		Aeronaves_numeroSerie Aeronaves_ModeloAeronaves_idModeloAeronaves				
PlanoVoo_FKAeroportoDestino	Index		Aeroportos_idAeroporto				
PlanoVoo_FKAeroportoOrigem	Index		Aeroportos_idAeroporto				

Figura 11: Dicionário de Dados - Tabela PlanoVoo

PlanoVoo_has_Escalas							
ColumnName	DataType	PrimaryKey	NotNull	Flags	Default Value	Comment	AutoInc
PlanoVoo_idPlanoVoo	INTEGER	PK	NN	UNSIGNED		Identificador de cada voo que faz escala	
Escalas_idEscalas	INTEGER	PK	NN	UNSIGNED		Identificador de cada escala por onde passam voos	
IndexName	IndexType		Columns				
PRIMARY	PRIMARY		PlanoVoo_idPlanoVoo Escalas_idEscalas				
PlanoVoo_has_Escalas_FKPlanoVoo	Index		PlanoVoo_idPlanoVoo				
PlanoVoo_has_Escalas_FKEscala	Index		Escalas_idEscalas				

Figura 12: Dicionário de Dados - Tabela PlanoVoo\_has\_Escalas

TipoPlanoVoo							
ColumnName	DataType	PrimaryKey	NotNull	Flags	Default Value	Comment	AutoInc
idTipoPlanoVoo	INTEGER	PK	NN	UNSIGNED		Identificação única de cada tipo de plano de voo	AI
nome	VARCHAR(20)		NN			Nome do tipo de plano de voo	
IndexName	IndexType		Columns				
PRIMARY	PRIMARY		idTipoPlanoVoo				

Figura 13: Dicionário de Dados - Tabela TipoPlanoVoo



Voo							
ColumnName	DataType	PrimaryKey	NotNull	Flags	Default Value	Comment	AutoInc
idVoo	INTEGER	PK	NN	UNSIGNED		Identificador único para cada voo levantado	AI
PlanoVoo_idPlanoVoo	INTEGER		NN	UNSIGNED		Identificador do plano de voo correspondente ao voo	
numVoo	VARCHAR(10)		NN			Número do voo provido pela Cia Aérea	
dataSaida	DATE		NN			Data e hora de saída do voo	
dataChegada	DATE		NN			Data e hora de chegada do voo	
velCruzeiroKm	INTEGER			UNSIGNED		Velocidade de cruzeiro do voo em Km/h	
velCruzeiroMach	INTEGER			UNSIGNED		Velocidade de cruzeiro do voo em machs	
velCruzeiroKnots	INTEGER			UNSIGNED		Velocidade de cruzeiro do voo em nós	
IndexName	IndexType		Columns				
PRIMARY	PRIMARY		idVoo				
Voo_FKPlanoVoo	Index		PlanoVoo_idPlanoVoo				

Figura 14: Dicionário de Dados - Tabela Voo

Voo_has_Controlador							
ColumnName	DataType	PrimaryKey	NotNull	Flags	Default Value	Comment	AutoInc
Voo_idVoo	INTEGER	PK	NN	UNSIGNED		Identificador de cada voo controlado	
Controlador_cpf	INTEGER	PK	NN	UNSIGNED			
IndexName	IndexType		Columns				
PRIMARY	PRIMARY		Voo_idVoo Controlador_cpf				
Voo_has_Controlador_FKVoo	Index		Voo_idVoo				
Voo_has_Controlador_FKControlador	Index		Controlador_cpf				

Figura 15: Dicionário de Dados - Tabela Voo\_has\_Controlador

## 5 *Normalização*

Todas as tabelas, com exceção da tabela “Aeronaves” já se encontram na 3ª Forma Normal porque nenhum atributo possui dependência transitiva e todas as tabelas estão na 2ª porque todos os atributos secundários de todas as tabelas dependem totalmente de suas respectivas chaves primárias, logo todas as tabelas já estão também na 1ª Forma Normal.

Apenas a tabela “Aeronaves” precisou ser normalizada, pois foi verificado que todos os seus atributos, com exceção do atributo “matricula” dependiam exclusivamente do modelo da aeronave, visto que eram especificações técnicas que variam de acordo com o modelo, portanto, foi criada uma tabela chamada “ModeloAeronaves” que armazena tais especificações técnicas e sua chave primária foi adicionada como chave estrangeira junto à chave primária da tabela “Aeronaves”

## *6 Considerações Finais e Trabalhos Futuros*

Esta proposta de projeto foi fundamental para um melhor entendimento sobre o controle de tráfego aéreo e o porquê tais sistemas devem ser muito bem projetados antes de entrarem em operação, qualquer erro pode resultar em graves consequências. Embora o projeto não entre em detalhes sobre aspectos importante que devem ser levados em consideração, como por exemplo, as mudanças de rotas e de altitude de um voo, os radares que estão controlando determinado voo enquanto ele está no ar, esse fatores iriam deixar o projeto mais complexo e mais extenso, porém são imprescindíveis para uma melhor gerência do sistema, uma vez que aumentam o controle ajudando assim a prevenir cada vez mais erros humanos.

A proposta apresentada neste trabalho é a base no que tange controle de tráfego aéreo, abordando desde o controle de aeronaves até as escalas realizadas por cada voo, cobrindo assim o processo básico de decolagem e pouso de uma aeronave dentro do espaço aéreo brasileiro.

Para exemplificar esses fatores temos 3 entidades que foram retiradas do projeto devido à complexidade, Rotas (usada para guardar as rotas do espaço aéreo usadas pelas aeronaves), Altitude (é necessário guardar valores de altitude, pois as aeronaves alternam sua altitude mais de uma vez durante um voo), e Fixos (lugares pré-estabelecidos para mudanças de altitude). Com mais essas entidades seria possível determinar todas as altitudes em que uma aeronave esteve durante um voo, em que locais ocorreram as trocas de altitudes e quais rotas foram utilizadas), essas informações poderiam, por exemplo ser usadas para levantamentos estatísticos de congestionamento do espaço aéreo a fim de viabilizar um estudo para otimizar sua utilização.