



# **Curso Superior de Tecnologia em Banco de Dados**

**Disciplina: Projeto de Banco de Dados Distribuídos**

## **Introdução a Banco de Dados Distribuídos**

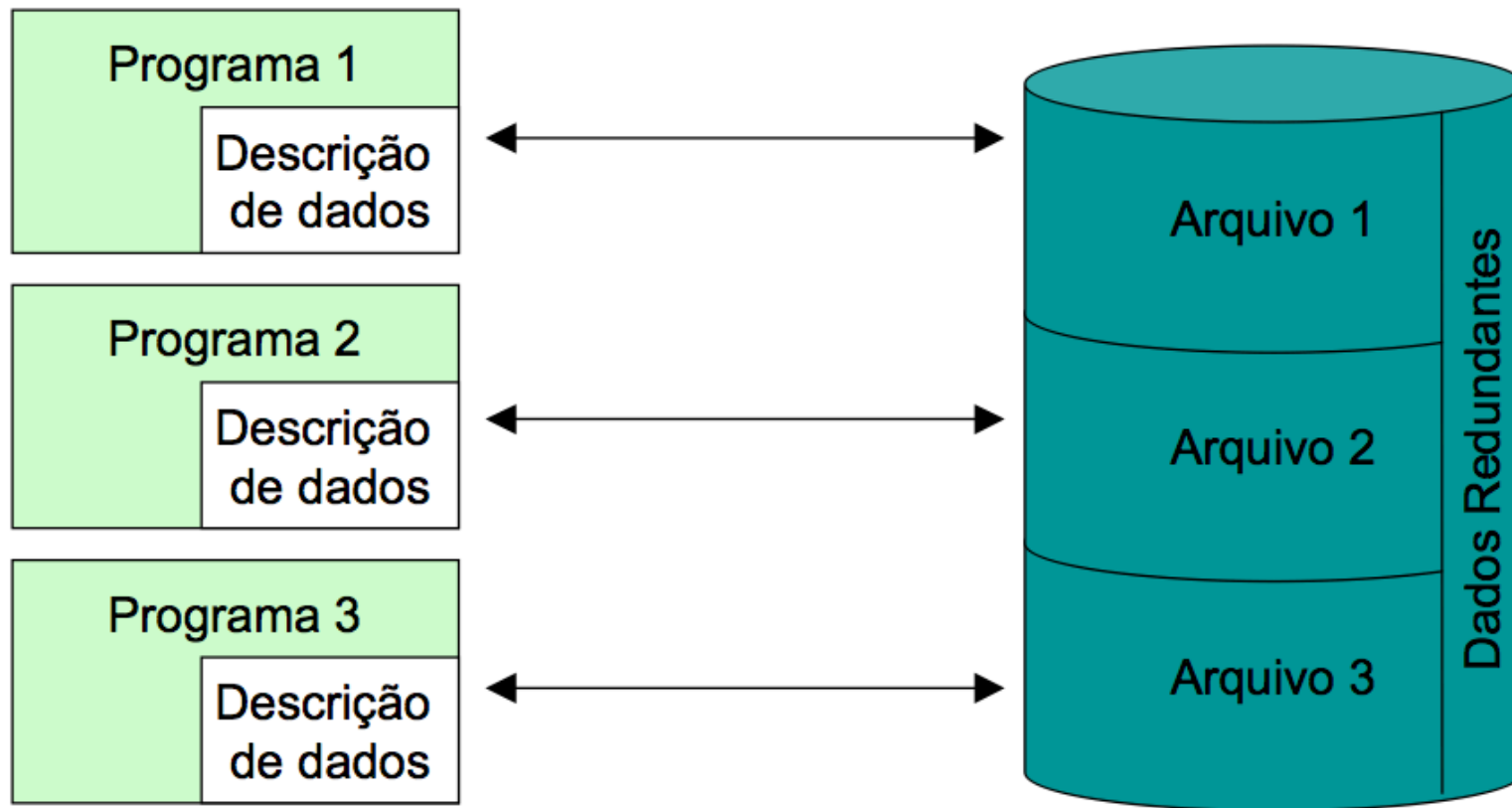
Prof. Diogo Branquinho Ramos

[diogobranquinho@gmail.com](mailto:diogobranquinho@gmail.com)

São José dos Campos - SP

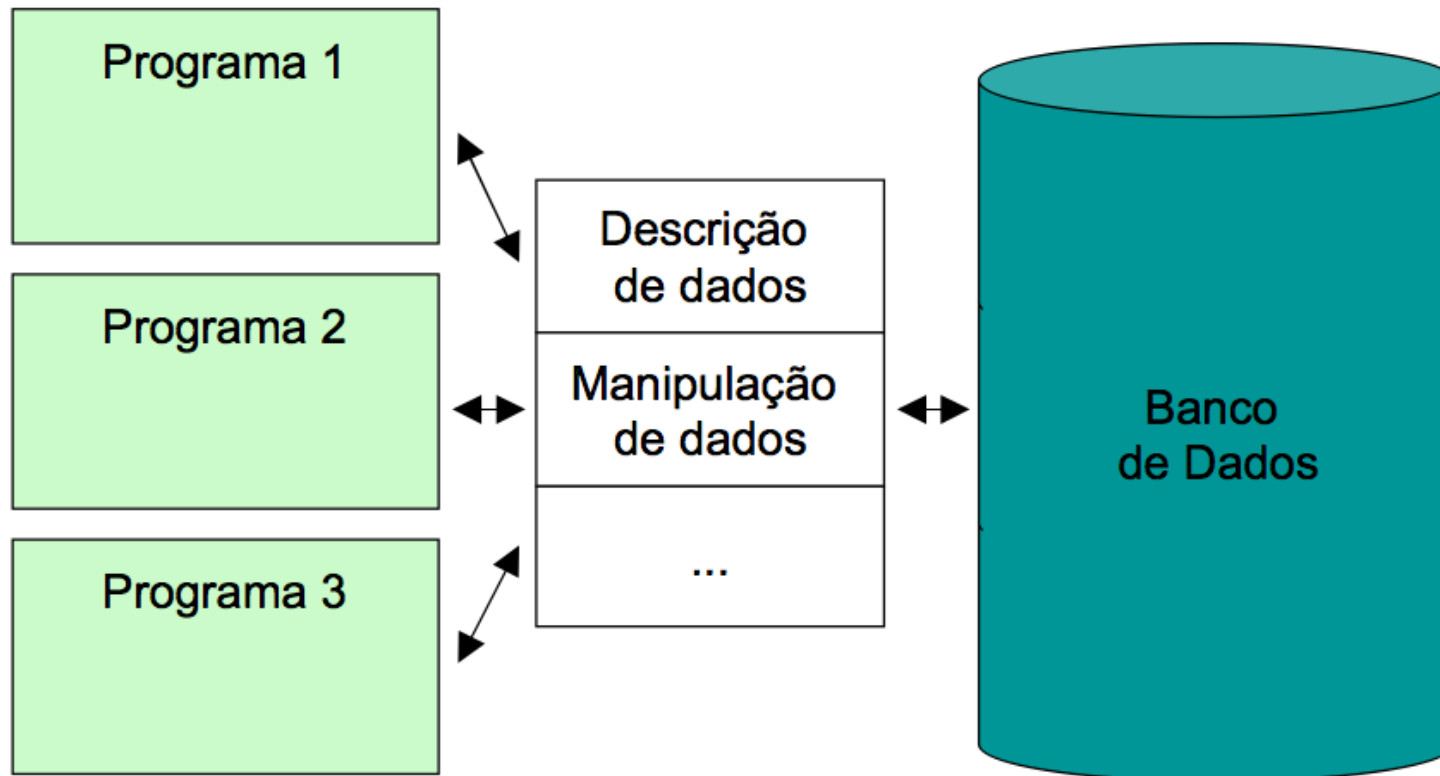
# Histórico dos Sistemas de Bancos de Dados

- Antes: Processamento tradicional de arquivos



# Histórico dos Sistemas de Bancos de Dados

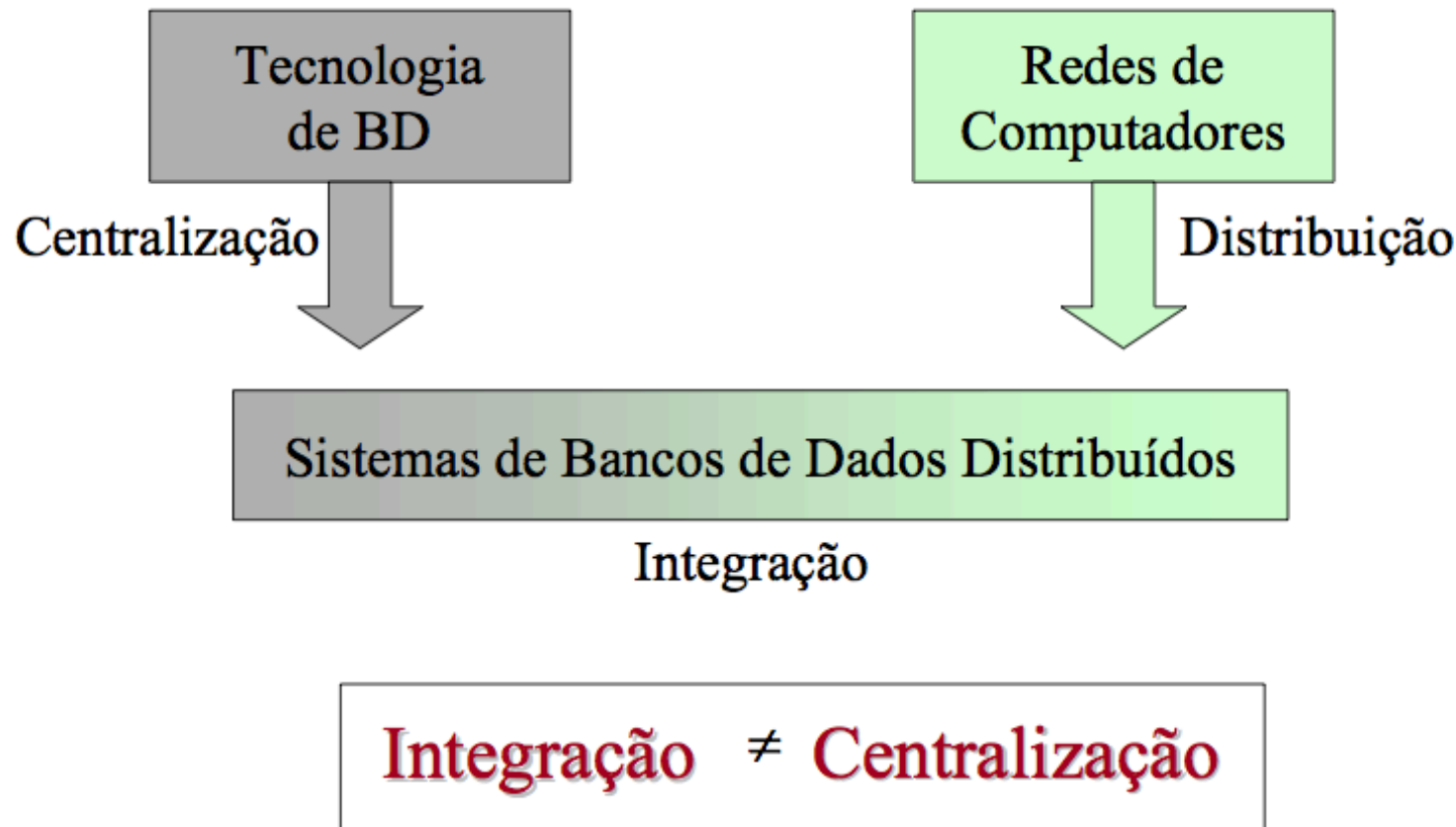
- Processamento de Banco de Dados
  - Independência de dados



# Motivação para os Sistemas de Bancos de Dados Distribuídos

- Evolução dos meios de comunicação (internet e cloud computing)
- Custo do hardware
- Vantagens sobre sistemas centralizados
- Previsões de substituição completa dos SGBDs centralizados
- SGBDS Distribuídos (incluindo os Frees)

# Surgimento dos Sistemas de Bancos de Dados Distribuídos



# Processamento Distribuído

- Conceito em busca de uma definição consensual, amplamente utilizado
  - Computação distribuída
- Um grupo de elementos de processamento
  - autônomos
  - não necessariamente homogêneos
  - interconectados por uma rede de computadores
  - cooperam na realização de tarefas

# O que está sendo distribuído?

- Lógica de processamento
- Funções
- Dados
- Controle

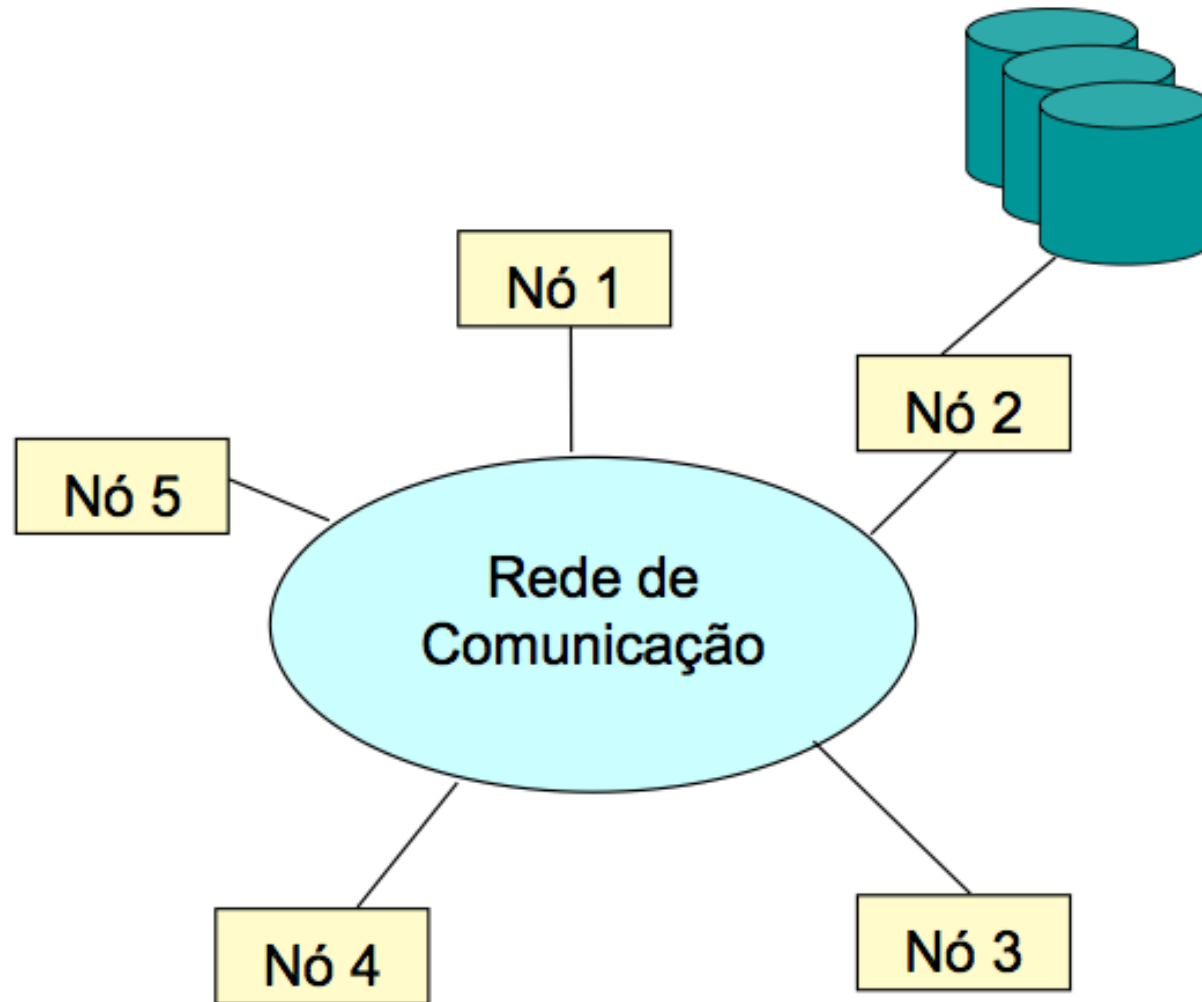
Em um SBDD, todos são necessários e importantes...

# Sistema de Banco de Dados Distribuído

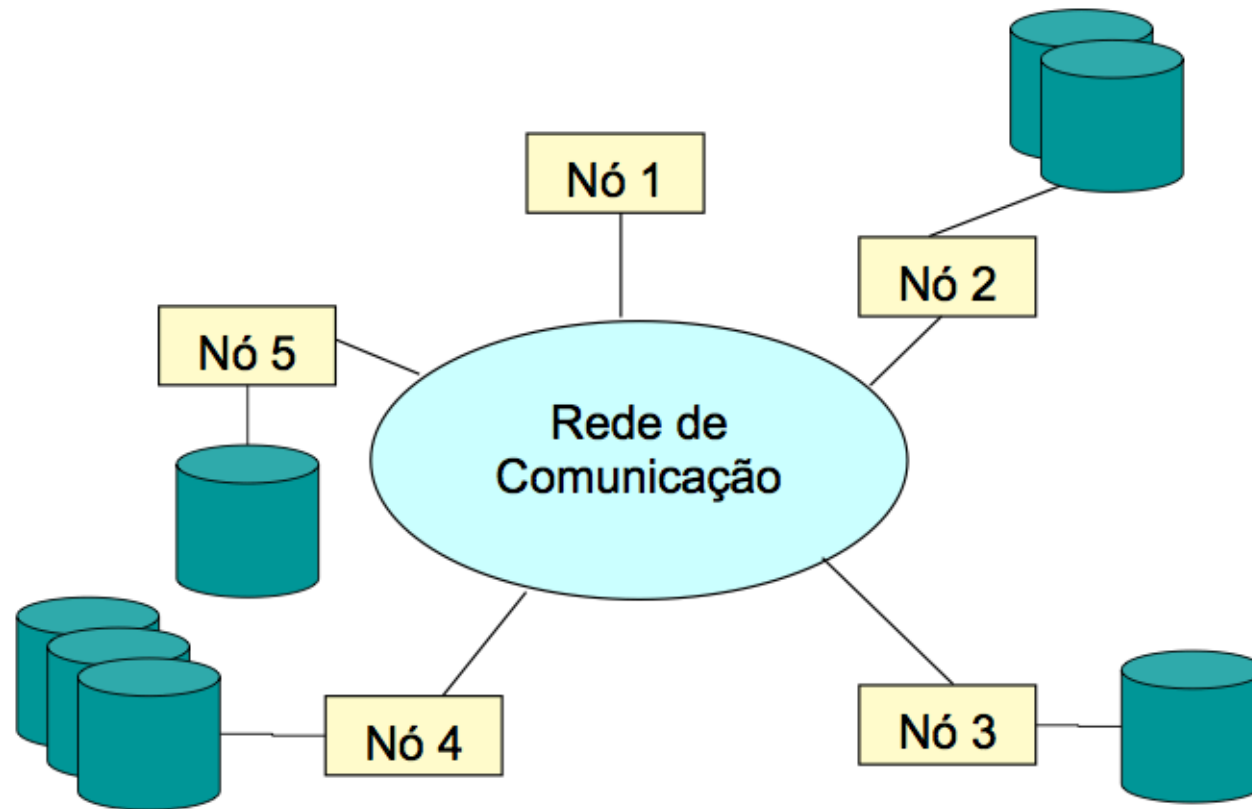
- **Base de Dados Distribuído (BDD)**
  - É uma coleção de diversas bases de dados, interligadas logicamente através de uma rede de computadores
- **Sistema de Gerenciamento de Banco de dados Distribuídos (SGBDD)**
  - É o sistema de software que possibilita a gerência do BDD e lida com aspectos de transparência para o usuário
- **Sistema de Banco de Dados Distribuído (SBDD)**
  - $$SBDD = BDD + SGBDD$$
- **Complexidade**
  - Assegurar coordenação e transparência entre BDs



# SGBD centralizado em uma rede



# Ambiente SGBDD



# Principais características de um SBDD

- Dados armazenados em diversos locais (ou nós)
  - cada nó é logicamente um processador
  - $\neq$  distância geográfica
- Processadores interconectados através de rede
- As transações podem acessar dados em um ou mais nós
- A base de dados distribuída não é uma coleção de arquivos
- O SGBDD possui toda a funcionalidade de um SGBD

# Aplicações de SBDD

- Intuitivas
  - Companhias aéreas
  - Redes de lojas
  - Cadeias de hotéis
  - Controle militar
  - Sistemas de informações gerenciais corporativas
  - Qualquer organização que possua uma estrutura descentralizada
- Nem tão intuitivas assim...
  - Sistemas com grande volume de dados, mesmo que em organizações centralizadas, que demandam por aumento de desempenho

# Vantagens de SBDD

- Transparência na Gerência dos Dados Distribuídos
- Confiabilidade
- Potencial Aumento de Desempenho
- Expansão mais fácil e econômica

# 1. Transparência na Gerência dos Dados Distribuídos

- Transparência é a separação entre a semântica de alto nível de um sistema e seus detalhes de implementação
- A questão fundamental é prover **independência de dados** no ambiente distribuído.

Desta forma, os usuários do banco de dados enxergariam **uma única imagem da base de dados logicamente integrada**, embora ela estivesse fisicamente distribuída.

# Níveis de Transparência

- Transparência da rede
- Transparência da replicação
- Transparência da fragmentação
  - diversas técnicas:
    - horizontal (seleções)
    - vertical (projeções)
    - combinações

## 2. Confiabilidade

- Componentes replicados
- Eliminação de pontos únicos de falha
- Provêem maior disponibilidade e confiabilidade
- Requer suporte para transações distribuídas
  - protocolos distribuídos
    - de controle de concorrência e gerência de deadlocks
    - de confiabilidade
    - de controle de réplicas

Os aplicativos dos usuários não precisariam se preocupar com a **coordenação de seus acessos a bancos de dados locais individuais**, nem teriam que se preocupar com a **possibilidade de falhas em nós ou links de comunicação** durante a transação



# 3. Potencial aumento de desempenho

- Localização dos Dados
  - Compartilhamento de recursos não é tão crítico
  - Reduz o tempo de acesso remoto aos dados
- Requer suporte para fragmentação e replicação
- Paralelismo no Processamento de Consultas
  - Paralelismo entre consultas (Inter-query)
  - Paralelismo dentro da consulta (Intra-query)
  - Paralelismo dentro de operações

# Para tirar proveito do paralelismo

- Ter os dados distribuídos pelos processadores envolvidos no processamento paralelo

## Replicação total?

- E quanto às atualizações ?
  - maior número de réplicas implica em maior tempo de processamento de uma atualização
    - controle de concorrência distribuído
    - protocolos de cometimento (commit)
      - Comentimento em Duas Fases
      - Comentimento em Três Fases

## 4. Expansão Mais Fácil e Econômica

- Crescimento da base de dados é um problema atual de muitas aplicações
- Evolução da tecnologia
  - microprocessadores, workstations, clusters, GRIDs, ...
  - modelo de computação cliente-servidor, múltiplas camadas, desenvolvimento baseado em componentes, cloud...

# Desvantagens de um SBDD

- Custo de desenvolvimento do software
- Implementação de sistemas SBDD é mais complexa do que de SBDs centralizados;
- Maior possibilidade de erros (Ex.: Erro na rede de comunicação);
- Aumento do processamento e *overhead*;
- Troca de mensagens e processamento adicional necessários para a coordenação dos vários sites.

# Tipos de SBDD

- Basicamente, existem dois tipos de sistemas banco de dados distribuídos:
  - Homogêneos são compostos pelos mesmos SGBDs;
  - Heterogêneos são aqueles que são compostos por mais de um tipo de SGBDs

# SBDD Homogêneo

- Todos os nós possuem **software idêntico**
- Estão cientes um do outro e concordam em **cooperar no processamento** de solicitações do usuário
- Cada site entrega parte de sua autonomia em termos de direito de mudar esquemas ou software
- Parece como um **único sistema** para usuário

# BDD Heterogêneo

- São nós **diferentes** e podem usar diferentes **hardware esquemas e software**
- A diferença no esquema é um **grande problema** para o processamento da **consulta**
- A diferença no software é um **grande problema** para o processamento da **transação**
- Os nós podem não estar cientes um do outro e só podem oferecer facilidades limitadas para cooperação no processamento da transação

# Projeto de Distribuição de Bases de Dados

- Particionamento dos dados
  - Fragmentação Horizontal
  - Fragmentação Vertical
  - Combinações válidas
  - Informações não replicadas
    - Controle de concorrência simplificado
    - > desempenho de operações de atualização
- Replicação
  - Total ou Parcial
  - Fragmentos replicados em nós
    - + disponibilidade
    - > desempenho de operações de leitura



# Projeto de Distribuição de Bases de Dados (2)

- Considere o modelo de dados relacional
- Fragmentação
  - A relação é particionada em vários fragmentos armazenados em sites distintos
- Replicação
  - O sistema mantém várias cópias dos dados, armazenadas em diferentes sites, para a recuperação mais rápida e tolerância a falhas.
- Replicação e fragmentação podem ser combinadas
  - A relação é particionada em vários fragmentos: o sistema mantém várias réplicas idênticas de cada um desses fragmentos.

# Exemplo de Fragmentação

- Base de dados centralizada

**Passageiros**

Nome	Telefone
Jose Campos	322-9999
Maria Silva	222-3333
Gabriel Silva	222-3333
Cláudio Silva	222-3333

**Vôos**

Vôo	Tarifa	Ass	Cia
Air France 147	1000,00	250	Air France
Air France 455	750,00	500	Air France
Varig 224	500,00	150	Varig

**Cia\_Aéreas**

Nome	Faturam.	Presid.	Sede
Varig	20000K	Pampa	Porto Alegre
Air France	10000K	Etoile	Paris

**Reservas**

Nome Vôo	Passageiro
Air France 147	José Campos
Air France 147	Maria Silva
Air France 147	Gabriel Silva
Varig 224	Gabriel Silva
Varig 224	Cláudio Silva

# Exemplo de Fragmentação

- Fragmentação Horizontal – base Air France

**Passageiros**

Nome	Telefone
Jose Campos	322-9999
Maria Silva	222-3333
Gabriel Silva	222-3333
Cláudio Silva	222-3333

**Reservas**

Nome Voo	Passageiro
Air France 147	José Campos
Air France 147	Maria Silva
Air France 147	Gabriel Silva

**Vôos**

Voo	Tarifa	Ass	Cia
Air France 147	1000,00	250	Air France
Air France 455	750,00	500	Air France

**Cia\_Aéreas**

Nome	Faturam.	Presid.	Sede
Air France	10000K	Etoile	Paris

# Exemplo de Fragmentação

- Fragmentação Horizontal – base Varig

**Passageiros**

Nome	Telefone
Jose Campos	322-9999
Maria Silva	222-3333
Gabriel Silva	222-3333
Cláudio Silva	222-3333

**Reservas**

Nome Voo	Passageiro
Varig 224	Gabriel Silva
Varig 224	Cláudio Silva

**Vôos**

Voo	Tarifa	Ass	Cia
Varig 224	500,00	150	Varig

**Cia\_Aéreas**

Nome	Faturam.	Presid.	Sede
Varig	20000K	Pampa	Porto Alegre

# Exemplo de Fragmentação

- Fragmentação Vertical

**Passageiros**

Nome	Telefone
Jose Campos	322-9999
Maria Silva	222-3333
Gabriel Silva	222-3333
Cláudio Silva	222-3333

**Reservas**

Nome Voo	Passageiro
Air France 147	José Campos
Air France 147	Maria Silva
Air France 147	Gabriel Silva
Varig 224	Gabriel Silva
Varig 224	Cláudio Silva

base Voo 1

**Vôos**

Voo	Tarifa
Air France 147	1000,00
Air France 455	750,00
Varig 224	500,00

**Cia\_Aéreas**

Nome	Faturam.
Varig	20000K
Air France	10000K

base Voo 2

**Vôos**

Voo	Ass	Cia
Air France 147	250	Air France
Air France 455	500	Air France
Varig 224	150	Varig

**Cia\_Aéreas**

Nome	Presid.	Sede
Varig	Pampa	Porto Alegre
Air France	Etoile	Paris

# Processamento Distribuído de Consultas

- Processamento Distribuído de Consultas
  - conversão de transações do usuário em instruções de manipulação de dados
  - Problema de otimização
  - custo = transmissão dados + process. local
  - formulação geral do problema é NP-difícil

# Processamento

## Distribuído de Consultas (2)

- Tradução automática das consultas em linguagem de alto nível
  - base distribuída é vista como única pelo usuário
  - A tradução deve ser correta
  - O plano gerado deve ser ótimo
- O processamento trabalha em quatro fases:
  - a decomposição da consulta
  - a localização dos dados
  - a otimização global
  - a otimização local

# Processamento

## Distribuído de Consultas (3)

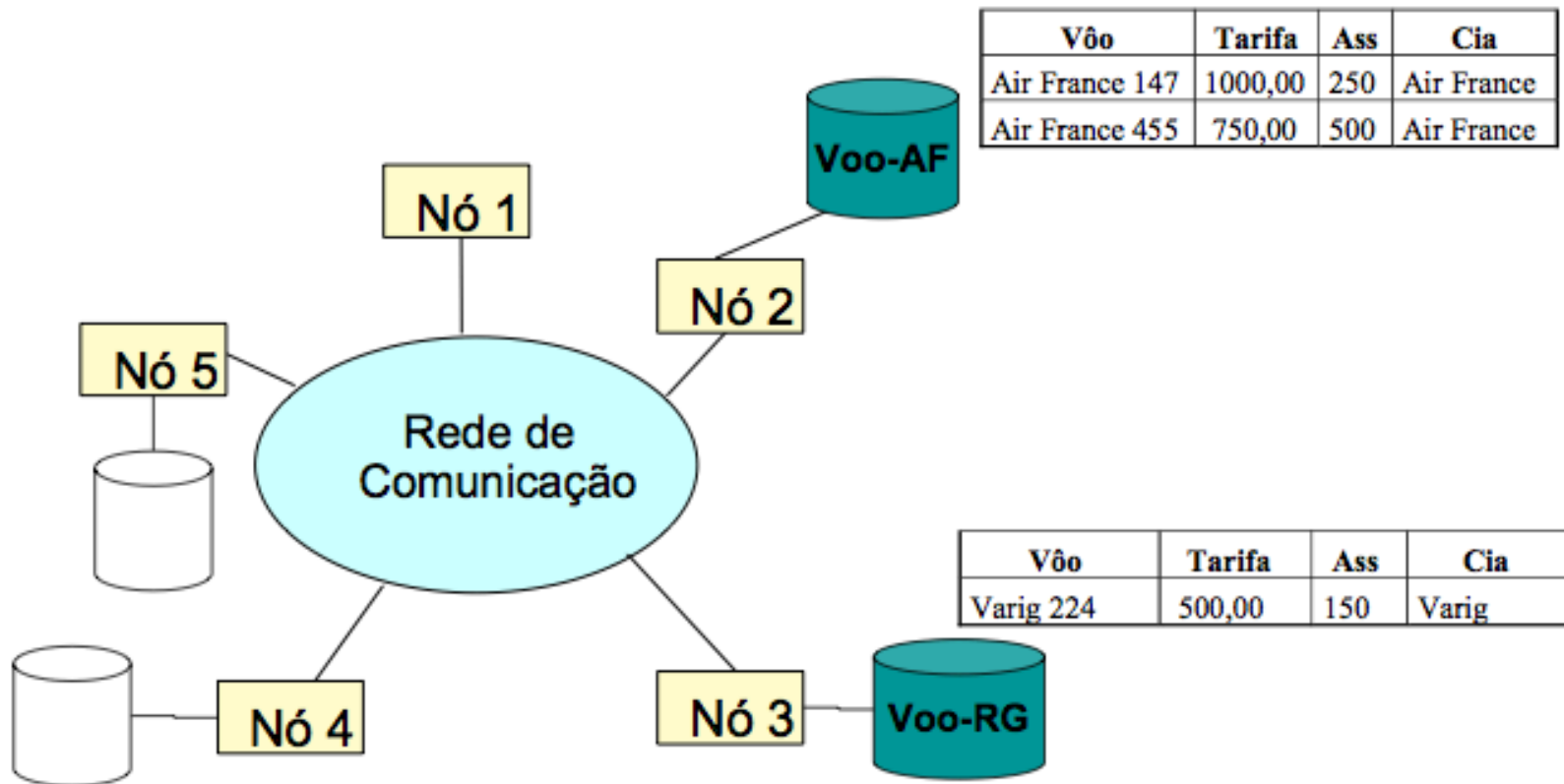
### Localização dos Dados

- Transforma consulta algébrica em consulta equivalente sobre uma base fragmentada
  - Analisa predicado da consulta e função de fragmentação
  - Avalia a geração de fragmentos vazios
- A consulta pode ser reduzida



# Exemplo de Processamento Distribuído de Consultas

- Fragmentação Horizontal na tabela Voos



# Localização dos Dados

- Consulta tabela Voo onde Cia = "Air France"

```
select Vão, tarifa from vôos where Cia = "Air France"
```

Transformação

```
select Vão, tarifa from vôo-A where Cia = "Air France"  
UNION  
select Vão, tarifa from vôo-V where Cia = "Air France"
```

Análise do predicado da consulta e da função de fragmentação

Avaliação da geração de fragmentos vazios

Redução da consulta

```
select Vão, tarifa from vôo-A where Cia = "Air France"
```

# Localização dos Dados (2)

- Consulta tabela Voo onde tarifa <= 1000.00

```
select Voo, tarifa from vãos where tarifa <= 1000.00
```

Transformação

```
select Voo, tarifa from voo-A where  tarifa <= 1000.00  
UNION  
select Voo, tarifa from voo-V where  tarifa <= 1000.00
```

Análise do predicado da consulta e da função de fragmentação

Avaliação da geração de fragmentos vazios

Redução da consulta

**Neste caso não há redução, mas pode haver paralelismo**

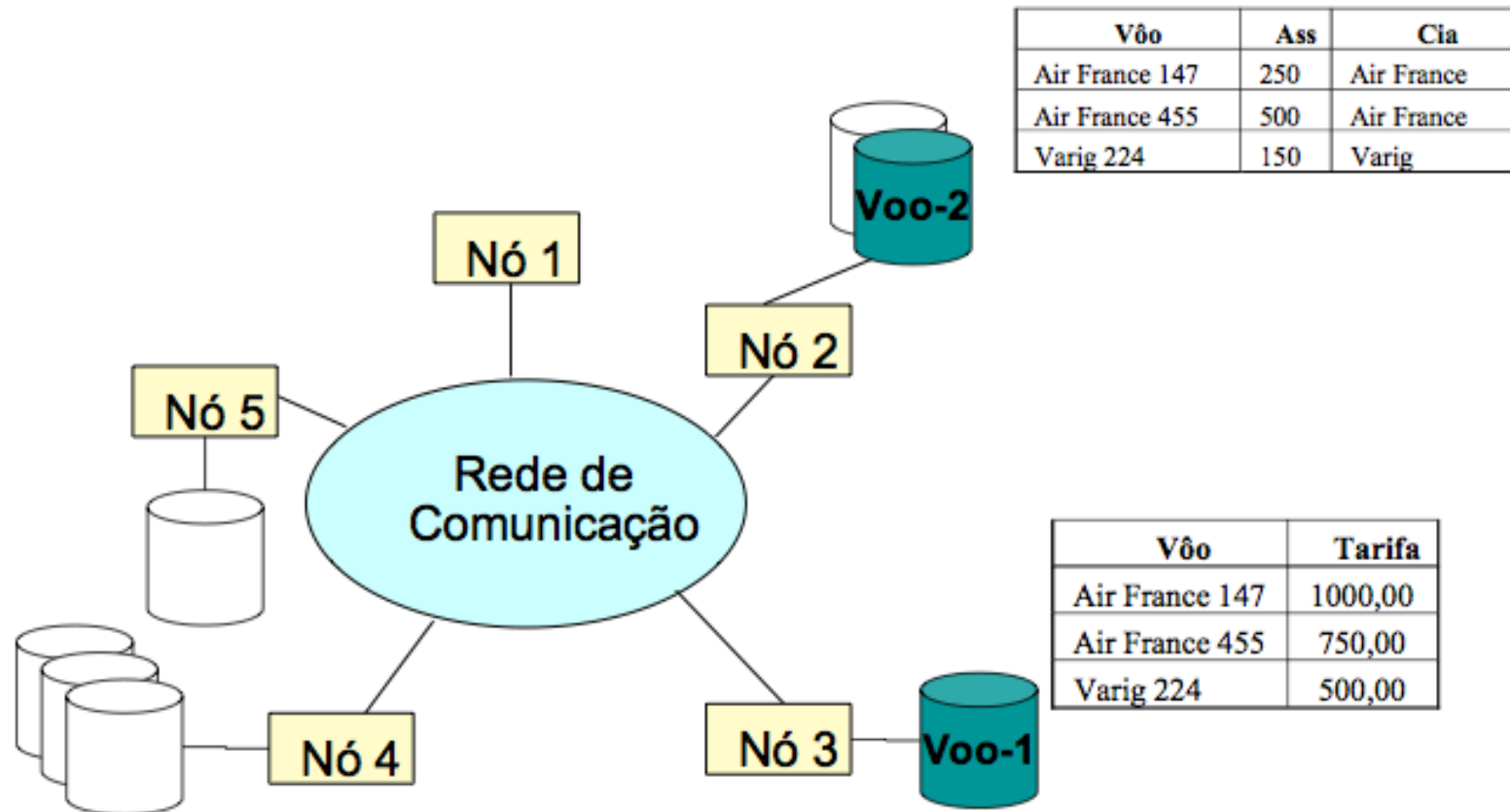
# Otimização Global

- Gera o plano de execução ótimo a partir da consulta fragmentada
  - técnicas de otimização heurísticas e sistemáticas
  - cálculo do custo

$$\begin{array}{c} \text{Custo de E/S} \\ \text{(operações de acesso ao disco)} \\ + \\ \text{Custo de CPU} \\ \text{(operações de processamento)} \\ + \\ \text{Custo de comunicação} \\ \text{(movimentação dos dados entre os nós)} \end{array}$$

# Exemplo de Processamento Distribuído de Consultas

- Fragmentação Vertical na tabela Voos



# Localização dos Dados

- Consulta tabela Voo onde tarifa <= 1000.00

```
select Vão, tarifa from vãos where tarifa <= 1000.00
```

Transformação

```
select Vão, tarifa from vão-1 where tarifa <= 1000.00  
JOIN  
select Vão, tarifa from vão-2 where tarifa <= 1000.00
```

Análise do predicado da consulta e da função de fragmentação

Avaliação da geração de fragmentos vazios

Redução da consulta

```
select Vão, tarifa from vão-1 where tarifa <= 1000.00
```

# Questões no Processamento de Consultas Distribuídas

- Espaço de soluções pode ser muito grande
- Avaliação “custo otimização” X “custo execução”
- Intervalo entre a otimização e re-otimização
- Mudanças na distribuição dos dados
  - desbalanceamento de carga
  - distribuição dinâmica

# Principais Desafios dos SGBDDs

- Controle de Concorrência Distribuído
  - sincronização de acessos concorrentes
  - consistência *versus* concorrência
  - Problemas
    - Gerência de cópias múltiplas
    - Falhas locais em nós
    - Falha nas ligações de comunicação
    - Finalização (commit) distribuída
    - Bloqueio perpétuo (deadlock) distribuído
- Problemas muito complexos e ainda em aberto...



# Controle de Concorrência Distribuída

- Alternativas de Implementação
  - tempos separados para leitura e modificação
  - 2 cópias da base da dados distribuída
    - 1 para consultas, 1 para atualização
    - atualizações periódicas na base de consultas

# Principais Desafios dos SGBDDs

- Confiabilidade
  - Como tornar o sistema tolerante a falhas
    - SGBDs componentes, rede de comunicação
- Durabilidade e Atomicidade

# Questões Relacionadas aos SBDD

- Suporte do Sistema Operacional
  - SGBDs não são uma aplicação como outra qualquer...
  - suporte apropriado a operações de bancos de dados
    - Situação ainda mais crítica no caso dos SBDDs
    - Ex: suporte a transações distribuídas com controle de concorrência e reconstrução
  - requisitos de processamento
    - propósito geral + SBDDs

# As Novas Tecnologias e os SBDs

- Gerência de dados na Web
  - Necessidade de convergência entre 2 culturas distintas

## Web

crescimento explosivo de dados  
semi/não estruturados, troca de  
informações  
(HTML, XML, WSDL, REST, JSON)

## SGBDs

serviços de gerência de dados  
tradicionais  
(armazenamento, consulta, modelos  
de dados, integridade e consistência)

- Interoperabilidade
- Mudanças de tecnologias
  - Arquiteturas multi-camadas, serviços web
  - Cluster e GRIDs
  - Virtualização

# Exercício

ESTUDANTE	Nome	Número	Classe	Departamento
	Soares	17	1	DCC
	Botelho	8	2	DCC

CURSO	Nome	Número	Créditos	Departamento
	Introd. Ciências de Comp.	DCC1310	4	DCC
	Estrutura de Dados	DCC3320	4	DCC
	Matemática Discreta	MAT2410	4	MAT
	Base de Dados	DCC3380	4	DCC

PRÉ-REQUISITO	Número	Pré-requisito
	DCC3380	DCC3320
	DCC3380	MAT2410
	DCC3320	DCC1310

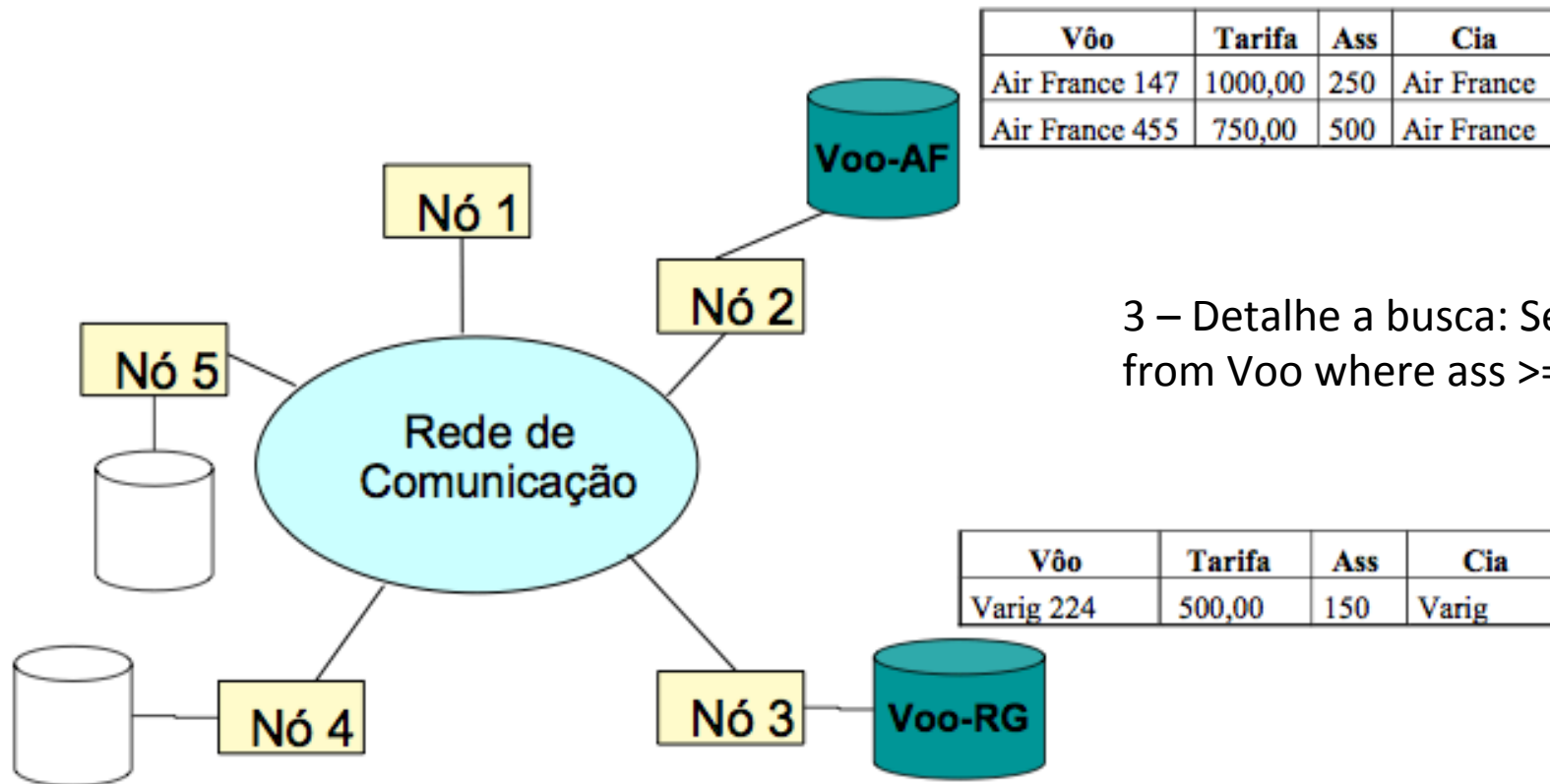
SEÇÃO	Número	Curso	Semestre	Ano	Professor
	85	MAT2410	1	86	Kotaro
	92	DCC1310	1	86	Alberto
	102	DCC3320	2	87	Kleber
	112	MAT2410	1	87	Carlos
	119	DCC1310	1	87	Alberto
	135	DCC3380	1	87	Souza

HISTORICO	NúmeroEstudante	NúmeroSeção	Nível
	17	112	B
	17	119	C
	8	85	A
	8	92	A
	8	102	B
	8	135	A

1 - Fragmentação horizontal na tabela Seção, condição cond=Curso

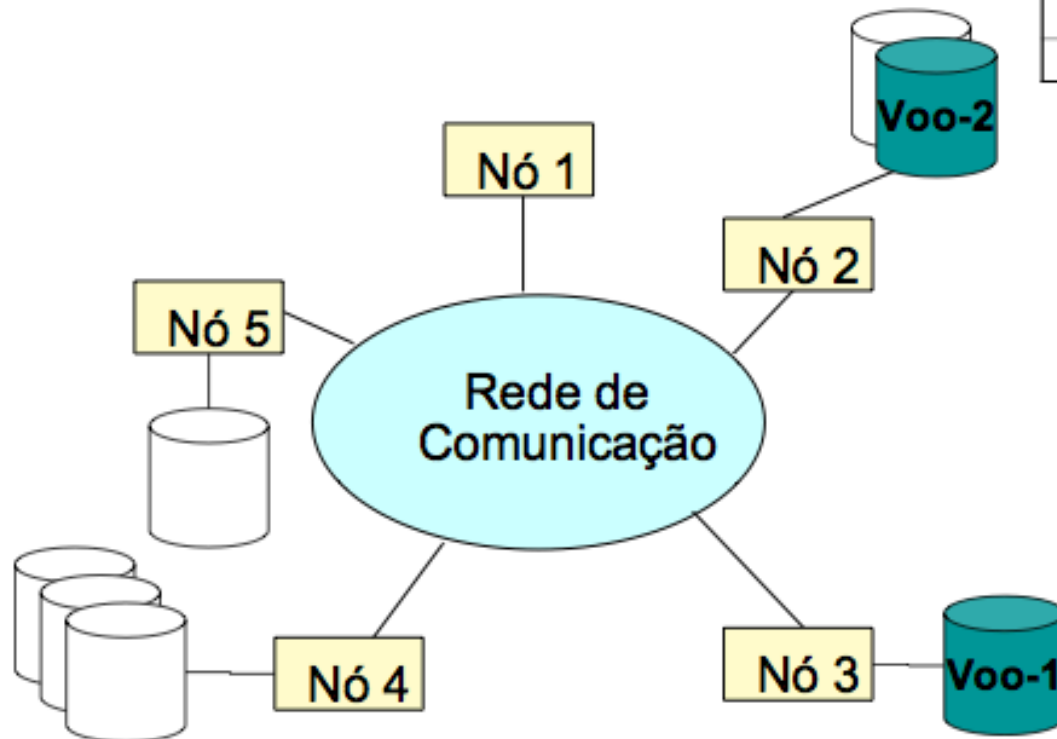
2 - Fragmentação vertical na tabela Curso. Nó 1: Nome e Créditos. Nó 2: Número e Departamento

# Exercício



3 – Detalhe a busca: Select \*  
from Voo where ass >= 300

# Exercício



Vôo	Ass	Cia
Air France 147	250	Air France
Air France 455	500	Air France
Varig 224	150	Varig

4 – Detalhe a busca: Select ass, cia from Voo

Vôo	Tarifa
Air France 147	1000,00
Air France 455	750,00
Varig 224	500,00

# Prova – Individual, consulta física

- Questões
  1. Qual a diferença entre replicação e fragmentação?  
Max. 5 linhas
  2. O que é fragmentação horizontal e vertical? Max 7 linhas
  3. Exemplifique uma fragmentação horizontal.
  4. Exemplifique uma fragmentação vertical.
  5. Exemplifique uma consulta (passos em alto nível) em fragmentação horizontal.
  6. Já construiu as máquinas virtuais? Resposta binária



# O que está disponível hoje no mercado?

- Pesquise também
  - Oracle
  - SQL Server
  - IBM Informix
  - PostgreSQL
  - MySQL
  - **Cassandra**
  - **MongoDB**
  - **CouchDB**
  - **Redis**
  - **Riak**
  - **Hbase**
  - **Couchbase**
  - **Neo4j**
  - **Hypertable**
  - **ElasticSearch**
  - **Accumulo**
  - **VoltDB**
  - **Scalaris**