

 universidade  
de aveiro

 deti

departamento de  
electrónica, telecomunicações  
e informática

1

 deti

# Introdução

- Já estudámos aspectos de desenho conceptual de base de dados e respectivo mapeamento para o modelo relacional.
- No entanto, nunca apresentámos um processo formal de analisar se determinado grupo de atributos de um esquema de relação é melhor do que outro.
- O desenho de uma base de dados relacional resulta num conjunto de relações. Existe um **objectivo implícito** nesse processo de desenho:
  - **Preservação da informação**
    - Todos os conceitos capturados pelo desenho conceptual que são mais tarde mapeados para o desenho lógico.
  - **Minimizar a redundância dos dados**
    - Minimizar o armazenamento duplicado de dados em relações distintas, reduzindo a necessidade de múltiplos updates e consequente problema de consistência entre múltiplas cópias da mesma informação.

2

2

## Desenho de BD - Esquemas de Relação



### Análise de Qualidade:

- Critérios Informais
- Critérios Formais
  - Dependências Funcionais, Multivalor e Junção
- Processo de Normalização
  - Formas Normais
    - Baseadas em critérios formais

3

3

## Critérios Informais



- Clareza da semântica dos atributos da relação
- Redundância de informação no tuplo
- Redução dos NULLs nos tuplos
- Junção de relações baseada em PK e FK

4

4

## Semântica dos atributos da relação

- O desenho de um esquema de relação **deve ser fácil de explicar.**
- Verificar se existe uma semântica clara entre os atributos de uma relação.
  - Evitar que uma relação corresponda a uma mistura de atributos de diferentes entidades e relacionamentos.
  - **Exemplos de mau desenho:**

EMP\_DEPT

Ename	Ssn	Bdate	Address	Dnumber	<del>Dname</del>	<del>Dmgr_ssn</del>
-------	-----	-------	---------	---------	------------------	---------------------

EMP\_PROJ

Ssn	Pnumber	Hours	Ename	<del>Pname</del>	<del>Plocation</del>
-----	---------	-------	-------	------------------	----------------------

5

5

Redundante

## Redundância de Informação no Tuplo

- O objectivo é **reduzir ao máximo o espaço ocupado por uma relação.**
- No mau exemplo anterior verificámos que também há duplicação desnecessária de informação.

Duplicação dos dados do departamento sempre que introduzimos um novo funcionário

Update de dados departamento...  
... Update todos os tuplos!!!

EMP\_DEPT

Ename	Ssn	Bdate	Address	Dnumber	Dname	Dmgr_ssn
Smith, John B.	123456789	1965-01-09	731 Fondren, Houston, TX	5	Research	333445555
Wong, Franklin T.	333445555	1955-12-08	638 Voss, Houston, TX	5	Research	333445555
Zelaya, Alicia J.	999887777	1968-07-19	3321 Castle, Spring, TX	4	Administration	987654321
Wallace, Jennifer S.	987654321	1941-06-20	291 Berry, Bellaire, TX	4	Administration	987654321
Narayan, Ramesh K.	666884444	1962-09-15	975 FireOak, Humble, TX	5	Research	333445555
English, Joyce A.	453453453	1972-07-31	5631 Rice, Houston, TX	5	Research	333445555
Jabbar, Ahmad V.	987987987	1969-03-29	980 Dallas, Houston, TX	4	Administration	987654321
Borg, James E.	888665555	1937-11-10	450 Stone, Houston, TX	1	Headquarters	888665555

Redundancy

Como introduzir um funcionário sem departamento?

Uso de NULLS...

Como Introduzir um novo departamento?

Uso de NULLS...

Ssn=NULL  
!!!Integridade da Entidade???

EMPLOYEE

Ename	Ssn	Bdate	Address	Dnumber
Smith, John B.	123456789	1965-01-09	731 Fondren, Houston, TX	5
Wong, Franklin T.	333445555	1955-12-08	638 Voss, Houston, TX	5
Zelaya, Alicia J.	999887777	1968-07-19	3321 Castle, Spring, TX	4
Wallace, Jennifer S.	987654321	1941-06-20	291 Berry, Bellaire, TX	4
Narayan, Ramesh K.	666884444	1962-09-15	975 Fire Oak, Humble, TX	5
English, Joyce A.	453453453	1972-07-31	5631 Rice, Houston, TX	5
Jabbar, Ahmad V.	987987987	1969-03-29	980 Dallas, Houston, TX	4
Borg, James E.	888665555	1937-11-10	450 Stone, Houston, TX	1

DEPARTMENT

Dname	Dnumber	Dmgr_ssn
Research	5	333445555
Administration	4	987654321
Headquarters	1	888665555



6

6



## Redução dos NULLs nos tuplos

- Há situações em que temos uma grande quantidade de atributos numa relação:
  - Muitos dos atributos não se aplicam a todos os tuplos da relação.
- Consequência: existência de muitos NULLs nesses tuplos
  - Desperdício de espaço
  - Difícil interpretação do seu sentido desses atributos (Null pode ter vários significados)
- Recomendação: Criar outra relação para esses atributos.

Exemplo:

- Imaginando que queremos incluir o número do gabinete na relação Employee mas só 15% dos funcionários têm esse número.
- Solução: criar uma nova relação EMP\_OFFICES(Essn, Office\_number) só com tuplos de funcionários com gabinete.

7

7



## Junção de Relações baseada em PK e FK

- Devemos evitar esquemas de relação que estabeleçam relacionamentos entre duas relações baseados em atributos que não a chave primária e estrangeira.
- Mau exemplo:

Diagram showing a join between EMP\_LOCS and EMP\_PROJ1 based on non-key attributes:

EMP\_LOCS ⋈ EMP\_PROJ1

EMP_LOCS		EMP_PROJ1			
Ename	Plocation	Ssn	Pnumber	Hours	Pname
Smith, John B.	Bellaire	123456789	1	32.5	ProductX
Smith, John B.	Sugarland	123456789	2	7.5	ProductY
Narayan, Ramesh K.	Houston	666884444	3	40.0	ProductZ
English, Joyce A.	Bellaire	453453453	1	20.0	ProductX
English, Joyce A.	Sugarland	453453453	2	20.0	ProductY
Wong, Franklin T.	Sugarland	333445555	2	10.0	ProductY
Wong, Franklin T.	Houston	333445555	3	10.0	ProductZ
Wong, Franklin T.	Stafford	333445555	10	10.0	Computerization
Zelous, Alicia I.	Stafford	333445555	20	10.0	Reorganization

Ssn	Pnumber	Hours	Pname	Plocation	Ename
123456789	1	32.5	ProductX	Bellaire	Smith, John B.
* 123456789	1	32.5	ProductX	Bellaire	English, Joyce A.
123456789	2	7.5	ProductY	Sugarland	Smith, John B.
* 123456789	2	7.5	ProductY	Sugarland	English, Joyce A.
* 123456789	2	7.5	ProductY	Sugarland	Wong, Franklin T.
666884444	3	40.0	ProductZ	Houston	Narayan, Ramesh K.
* 666884444	3	40.0	ProductZ	Houston	Wong, Franklin T.
* 453453453	1	20.0	ProductX	Bellaire	Smith, John B.
453453453	1	20.0	ProductX	Bellaire	English, Joyce A.
* 453453453	2	20.0	ProductY	Sugarland	Smith, John B.
453453453	2	20.0	ProductY	Sugarland	English, Joyce A.

Temos situações de junção errada de tuplos:  
\* spurious tuples

8

8

# Crêterios formais

 deti

## Dependências Funcionais

9

9

 deti

## Dependências Funcionais (DP)

- Considerando a relação:
  - $R(A_1, A_2, \dots, A_n)$
  - Subconjunto de atributos  $X, Y \subseteq R$
- Dependência Funcional:  $X \rightarrow Y$ 
  - tuplos:  $t_1, t_2 \in R$
  - $t_1[X] = t_2[X] \Rightarrow t_1[Y] = t_2[Y]$  Restrição
- Formalismo de análise de esquemas relacionais.
  - Permite descrever restrições dos atributos que os tuplos devem respeitar em todo o momento (invariantes).
  - Permite detectar e descrever problemas com precisão. 10

10

## Dependências Funcionais

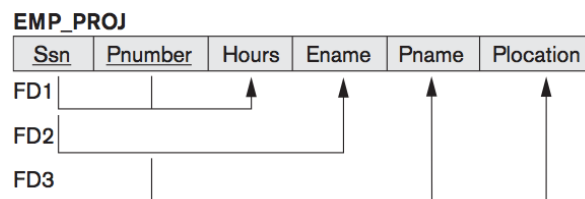


- $X \rightarrow Y$  ... por outras palavras:
  - Y é funcionalmente dependente de X.
  - Os valores da componente X do tuplo define de forma única a componente Y do respectivo tuplo.
- Uma DP é uma propriedade do esquema de relação R que não pode ser inferido de uma qualquer instância de R, i.e.  $r(R)$ .
  - Deve ser definida por alguém que conhece a semântica dos atributos da relação.

11

11

## Dependências Funcionais - Exemplo



- Pela semântica dos atributos da relação EMP\_PROJ podemos inferir as seguintes DF:

- $Ssn \rightarrow Ename$
- $Pnumber \rightarrow \{Pname, Plocation\}$
- $\{Ssn, Pnumber\} \rightarrow Hours$


O Ssn determina de forma única o nome do funcionários.

O número do projecto determina de forma única o seu nome e localização.

O Ssn e o número do projecto determinam de forma única o número de horas que um funcionário trabalha para o projecto.

FD: Functional Dependency

12




## Tipos de Dependências Funcionais

- **Dependência Parcial**
  - atributo depende de parte dos atributos que compõem a chave da relação.
- **Dependência Transitiva**
  - atributo que não faz parte da chave da relação depende de um atributo que também não faz parte da chave da relação.
- **Dependência Total**
  - atributo depende de toda a chave da relação.

14

14



## Normalização

15

15



## Introdução

- Objectivo: Reduzir a Redundância
- DF especifica alguns aspectos semânticos do esquema da relação.
  - ...mas a redundância está associada a DF não desejadas!
- Vamos assumir que:
  - Existe um conjunto de DF associadas a cada esquema de relação;
  - Que cada relação tem uma chave primária definida;
- Processo de Normalização:
  - Formas Normais
    - Conjunto de testes (condições) para validação de cada forma.
    - Cada forma superior tem menos DF que a anterior.

16

16



## Formas Normais

- O processo de normalização consiste em efetuar um conjunto de testes para certificar se um desenho de BD relacional satisfaz determinada Forma Normal (FN).
  - Relações que não satisfazem os testes de determinada forma normal são decompostas em relações menores.
- Codd propôs três FN baseadas em DF
  - Primeira (1FN), Segunda (2FN) e Terceira (3FN)
  - A 3FN satisfaz as condições da 2FN e esta as da 1FN
- Mais tarde Boyce e Codd propuseram uma definição mais restritiva da 3NF à qual se chamou:
  - Boyce-Codd Normal Form (BCNF)
- Foram ainda propostas a 4FN e 5FN baseadas respectivamente em dependências multivalor e de junção.

17

17



## Primeira Forma Normal (1NF)

- Definição formal de uma relação básica do modelo relacional:
  - Atributos são atômicos (simples e indivisíveis)
    - Não permite atributos composto ou multivalor
  - Não suporta relações dentro de relações (Nested Relation)
    - Não é possível utilizar uma relação como valor de um atributo de um tuplo.

Ssn	Ename	Pnumber	Hours
123456789	Smith, John B.	1	32.5
		2	7.5
666884444	Narayan, Ramesh K.	3	40.0
453453453	English, Joyce A.	1	20.0
		2	20.0

EMP_PROJ		Projs	
Ssn	Ename	Pnumber	Hours

**Nested Relation**

EMP\_PROJ(Ssn, Ename, {PROJS(Pnumber, Hours)})

18

{} significa que o atributo PROJS é multivalor

18

## 1FN - Exemplo 1

(a)

Dname	Dnumber	Dmgr_ssn	Dlocations

(b)

Dname	Dnumber	Dmgr_ssn	Dlocations
Research	5	333445555	{Bellaire, Sugarland, Houston}
Administration	4	987654321	{Stafford}
Headquarters	1	888665555	{Houston}

**Esquema Relação**

**Não está na 1FN**

**Instância**

- Dlocation - atributo multivalor!
- 3 aproximações para converter a relação na 1FN...

19

19

deti

## 1FN - Exemplo 1 (soluções)

Dname	Dnumber	Dmgr_ssn
Research	5	333445555
Administration	4	987654321
Headquarters	1	888665555

Dnumber	Dlocation
1	Houston
4	Stafford
5	Bellaire
5	Sugarland
5	Houston

Aproximação 1

**Melhor solução**  
**Decomposição da Relação**

Dname	Dnumber	Dmgr_ssn	Dlocation
Research	5	333445555	Bellaire
Research	5	333445555	Sugarland
Research	5	333445555	Houston
Administration	4	987654321	Stafford
Headquarters	1	888665555	Houston

Aproximação 2

**Está na 1FN mas...**  
**Problema: Redundância**

Aproximação 3

Se K é o nº máximo de Dlocation,

Criar K atributos distintos (Dlocation1, Dlocation2,..., DlocationK)

Problemas: NULL values, consultas Dlocation difíceis, ...

20

20

deti

## 1FN - Exemplo 2 (Nested Relation)

EMP_PROJ			
Ssn	Ename	Projs	
		Pnumber	Hours

**Não está na 1FN**

- Ssn é chave primária da relação EMP\_PROJ
- Pnumber é chave parcial da Nested Relation (Projs)
- Solução:
  - Decompor a relação em duas relações na 1FN:

Ssn	Ename

Ssn	Pnumber	Hours

21

21

## Segunda Forma Normal (2FN)

- A relação está na 1FN e...
- ...todos os atributos não pertencentes a qualquer chave candidata devem depender totalmente da chave e não de parte dela.

▪ i.e. não existem dependências parciais

- Exemplo:

▪ está na 1FN

▪ dependência total:

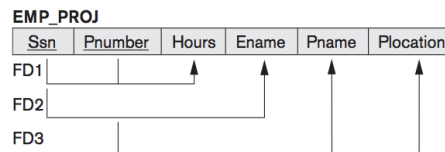
• FD1 ( $\{Ssn, Pnumber\} \rightarrow Hours$ )

▪ Problema de dependências parciais:

• FD2 ( $Ssn \rightarrow Ename$ )

• FD3 ( $Pnumber \rightarrow \{Pname, Plocation\}$ )

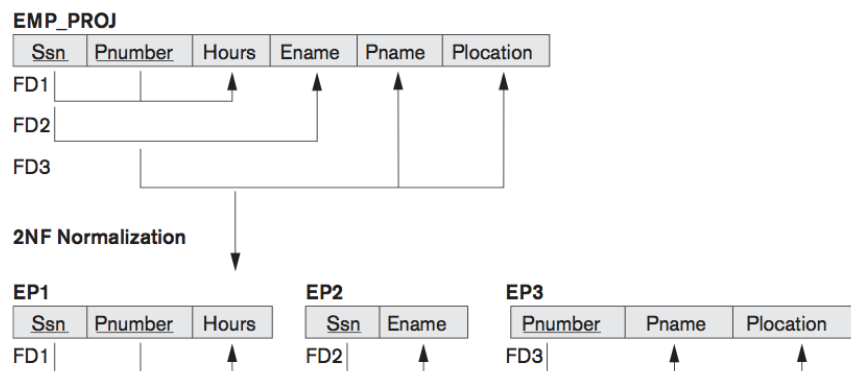
Solução: Decompor a relação...



22

22

## 2FN - Exemplo



- Todas as dependências parciais deram resultado a uma nova relação.
- Verificar se as novas relações só têm dependências totais.

23

23

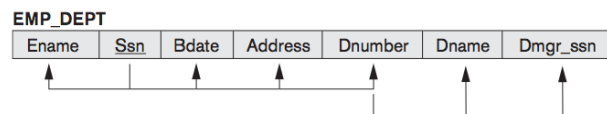
## Terceira Forma Normal (3FN)

- A relação está na 2FN e...
- ...não existem dependências funcionais entre atributos não chave.
  - i.e. não existem dependências transitivas

### Exemplo:

- está na 2FN
- Problema de dependências transitiva:  
 $Ssn \rightarrow Dnumber$  e  
 $Dnumber \rightarrow Dname$   
 $Dnumber \rightarrow Dmgr\_ssn$

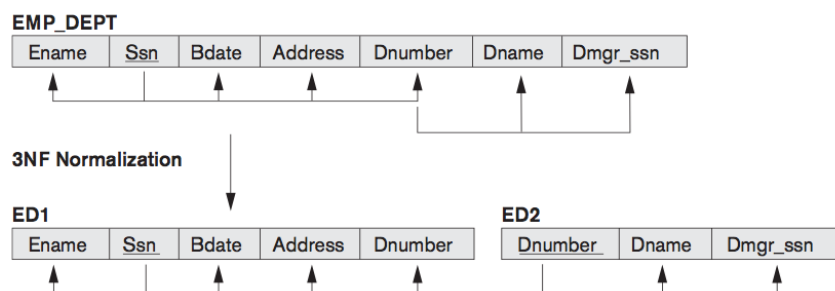
Solução: Decompor a relação...



24

24

## 3FN - Exemplo



- As dependências transitivas relativamente a Dnumber deu origem a uma nova relação (ED2) em que Dnumber é a sua chave primária.
- Dnumber mantém-se na relação inicial como chave estrangeira.

25

25

Quadro Resumo: 1FN, 2FN e 3FN		
Summary of Normal Forms Based on Primary Keys and Corresponding Normalization		
Normal Form	Test	Remedy (Normalization)
First (1NF)	Relation should have no multivalued attributes or nested relations.	Form new relations for each multivalued attribute or nested relation.
Second (2NF) <i>sem dependências transitivas</i>	For relations where primary key contains multiple attributes, no nonkey attribute should be functionally dependent on a part of the primary key.	Decompose and set up a new relation for each partial key with its dependent attribute(s). Make sure to keep a relation with the original primary key and any attributes that are fully functionally dependent on it.
Third (3NF) <i>sem dependências transitivas</i>	Relation should not have a nonkey attribute functionally determined by another nonkey attribute (or by a set of nonkey attributes). That is, there should be no transitive dependency of a nonkey attribute on the primary key.	Decompose and set up a relation that includes the nonkey attribute(s) that functionally determine(s) other nonkey attribute(s).

26

26

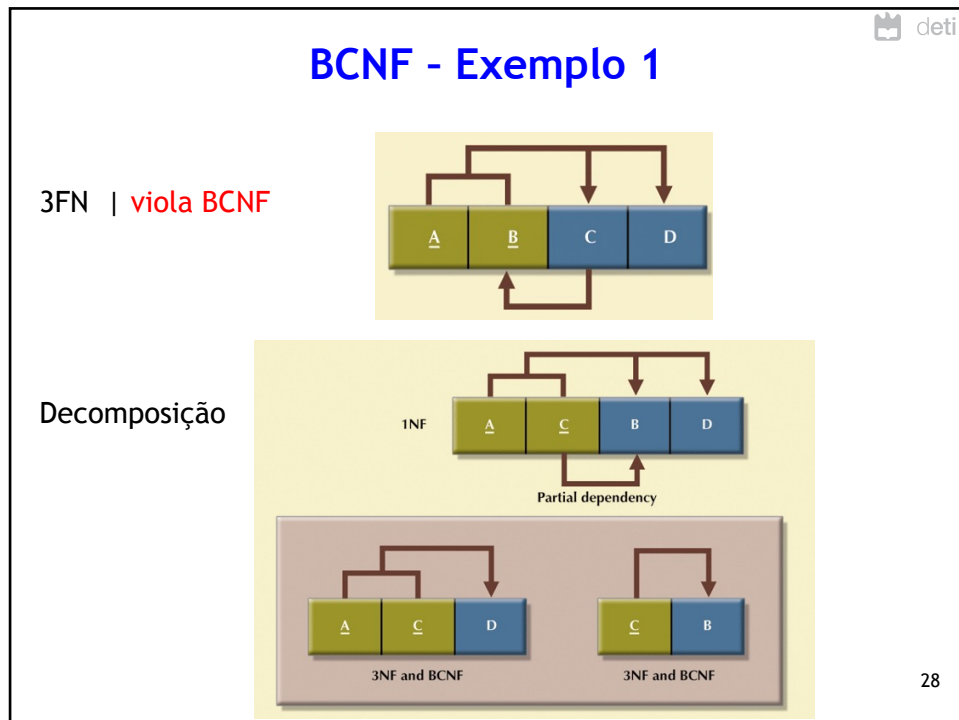
## Boyce-Codd Normal Form (BCNF)

- Usualmente, a 3FN é aquela que termina o processo de normalização.
  - No entanto, em algumas situações a 3FN ainda apresenta algumas anomalias.
- BCNF é mais restritiva que a 3FN
  - $BCNF \Rightarrow 3FN$
- Definição:
 

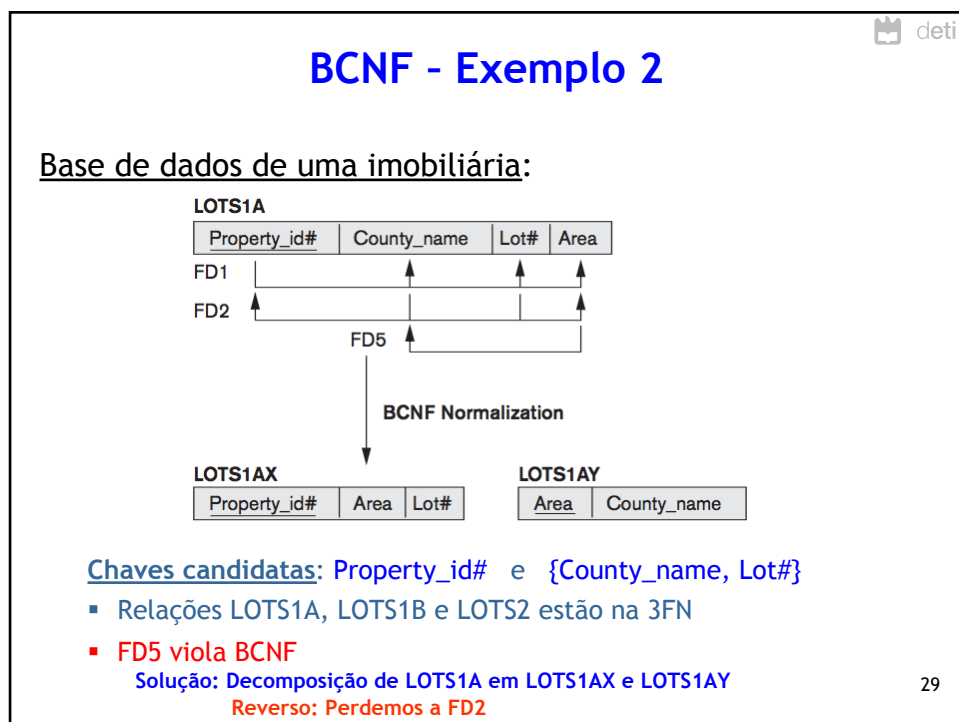
Todos os atributos são funcionalmente dependentes da chave da relação, de toda a chave e de nada mais.
- Exemplo:
  - está na 3FN
  - FD2 viola a BCNF

27

27



28



29

## Normalização - Ponto de Equilíbrio

- Como verificámos no exemplo de BCNF, perdeu-se uma dependência funcional importante (deduzida da semântica dos atributos).
  - Que deverá ser tratada ao nível aplicacional.
- Assim, **existe um ponto de equilíbrio** no processo de Normalização **que tipicamente fica entre a 3FN e a BCNF**.



30

30

## 4FN e 5FN

- **Usualmente uma relação na BCNF também se encontra na 4FN e 5FN.**
  - 4FN são raros e 5FN ainda mais raros
- Definição **4FN**:
  - Está na BCNF
  - Não existem dependências multivalor
- Definição **5FN**:
  - Está na 4FN
  - A relação não pode ser mais decomposta sem haver perda de informação
  - Não existem dependências de junção

31

31

## Dependências Multivalor

- Dependência multivalor  $X \twoheadrightarrow Y$  em  $R(X,Y,Z)$
- Garantir a seguinte restrição em qualquer instância  $r(R)$ :
  - Se dois tuplos  $t1$  e  $t2$  existem em  $r(R)$  tal que  $t1[X]=t2[X]$
  - Então também devem existir dois tuplos  $t3$  e  $t4$  em  $r(R)$  com as seguintes características:
    - $t4[X] = t3[X] = t1[X] = t2[X]$
    - $t3[Y] = t1[Y]$  e  $t4[Y] = t2[Y]$
    - $t3[Z] = t2[Z]$  e  $t4[Z] = t1[Z]$
- Exemplo:
  - $X \twoheadrightarrow Y$
  - $X \twoheadrightarrow Z$
- Outras palavras...

X	Y	Z
x1	y1	z1
x1	y2	z2
x1	y1	z2
x1	y2	z1
..	..	..

mesma r(R)		
X	Y	Z
x1	y1	z1
x1	y1	z2
x1	y2	z1
x1	y2	z2
..	..	..

$X$  multidetermina  $Y$  se, para cada par de tuplos de  $R$  contendo os mesmo valores de  $X$ ,<sup>32</sup> existe em  $R$  um par de tuplos correspondentes à troca dos valores de  $Y$  no par original.

32

## 4FN: Dependências Multivalor - Exemplo

EMP

Ename	Pname	Dname
Smith	X	John
Smith	Y	Anna
Smith	X	Anna
Smith	Y	John

Dependências Multivalor:

Ename  $\twoheadrightarrow$  PnameEname  $\twoheadrightarrow$  Dname

- Solução: decomposição da relação EMP

EMP\_PROJECTS

Ename	Pname
Smith	X
Smith	Y

EMP\_DEPENDENTS

Ename	Dname
Smith	John
Smith	Anna

33

33



## Dependências de Junção

- Existe uma dependência de junção em R se, dadas algumas projeções de R, apenas se reconstrói R através de algumas junções bem definidas, mas não de todas.
- Muito rara na prática
  - difícil de detectar
- Exemplo:
  - Projetando R em (X,Y), (X,Z) e (Y,Z)
  - Verificamos que não é possível reconstruir R por junção de qualquer umas das projeções.
  - Só com a junção das 3 projeções é que conseguimos reconstruir R.

r(R)

x	y	z
x1	y1	z1
x1	y1	z2
x1	y2	z2
x2	y3	z2
x2	y4	z2
x2	y4	z4
x2	y5	z4
x3	y2	z5

34

34

## 5FN: Dependência Junção - Exemplo

SUPPLY

Sname	Part_name	Proj_name
Smith	Bolt	ProjX
Smith	Nut	ProjY
Adamsky	Bolt	ProjY
Walton	Nut	ProjZ
Adamsky	Nail	ProjX
Adamsky	Bolt	ProjX
Smith	Bolt	ProjY

Vamos Criar 3 Projecções de Supply:

R1(Sname, Part\_name)

R2(Sname, Proj\_name)

R3(Part\_name, Proj\_name)

R<sub>1</sub>

Sname	Part_name
Smith	Bolt
Smith	Nut
Adamsky	Bolt
Walton	Nut
Adamsky	Nail

R<sub>2</sub>

Sname	Proj_name
Smith	ProjX
Smith	ProjY
Adamsky	ProjY
Walton	ProjZ
Adamsky	ProjX

R<sub>3</sub>

Part_name	Proj_name
Bolt	ProjX
Nut	ProjY
Bolt	ProjY
Nut	ProjZ
Nail	ProjX

- A relação SUPPLY, com dependência de junção, pode ser decomposta em 3 relações R1, R2 e R3 cada uma na 5FN.
  - Só reconstruímos Supply com a junção das 3 relações R1, R2 e R3.

35

35

## Normalização - Caso de Estudo

### Gestão de Encomendas

36

36

## Esquema de Base de Dados - Início

Encomendas				
num_encomenda	num_cliente	cliente	endereco_cliente	...

...				
data_encomenda	cod_produto	produto	quantidade_prod	

- É notório que o designer não tem conhecimentos de desenho de base de dados...
- Problemas:
  - Mistura de grupos de atributos de entidades (claramente) distintas.
  - Redundância de informação nos tuplos
    - Temos de repetir num\_encomenda, num\_cliente, cliente, endereco\_cliente e data\_encomenda para registar várias linhas de uma encomenda!

37

37

deti

## 1FN

Encomendas				
num_encomenda	num_cliente	cliente	endereço_cliente	...

...			
data_encomenda	cod_produto	produto	quantidade_prod

*Produto*

- Podemos dizer que existe uma segunda relação Linhas\_Encomenda(cod\_produto, produto, quantidade\_prod) na relação Encomendas.
- Por decomposição:

Encomendas				
<u>num_encomenda</u>	num_cliente	cliente	endereço_cliente	data_encomenda

Linhas_Encomenda			
<u>num_encomenda</u>	<u>cod_produto</u>	produto	quantidade_prod

38

38

deti

## 2FN

Encomendas				
<u>num_encomenda</u>	num_cliente	cliente	endereço_cliente	data_encomenda

Linhas_Encomenda			
<u>num_encomenda</u>	<u>cod_produto</u>	produto	quantidade_prod

*↑ não pode ser só de uma PK*

- Verificámos que na segunda relação há uma violação à 2FN:
  - Dep. Parcial: produto só depende de um atributo (cod\_produto) da chave da relação!
- Por decomposição da relação Linhas\_Encomenda:

Linhas_Encomenda		
<u>num_encomenda</u>	<u>cod_produto</u>	quantidade_prod

Produtos	
<u>cod_produto</u>	produto

39

39

deti

WS é PK      3FN

Encomendas				
<u>num_encomenda</u>	num_cliente	cliente	endereco_cliente	data_encomenda

Linhas_Encomenda		
<u>num_encomenda</u>	<u>cod_produto</u>	quantidade_prod

Produtos	
<u>cod_produto</u>	produto

- Verificamos que a relação Encomendas viola a 3FN:
  - Dependência transitiva dos atributos cliente e endereco\_cliente!
  - Problemas: redundância, actualização de dados cliente obriga a actualizar N tuplos, só é possível registar um novo cliente quando existir uma primeira encomenda,...
- Por decomposição da relação Encomendas:

Encomendas		
<u>num_encomenda</u>	num_cliente	data_encomenda

Clientes		
<u>num_cliente</u>	cliente	endereco_cliente

40

40

deti

BCFN

Encomendas		
<u>num_encomenda</u>	num_cliente	data_encomenda

Linhas_Encomenda		
<u>num_encomenda</u>	<u>cod_produto</u>	quantidade_prod

Clientes		
<u>num_cliente</u>	cliente	endereco_cliente

Produtos	
<u>cod_produto</u>	produto

- Já está na BCFN
- Verificamos que todos os atributos só dependem de toda a chave e de nada mais.

41

41



## Resumo

- Qualidade do Desenho de Base de Dados Relacionais
- Critérios Informais
- Dependências Funcionais
- Normalização (Formas Normais)

42