

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Tecnologias de Bases de Dados

Query Optimization - Teaching Services



Grupo B:

José Azevedo - 201506448
Pedro Miguel Santos Ferreira - 201103084

Conteúdo

Objetivo do Projeto	4
Criação de Índices	4
Resposta às Perguntas	6
Pergunta 1 - Selecção	6
SQL query	6
Resposta	6
Plano de Execução	6
Tempos de Execução	8
Pergunta 2 - Agregação	9
SQL query	9
Resposta	9
Plano de Execução	9
Tempos de Execução	11
Pergunta 3 - A	12
SQL query	12
Resposta	12
Plano de Execução	13
Tempos de Execução	14
Pergunta 3 - B	14
SQL query	14
Resposta	15
Plano de Execução	16
Tempos de Execução	17
Pergunta 4	18
SQL query	18
Resposta	18
Plano de Execução	18
Tempos de Execução	20
Pergunta 5 - A	21
SQL query	21
Resposta	21
Plano de Execução	21
Tempos de Execução	23

Pergunta 5 - B	24
SQL query	24
Resposta	24
Plano de Execução	24
Tempos de Execução	26
Pergunta 5 - Conclusão	26
Pergunta 6	27
SQL query	27
Resposta	27
Plano de Execução	28
Tempos de Execução	29

1. Objetivo do Projeto

Este projeto foi realizado no âmbito da unidade curricular *Tecnologias de Bases de Dados*, pertencente ao plano de estudos do curso *Mestrado Integrado de Engenharia Informática e Computação* da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Com este projeto, é pretendido analisar planos de execução SQL e compreender o impacto de índices e diferentes estratégias de organização de queries.

2. Criação de Índices

Para a execução do ambiente Z, foram criados os seguintes índices com o objetivo de minimizar o custo e tempo de execução das queries dos exercícios propostos. A nomenclatura utilizada para os índices é IX_<nome da tabela>_<nome da coluna1>_..._<nome de colunaN>.

- B-Tree nas colunas DESIGNACAO e CURSO na tabela ZUCS:

```
CREATE INDEX IX_ZUCS_DESIGNACAO_CURSO  
ON ZUCS(DSIGNACAO, CURSO);
```

- B-Tree nas colunas CODIGO, ANO_LETIVO e PERIODO na tabela ZTIPOSAULA:

```
CREATE INDEX IX_ZTIPOSAULA_CODIGO_ANOLETIVO_PERIODO  
ON ZTIPOSAULA(CODIGO, ANO_LETIVO, PERIODO);
```

- B-Tree na coluna ANO_LETIVO na tabela ZTIPOSAULA:

```
CREATE INDEX IX_ZTIPOSAULA_ANOLETIVO  
ON ZTIPOSAULA(ANO_LETIVO);
```

- Bitmap na coluna CURSO da tabela ZUCS:

```
CREATE BITMAP INDEX IX_ZUCS_CURSO  
ON ZUCS(CURSO);
```

- B-Tree na coluna ID da tabela ZDSD:

```
CREATE INDEX IX_ZDSD_ID  
ON ZDSD(ID);
```

- B-Tree na coluna TIPO da tabela ZTIPOSAULA:

```
CREATE INDEX IX_ZTIPOSAULA_TIPO  
ON ZTIPOSAULA(TIPO);
```

- B-Tree nas colunas TIPO e ANO_LETIVO da tabela ZTIPOSAULA:

```
CREATE INDEX IX_ZTIPOSAULA_TIPO_ANOLETIVO  
ON ZTIPOSAULA(TIPO, ANO_LETIVO);
```

O grupo decidiu criar estes índices com base nos seguintes factores:

- Em colunas usadas para juntar tabelas (*JOIN's*);
- Em colunas usadas para condições (*WHERE's*);
- Otimização de FULL ACCESS SCAN's;

O grupo decidiu o tipo de índice a criar consoante a cardinalidade da(s) coluna(s) em questão, sendo que B-Tree foi utilizado para grande cardinalidade (>200) e Bitmap para baixa cardinalidade.

Importante referenciar que os índices criados tiveram em consideração que iriam ser apenas ser executadas operações *SELECT* (não alteram o conteúdo da base de dados). Para operações de atualização da base de dados, estes poderiam ser modificados para melhor eficiência (a criação de índices normalmente prejudicam estas operações).

Para cada pergunta proposta no enunciado, o código SQL desenvolvido foi executado várias vezes. Os tempos apresentados abaixo correspondem a uma média dos tempos de cada conjunto de três execuções. Relativamente a estes tempos, apesar de serem apresentados para todas as perguntas, por vezes a diferença não aparenta ser muito significativa pois após a primeira execução de cada interrogação frequentemente os resultados devolvidos pelo servidor eram muito inferiores, muito provavelmente por informação já estar em cache.

3. Resposta às Perguntas

3.1. Pergunta 1 - Selecção

3.1.1. SQL query

```
SELECT XUCS.CODIGO, DESIGNACAO, XOCORRENCIAS.ANO_LETIVO,  
INSCRITOS, TIPO, TURNOS FROM XUCS  
JOIN XOCORRENCIAS  
    ON XUCS.CODIGO = XOCORRENCIAS.CODIGO  
JOIN XTIPOSAULA  
    ON (XUCS.CODIGO = XTIPOSAULA.CODIGO  
        AND XTIPOSAULA.ANO_LETIVO = XOCORRENCIAS.ANO_LETIVO  
        AND XTIPOSAULA.PERIODO = XOCORRENCIAS.PERIODO)  
WHERE XUCS.DESIGNACAO = 'Bases de Dados'  
      AND XUCS.CURSO = 275;
```

3.1.2. Resposta

	❖ CODIGO	❖ DESIGNACAO	❖ ANO_LETIVO	❖ INSCRITOS	❖ TIPO	❖ TURNOS
1	EIC3106	Bases de Dados	2003/2004	92	T	1
2	EIC3106	Bases de Dados	2003/2004	92	TP	4
3	EIC3106	Bases de Dados	2004/2005	114	T	1
4	EIC3106	Bases de Dados	2004/2005	114	TP	4
5	EIC3111	Bases de Dados	2005/2006	(null)	T	1
6	EIC3111	Bases de Dados	2005/2006	(null)	TP	6

3.1.3. Plano de Execução

Pelos planos de execução obtidos para os ambientes X e Y, existe uma redução considerável no custo de execução da query devido ao facto da indexação de chaves primárias e estrangeiras, o que neste caso provoca a eliminação de FULL TABLE ACCESS à tabela OCORRENCIAS (cost: 593).

Para o ambiente Z, são criados os indexes IX_ZUCS_DESIGNACAO_CURSO e IX_ZTIPOSAULA_CODIGO_ANOLETIVO_PERIODO, que eliminam os FULL ACCESS SCAN existentes no ambiente Y, reduzindo ainda mais o custo de execução.

```
CREATE INDEX IX_ZUCS_DESIGNACAO_CURSO
ON ZUCS(DSIGNACAO, CURSO);
```

```
CREATE INDEX IX_ZTIPOSAULA_CODIGO_ANOLETIVO_PERIODO
ON ZTIPOSAULA(CODIGO, ANO_LETIVO, PERIODO);
```

OPERATION	OBJECT_NAME	OPTIONS	CARDINALITY	COST
SELECT STATEMENT			1	643
HASH		UNIQUE	1	643
HASH JOIN			1	642
Access Predicates				
AND				
XTIPOSAULA.ANO_LETIVO=XOCORRENCIAS.ANO_LETIVO				
XTIPOSAULA.PERIODO=XOCORRENCIAS.PERIODO				
XUCS.CODIGO=XOCORRENCIAS.CODIGO				
HASH JOIN			1	49
Access Predicates				
XUCS.CODIGO=XTIPOSAULA.CODIGO				
TABLE ACCESS	XUCS	FULL	1	13
Filter Predicates				
AND				
XUCS.DSIGNACAO='Bases de Dados'				
XUCS.CURSO=275				
TABLE ACCESS	XTIPOSAULA	FULL	21019	36
TABLE ACCESS	XOCORRENCIAS	FULL	21747	593

OPERATION	OBJECT_NAME	OPTIONS	CARDINALITY	COST
SELECT STATEMENT			1	51
HASH		UNIQUE	1	51
NESTED LOOPS			1	50
NESTED LOOPS			1	50
HASH JOIN			1	49
Access Predicates				
YUCS.CODIGO=YTIPOSAULA.CODIGO				
TABLE ACCESS	YUCS	FULL	1	13
Filter Predicates				
AND				
YUCS.DSIGNACAO='Bases de Dados'				
YUCS.CURSO=275				
TABLE ACCESS	YTIPOSAULA	FULL	21019	36
INDEX	SYS_C0055712	UNIQUE SCAN	1	0
Access Predicates				
AND				
YUCS.CODIGO=YOCORRENCIAS.CODIGO				
YTIPOSAULA.ANO_LETIVO=YOCORRENCIAS.ANO_LETIVO				
YTIPOSAULA.PERIODO=YOCORRENCIAS.PERIODO				
TABLE ACCESS	YOCORRENCIAS	BY INDEX ROWID	1	1

OPERATION	OBJECT_NAME	OPTIONS	CARDINALITY	COST
SELECT STATEMENT			1	13
HASH JOIN			1	13
Access Predicates				
AND				
ZTIPOSAULA.ANO_LETIVO=ZOCORRENCIAS.ANO_LETIVO				
ZTIPOSAULA.PERIODO=ZOCORRENCIAS.PERIODO				
ZUCS.CODIGO=ZOCORRENCIAS.CODIGO				
NESTED LOOPS			1	13
NESTED LOOPS			6	13
STATISTICS COLLECTOR				
HASH JOIN			6	8
Access Predicates				
ZUCS.CODIGO=ZTIPOSAULA.CODIGO				
NESTED LOOPS			6	8
STATISTICS COLLECTOR				
TABLE ACCESS	ZUCS	BY INDEX ROWID BATCHED	1	2
INDEX	IX_ZUCS_DESIGNACAO_CURSO	RANGE SCAN	1	1
Access Predicates				
AND				
ZUCS.DESIGNACAO='Bases de Dados'				
ZUCS.CURSO=275				
TABLE ACCESS	ZTIPOSAULA	BY INDEX ROWID BATCHED	6	6
INDEX	IX_ZTIPOSAULA_CODIGO_ANOLETIV...	RANGE SCAN	6	1
Access Predicates				
ZUCS.CODIGO=ZTIPOSAULA.CODIGO				
TABLE ACCESS	ZTIPOSAULA	FULL	6	6
INDEX	SYS_C0055805	UNIQUE SCAN	1	0
Access Predicates				
AND				
ZUCS.CODIGO=ZOCORRENCIAS.CODIGO				
ZTIPOSAULA.ANO_LETIVO=ZOCORRENCIAS.ANO_LETIVO				
ZTIPOSAULA.PERIODO=ZOCORRENCIAS.PERIODO				
TABLE ACCESS	ZOCORRENCIAS	BY INDEX ROWID	1	1
TABLE ACCESS	ZOCORRENCIAS	FULL	1	1

3.1.4. Tempos de Execução

Para além da redução ao nível do custo no plano de execução, também se nota uma redução nos tempos de execução devido à introdução de chaves primárias e estrangeiras de X para Y, e à introdução de outros índices de Y para Z.

	X(ms)	Y(ms)	Z(ms)
José	34	18	10
Pedro	38	21	13

3.2. Pergunta 2 - Agregação

3.2.1. SQL query

```
SELECT TIPO, SUM(HORAS_TURN0 * TURNOS) FROM XTIPOSAULA
JOIN XOCORRENCIAS
  ON (XOCORRENCIAS.CODIGO = XTIPOSAULA.CODIGO
      AND XOCORRENCIAS.ANO_LETIVO = XTIPOSAULA.ANO_LETIVO
      AND XOCORRENCIAS.PERIODO = XTIPOSAULA.PERIODO)
JOIN XUCS
  ON XTIPOSAULA.CODIGO = XUCS.CODIGO
WHERE XTIPOSAULA.ANO_LETIVO = '2004/2005'
      AND XUCS.CURSO = 233
GROUP BY TIPO;
```

3.2.2. Resposta

TIPO	SUM(HORAS_TURN0*TURNOS)
1 P	581,5
2 TP	697,5
3 T	308

3.2.3. Plano de Execução

Pelos planos de execução obtidos para os ambientes X e Y, existe uma redução considerável no custo de execução da query devido ao facto da indexação de chaves primárias e estrangeiras, o que neste caso provoca a eliminação de FULL TABLE ACCESS à tabela OCORRENCIAS (cost: 483).

Para o ambiente Z, são criados os índices IX_ZTIPOSAULA_ANOLETIVO e IX_ZUCS_CURSO e é utilizado o IX_ZTIPOSAULA_CODIGO_ANOLETIVO_PERIODO da questão anterior (1), que eliminam os FULL ACCESS SCAN existentes no ambiente Y, reduzindo ainda mais o custo de execução.

```
CREATE INDEX IX_ZTIPOSAULA_ANOLETIVO
ON ZTIPOSAULA(ANO_LETIVO);
```

```
CREATE BITMAP INDEX IX_ZUCS_CURSO
```

ON ZUCS(CURSO);

OPERATION	OBJECT_NAME	OPTIONS	CARDINALITY	COST
SELECT STATEMENT			5	50
HASH		GROUP BY	5	50
NESTED LOOPS			24	49
HASH JOIN			53	49
Access Predicates				
YTIPOSAULA.CODIGO=ITEM_1				
VIEW	SYS.VW_GBF_10		47	13
TABLE ACCESS	YUCS	FULL	47	13
Filter Predicates				
YUCS.CURSO=233				
TABLE ACCESS	YTIPOSAULA	FULL	1106	36
Filter Predicates				
YTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2004/2005'				
INDEX	SYS_C0056121	UNIQUE SCAN	1	0
Access Predicates				
AND				
YOCORRENCIAS.CODIGO=YTIPOSAULA.CODIGO				
YOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2004/2005'				
YOCORRENCIAS.PERIODO=YTIPOSAULA.PERIODO				

OPERATION	OBJECT_NAME	OPTIONS	CARDINALITY	COST
SELECT STATEMENT			5	643
HASH		GROUP BY	5	643
HASH JOIN			24	642
Access Predicates				
AND				
XOCORRENCIAS.CODIGO=XTIPOSAULA.CODIGO				
XOCORRENCIAS.ANO_LETIVO=XTIPOSAULA.ANO_LETIVO				
XOCORRENCIAS.PERIODO=XTIPOSAULA.PERIODO				
HASH JOIN			54	49
Access Predicates				
XTIPOSAULA.CODIGO=XUCS.CODIGO				
TABLE ACCESS	XUCS	FULL	47	13
Filter Predicates				
XUCS.CURSO=233				
TABLE ACCESS	XTIPOSAULA	FULL	1106	36
Filter Predicates				
XTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2004/2005'				
TABLE ACCESS	XOCORRENCIAS	FULL	483	593
Filter Predicates				
XOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2004/2005'				

OPERATION	OBJECT_NAME	OPTIONS	CARDINALITY	COST
SELECT STATEMENT			5	31
HASH				
HASH JOIN		GROUP BY	5	31
Access Predicates			24	30
ZTIPOSAULA.CODIGO=ITEM_1			53	30
NESTED LOOPS				
STATISTICS COLLECTOR			53	30
VIEW	SYS.VW_GBF_10		47	7
TABLE ACCESS	ZUCS	BY INDEX ROWID BATCHED	47	7
BITMAP CONVERSION		TO ROWIDS		
BITMAP INDEX	IX_ZUCS_CURSO	SINGLE VALUE		
Access Predicates				
ZUCS.CURSO=233				
TABLE ACCESS	ZTIPOSAULA	BY INDEX ROWID BATCHED	1	23
INDEX	IX_ZTIPOSAULA_CODIGO_ANOLETIV...	RANGE SCAN	1106	4
Access Predicates				
AND				
ZTIPOSAULA.CODIGO=ITEM_1				
ZTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2004/2005'				
TABLE ACCESS	ZTIPOSAULA	BY INDEX ROWID BATCHED	1106	23
INDEX	IX_ZTIPOSAULA_ANOLETIVO	RANGE SCAN	1106	4
Access Predicates				
ZTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2004/2005'				
INDEX	SYS_C0056126	UNIQUE SCAN	1	0
Access Predicates				
AND				
ZOCORRENCIAS.CODIGO=ZTIPOSAULA.CODIGO				
ZOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2004/2005'				
ZOCORRENCIAS.PERIODO=ZTIPOSAULA.PERIODO				

3.2.4. Tempos de Execução

Para além da redução ao nível do custo no plano de execução, também se nota uma redução nos tempos de execução devido à introdução de chaves primárias e estrangeiras de X para Y, e à introdução de outros índices de Y para Z.

	X(ms)	Y(ms)	Z(ms)
José	40	26	17
Pedro	47	32	21

3.3. Pergunta 3 - A

3.3.1. SQL query

```
SELECT DISTINCT XUCS.CODIGO FROM XUCS
JOIN XOCORRENCIAS
ON XOCORRENCIAS.CODIGO = XUCS.CODIGO
WHERE ANO_LETIVO = '2003/2004'
AND XUCS.CODIGO NOT IN
(SELECT DISTINCT CODIGO
FROM XTIPOSAULA
JOIN XDSD
ON XTIPOSAULA.ID = XDSD.ID
WHERE ANO_LETIVO = '2003/2004');
```

3.3.2. Resposta

CODIGO	CODIGO	CODIGO	CODIGO	CODIGO	CODIGO	CODIGO
1 MEMT1000	23 EI1107	45 MDI1108	67 MVC1211	89 MPPAU2216	111 EEC2207	132 MEMT120
2 MEMT100	24 MPFCA106	46 MPPAU2217	68 MEA112	90 MEM163	112 EIC4224	133 MPPAU1115
3 EQ418	25 EIC4225	47 MPFCA101	69 MEA217	91 MEM175	113 EIC5129	134 MPFCA102
4 MTM108	26 CI014	48 MPFCA205	70 MEA320	92 MEM184	114 CI019	135 MPFCA203
5 MEMT131	27 CI018	49 EIC5127	71 MEMT106	93 MEM188	115 CI002	136 CI003
6 MEEC1053	28 CI007	50 MTM115	72 EC5287	94 MEM191	116 CI025	137 CI004
7 MEM157	29 CI017	51 EMM528	73 MDI1106	95 MEA415	117 CI037	138 CI013
8 MEM181	30 CI008	52 MTM110	74 MPPAU2219	96 EIC4223	118 MEB105	
9 MDI1205	31 MEA412	53 MEAM5000	75 MPFCA105	97 EIC5122	119 EQ308	
10 MPFCA103	32 MTM111	54 EC5280	76 MPFCA107	98 EIC5123	120 MPPAU2218	
11 MPFCA204	33 MDI1105	55 MPFCA100	77 MPFCA201	99 CI023	121 MPPAU1112	
12 EIC4220	34 MDI1103	56 MPFCA104	78 MPFCA202	100 CI009	122 EEC5272	
13 EIC4221	35 MEMT2000	57 MPFCA200	79 MPFCA206	101 MEM1205	123 MEM5000	
14 EIC4222	36 MEAM1312	58 EC5200	80 EIC5125	102 GEI512	124 MEM158	
15 CI027	37 MEMT135	59 EEC5022	81 EIC5126	103 MEMT105	125 MEM182	
16 MEMT107	38 MPPAU1113	60 EIC5124	82 CI038	104 MTM104	126 MEM183	
17 MEMT102	39 EIC3209	61 CI020	83 MEB205	105 MEAM1314	127 MEA216	
18 MEAM1310	40 MEM179	62 CI016	84 EQ407	106 EQ411	128 MEA319	
19 MPPAU2215	41 MEA215	63 CI011	85 MDI1204	107 MDI1207	129 MEST210	
20 MEM187	42 MEA414	64 MTM114	86 MDI1100	108 MDI1209	130 MEMT110	
21 MEM189	43 MDI1107	65 MPPAU1114	87 MFAMF1108	109 MEB204	131 MDI1206	
22 MEA219	44 MDI1208	66 MEM180	88 MPPAU2220	110 MMCCE1220	132 MEMT120	

3.3.3. Plano de Execução

Pelos planos de execução obtidos para os ambientes X e Y, existe uma redução considerável no custo de execução da *query* devido ao facto da indexação de chaves primárias e estrangeiras, o que neste caso provoca a eliminação de FULL TABLE ACCESS à tabela OCORRENCIAS (cost: 593).

Para o ambiente Z, é utilizado o IX_ZTIPOSAULA_ANOLETIVO da questão anterior (2), que eliminam os FULL ACCESS SCAN existentes no ambiente Y, reduzindo ainda mais o custo de execução. Posteriormente é criado o índice IX_ZDSD_ID para evitar usar a chave primária da tabela DSD (NR, ID), reduzindo novamente o custo de execução.

```
CREATE INDEX IX_ZDSD_ID
ON ZDSD(ID);
```

OPERATION	OBJECT_NAME	OPTIONS	CARDINALITY	COST
SELECT STATEMENT			464	670
HASH		UNIQUE	464	670
HASH JOIN		ANTI	464	669
Access Predicates				
XUCS.CODIGO=CODIGO				
HASH JOIN		RIGHT SEMI	464	606
Access Predicates				
XOCORRENCIAS.CODIGO=XUCS.CODIGO				
TABLE ACCESS	XOCORRENCIAS	FULL	483	593
Filter Predicates				
XOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2003/2004'				
TABLE ACCESS	XUCS	FULL	5396	13
VIEW	SYS.VW_NSO_1		1106	63
HASH JOIN		SEMI	1106	63
Access Predicates				
XTIPOSAULA.ID=XDSD.ID				
TABLE ACCESS	XTIPOSAULA	FULL	1106	36
Filter Predicates				
XTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2003/2004'				
TABLE ACCESS	XDSD	FULL	27385	27

OPERATION	OBJECT_NAME	OPTIONS	CARDINALITY	COST
SELECT STATEMENT			1	86
HASH		UNIQUE	1	86
HASH JOIN		RIGHT ANTI	10	85
Access Predicates				
YOCORRENCIAS.CODIGO=CODIGO				
VIEW	SYS.VW_NSO_1		1106	58
HASH JOIN		SEMI	1106	58
Access Predicates				
YTIPOSAULA.ID=YDSD.ID				
TABLE ACCESS	YTIPOSAULA	FULL	1106	36
Filter Predicates				
YTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2003/2004'				
INDEX	SYS_C0056271	FAST FULL SCAN	27385	22
INDEX	SYS_C0056121	FAST FULL SCAN	1028	27
Filter Predicates				
YOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2003/2004'				

OPERATION	OBJECT_NAME	OPTIONS	CARDINALITY	COST
SELECT STATEMENT			1	77
HASH		UNIQUE	1	77
HASH JOIN		ANTI	10	76
Access Predicates ZOCORRENCIAS.CODIGO=CODIGO				
INDEX	SYS_C0056126	FAST FULL SCAN	1028	27
Filter Predicates ZOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2003/2004'				
VIEW	SYS.VW_NSQ_1		1588	49
HASH JOIN		SEMI	1588	49
Access Predicates ZTIPOSAULA.ID=ZDSD.ID				
TABLE ACCESS	ZTIPOSAULA	BY INDEX ROWID BATCHED	1588	31
INDEX	IX_ZTIPOSAULA_ANOLETIVO	RANGE SCAN	1588	5
Access Predicates ZTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2003/2004'				
INDEX	IX_ZDSD_ID	FAST FULL SCAN	27385	18

3.3.4. Tempos de Execução

Para além da redução ao nível do custo no plano de execução, também se nota uma redução nos tempos de execução devido à introdução de chaves primárias e estrangeiras de X para Y, e à introdução de outros índices de Y para Z.

	X(ms)	Y(ms)	Z(ms)
José	72	35	26
Pedro	79	40	29

3.4. Pergunta 3 - B

3.4.1. SQL query

```

CREATE OR REPLACE VIEW CODIGOS AS
SELECT DISTINCT CODIGO FROM XTIPOSAULA
JOIN XDSD
    ON XTIPOSAULA.ID = XDSD.ID
WHERE ANO_LETIVO = '2003/2004';

SELECT DISTINCT XUCS.CODIGO FROM XUCS
JOIN XOCORRENCIAS
    ON XOCORRENCIAS.CODIGO = XUCS.CODIGO
    AND ANO_LETIVO='2003/2004'
FULL OUTER JOIN CODIGOS
    ON CODIGOS.CODIGO=XUCS.CODIGO

```


WHERE CODIGOS.CODIGO IS NULL AND XUCS.CODIGO IS NOT NULL;

3.4.2. Resposta

❖ CODIGO	❖ CODIGO	❖ CODIGO	❖ CODIGO
1 EQ418	38 EIC5127	75 MEA112	112 EIC4224
2 MEMT131	39 MEM179	76 MPFCA201	113 MMCCE1220
3 EIC4221	40 MEA414	77 MTM114	114 CI019
4 MEM157	41 MEAM1312	78 MPFCA206	115 GEI512
5 MEEC1053	42 MDI1108	79 MPPAU2219	116 MDI1209
6 EIC4222	43 MDI1103	80 EC5287	117 EIC5129
7 EIC4220	44 MTM111	81 MPFCA107	118 MPPAU1112
8 MDI1205	45 MEMT135	82 MEM180	119 MPPAU2218
9 MEM181	46 MPFCA205	83 EIC5122	120 MEA216
10 CI027	47 EIC3209	84 EIC5123	121 MDI1206
11 MPFCA103	48 MPFCA101	85 MEA415	122 MEA319
12 MPFCA204	49 MPPAU1113	86 EIC4223	123 CI013
13 MEMT1000	50 EC5280	87 MEM184	124 MEST210
14 MEMT100	51 MPFCA104	88 EQ407	125 MEM5000
15 MTM108	52 CI011	89 MEM175	126 EEC5272
16 MEM189	53 MTM110	90 CI009	127 MEM183
17 MEA219	54 MPFCA100	91 MPPAU2220	128 CI003
18 CI017	55 EC5200	92 MEM163	129 MEM158
19 MEMT107	56 MTM115	93 CI023	130 MEM182
20 EIC4225	57 EIC5124	94 MEM191	131 MEB105
21 MEM187	58 EEC5022	95 MEB205	132 MEMT120
22 EI1107	59 MEAM5000	96 MPPAU2216	133 CI004
23 CI014	60 MPFCA200	97 MDI1204	134 MPFCA203
24 MEMT102	61 CI020	98 MDI1100	135 EQ308
25 MPPAU2215	62 EMM528	99 MFAMF1108	136 MPFCA102
26 CI008	63 CI016	100 MEM188	137 MPPAU1115
27 MPFCA106	64 MVC1211	101 MEAM1314	138 MEMT110
28 MEAM1310	65 EIC5126	102 CI002	
29 CI018	66 MPPAU1114	103 MEM1205	
30 CI007	67 MEA217	104 EQ411	
31 MEA215	68 EIC5125	105 EEC2207	
32 MDI1105	69 MPFCA202	106 MDI1207	
33 MDI1107	70 MEMT106	107 MEB204	
34 MEA412	71 MDI1106	108 MEMT105	
35 MEMT2000	72 CI038	109 CI037	
36 MDI1208	73 MPFCA105	110 CI025	
37 MPPAU2217	74 MEA320	111 MTM104	

3.4.3. Plano de Execução

Comparando esta alínea com a anterior, os custos de execução são semelhantes (diferença apenas 1 valor). Podemos verificar que os índices utilizados são os mesmos da questão anterior (3a), ou seja são utilizados os índices IX_ZTIPOSAULA_ANOLETIVO e IX_ZDSD_ID. Apesar de as queries utilizadas serem diferentes em 3a e 3b, o plano de execução é bastante semelhante.

OPERATION	OBJECT_NAME	OPTIONS	CARDINALITY	COST
SELECT STATEMENT			464	671
HASH		UNIQUE	464	671
HASH JOIN		ANTI	464	670
Access Predicates				
CODIGOS.CODIGO=XUCS.CODIGO				
JOIN FILTER	SYS.:BF0000	CREATE	464	606
HASH JOIN		RIGHT SEMI	464	606
Access Predicates				
XOCORRENCIAS.CODIGO=XUCS.CODIGO				
TABLE ACCESS	XOCORRENCIAS	FULL	483	593
Filter Predicates				
ANO_LETIVO='2003/2004'				
TABLE ACCESS	XUCS	FULL	5396	13
VIEW	CODIGOS		973	64
HASH		UNIQUE	973	64
JOIN FILTER	SYS.:BF0000	USE	1106	63
HASH JOIN		SEMI	1106	63
Access Predicates				
XTIPOSAULA.ID=XDSD.ID				
TABLE ACCESS	XTIPOSAULA	FULL	1106	36
Filter Predicates				
XTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2003/2004'				
TABLE ACCESS	XDSD	FULL	27385	27

SELECT STATEMENT			1	87
HASH		UNIQUE	1	87
HASH JOIN		RIGHT ANTI	10	86
Access Predicates				
CODIGOS.CODIGO=YOCORRENCIAS.CODIGO				
VIEW	CODIGOS		973	59
HASH		UNIQUE	973	59
HASH JOIN		SEMI	1106	58
Access Predicates				
YTIPOSAULA.ID=YDSD.ID				
TABLE ACCESS	YTIPOSAULA	FULL	1106	36
Filter Predicates				
YTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2003/2004'				
INDEX	SYS_C0056271	FAST FULL SCAN	27385	22
Filter Predicates				
ANO_LETIVO='2003/2004'				
INDEX	SYS_C0056121	FAST FULL SCAN	1028	27

OPERATION	OBJECT_NAME	OPTIONS	CARDINALITY	COST
SELECT STATEMENT			1	78
HASH		UNIQUE	1	78
HASH JOIN		ANTI	10	77
Access Predicates				
CODIGOS.CODIGO=ZOCORRENCIAS.CODIGO				
INDEX	SYS_C0056126	FAST FULL SCAN	1028	27
Filter Predicates				
ANO_LETIVO='2003/2004'				
VIEW	CODIGOS		1322	50
HASH		UNIQUE	1322	50
HASH JOIN		SEMI	1588	49
Access Predicates				
ZTIPOSAULA.ID=ZDSD.ID				
TABLE ACCESS	ZTIPOSAULA	BY INDEX ROWID BATCHED	1588	31
INDEX	IX_ZTIPOSAULA_ANOLETIVO	RANGE SCAN	1588	5
Access Predicates				
ZTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2003/2004'				
INDEX	IX_ZDSD_ID	FAST FULL SCAN	27385	18

3.4.4. Tempos de Execução

Para além da redução ao nível do custo no plano de execução, também se nota uma redução nos tempos de execução devido à introdução de chaves primárias e estrangeiras de X para Y, e à introdução de outros índices de Y para Z. Comparando com a alínea 3a, verifica-se uma redução considerável nos três ambientes, principalmente no ambiente X.

	X(ms)	Y(ms)	Z(ms)
José	26	19	17
Pedro	28	20	19

3.5. Pergunta 4

3.5.1. SQL query

```
CREATE OR REPLACE VIEW HORAS_POR_PROF AS
SELECT XDOCENTES.NR, NOME, TIPO, SUM(HORAS * FATOR) AS TOTAL FROM
XDOCENTES
JOIN XDSD
    ON XDSD.NR = XDOCENTES.NR
JOIN XTIPOSAULA
    ON XTIPOSAULA.ID = XDSD.ID
WHERE XTIPOSAULA.ANO_LETIVO = '2003/2004'
GROUP BY XDOCENTES.NR, NOME, TIPO;
```

```
CREATE OR REPLACE VIEW MAX_HORAS_TIPO AS
SELECT TIPO, MAX(TOTAL) AS MAXIMO FROM HORAS_POR_PROF
GROUP BY TIPO;
```

```
SELECT NR, NOME, MAX_HORAS_TIPO.TIPO, MAX_HORAS_TIPO.MAXIMO AS
TOTAL FROM HORAS_POR_PROF
JOIN MAX_HORAS_TIPO
    ON (MAX_HORAS_TIPO.TIPO = HORAS_POR_PROF.TIPO
    AND MAX_HORAS_TIPO.MAXIMO = HORAS_POR_PROF.TOTAL);
```

3.5.2. Resposta

	NR	NOME	TIPO	TOTAL
1	249564	Cecília do Carmo Ferreira da Silva	TP	26
2	210006	João Carlos Pascoal de Faria	OT	3.5
3	208187	António Almerindo Pinheiro Vieira	P	30
4	207638	Fernando Francisco Machado Veloso Gomes	T	30.67

3.5.3. Plano de Execução

Pelos planos de execução obtidos para os ambientes X e Y, não existe redução no custo de execução devido ao facto de nenhum dos *JOIN* utilizar chaves primárias das tabelas pesquisadas.

Para o ambiente Z, são utilizados os índices *IX_ZTIPOSAULA_ANOLETIVO* e *IX_ZDSD_ID* já criados nas questões anteriores, para junção das tabelas *DSD* e *TIPOSAULA* e na condição de *TIPOSAULA.ANOLETIVO*.

OPERATION	OBJECT_NAME	OPTIONS	CARDINALITY	COST
SELECT STATEMENT			18	139
HASH JOIN			18	139
Access Predicates				
AND				
MAX_HORAS_TIPO=HORAS_POR_PROF.TIPO				
MAX_HORAS_TIPO.MAXIMO=HORAS_POR_PROF.TOTAL				
VIEW	MAX_HORAS_TIPO		5	69
HASH		GROUP BY	5	69
VIEW	HORAS_POR_PROF		1790	69
HASH		GROUP BY	1790	69
HASH JOIN			1790	68
Access Predicates				
XDSD.NR=XDOCENTES.NR				
TABLE ACCESS	XDOCENTES	FULL	939	5
HASH JOIN			1790	63
Access Predicates				
XTIPOSAULA.ID=XDSD.ID				
TABLE ACCESS	XTIPOSAULA	FULL	1106	36
Filter Predicates				
XTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2003/2004'				
TABLE ACCESS	XDSD	FULL	27385	27
VIEW				
HASH	HORAS_POR_PROF	GROUP BY	1790	69
HASH JOIN			1790	69
Access Predicates				
XDSD.NR=XDOCENTES.NR				
TABLE ACCESS	XDOCENTES	FULL	939	5
HASH JOIN			1790	63
Access Predicates				
XTIPOSAULA.ID=XDSD.ID				
TABLE ACCESS	XTIPOSAULA	FULL	1106	36
Filter Predicates				
XTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2003/2004'				
TABLE ACCESS	XDSD	FULL	27385	27

OPERATION	OBJECT_NAME	OPTIONS	CARDINALITY	COST
SELECT STATEMENT			18	139
HASH JOIN			18	139
Access Predicates				
AND				
MAX_HORAS_TIPO=HORAS_POR_PROF.TIPO				
MAX_HORAS_TIPO.MAXIMO=HORAS_POR_PROF.TOTAL				
VIEW	MAX_HORAS_TIPO		5	69
HASH		GROUP BY	5	69
VIEW	HORAS_POR_PROF		1790	69
HASH		GROUP BY	1790	69
HASH JOIN			1790	68
Access Predicates				
YDSD.NR=YDOCENTES.NR				
TABLE ACCESS	YDOCENTES	FULL	939	5
HASH JOIN			1790	63
Access Predicates				
YTIPOSAULA.ID=YDSD.ID				
TABLE ACCESS	YTIPOSAULA	FULL	1106	36
Filter Predicates				
YTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2003/2004'				
TABLE ACCESS	YDSD	FULL	27385	27
VIEW				
HASH	HORAS_POR_PROF	GROUP BY	1790	69
HASH JOIN			1790	69
Access Predicates				
YDSD.NR=YDOCENTES.NR				
TABLE ACCESS	YDOCENTES	FULL	939	5
HASH JOIN			1790	63
Access Predicates				
YTIPOSAULA.ID=YDSD.ID				
TABLE ACCESS	YTIPOSAULA	FULL	1106	36
Filter Predicates				
YTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2003/2004'				
TABLE ACCESS	YDSD	FULL	27385	27

OPERATION	OBJECT_NAME	OPTIONS	CARDINALITY	COST
<ul style="list-style-type: none"> SELECT STATEMENT <ul style="list-style-type: none"> HASH JOIN <ul style="list-style-type: none"> Access Predicates <ul style="list-style-type: none"> AND <ul style="list-style-type: none"> MAX_HORAS_TIPO TIPO=HORAS_POR_PROF.TIPO MAX_HORAS_TIPO MAXIMO=HORAS_POR_PROF.TOTAL VIEW <ul style="list-style-type: none"> HASH <ul style="list-style-type: none"> VIEW <ul style="list-style-type: none"> HASH <ul style="list-style-type: none"> HASH JOIN <ul style="list-style-type: none"> Access Predicates <ul style="list-style-type: none"> ZDSD.NR=ZDOCENTES.NR TABLE ACCESS <ul style="list-style-type: none"> HASH JOIN <ul style="list-style-type: none"> Access Predicates <ul style="list-style-type: none"> ZTIPOSAULA.ID=ZDSD.ID NESTED LOOPS <ul style="list-style-type: none"> NESTED LOOPS <ul style="list-style-type: none"> STATISTICS COLLECTOR TABLE ACCESS <ul style="list-style-type: none"> INDEX <ul style="list-style-type: none"> Access Predicates <ul style="list-style-type: none"> ZTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2003/2004' INDEX <ul style="list-style-type: none"> Access Predicates <ul style="list-style-type: none"> ZTIPOSAULA.ID=ZDSD.ID TABLE ACCESS <ul style="list-style-type: none"> TABLE ACCESS VIEW <ul style="list-style-type: none"> HASH <ul style="list-style-type: none"> HASH JOIN <ul style="list-style-type: none"> Access Predicates <ul style="list-style-type: none"> ZDSD.NR=ZDOCENTES.NR TABLE ACCESS <ul style="list-style-type: none"> HASH JOIN <ul style="list-style-type: none"> Access Predicates <ul style="list-style-type: none"> ZTIPOSAULA.ID=ZDSD.ID NESTED LOOPS <ul style="list-style-type: none"> NESTED LOOPS <ul style="list-style-type: none"> STATISTICS COLLECTOR TABLE ACCESS <ul style="list-style-type: none"> INDEX <ul style="list-style-type: none"> Access Predicates <ul style="list-style-type: none"> ZTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2003/2004' INDEX <ul style="list-style-type: none"> Access Predicates <ul style="list-style-type: none"> ZTIPOSAULA.ID=ZDSD.ID TABLE ACCESS <ul style="list-style-type: none"> TABLE ACCESS 			26	129
			26	129
	MAX_HORAS_TIPO		5	64
		GROUP BY	5	64
	HORAS_POR_PROF		2570	64
		GROUP BY	2570	64
			2570	63
	ZDOCENTES	FULL	939	5
			2570	58
			2570	58
	ZTIPOSAULA	BY INDEX ROWID BATCHED	1588	31
	IX_ZTIPOSAULA_ANOLETIVO	RANGE SCAN	1588	5
	IX_ZDSD_ID	RANGE SCAN		
	ZDSD	BY INDEX ROWID	2	27
	ZDSD	FULL	27385	27
	HORAS_POR_PROF		2570	64
		GROUP BY	2570	64
			2570	63
	ZDOCENTES	FULL	939	5
			2570	58
			2570	58
	ZTIPOSAULA	BY INDEX ROWID BATCHED	1588	31
	IX_ZTIPOSAULA_ANOLETIVO	RANGE SCAN	1588	5
	IX_ZDSD_ID	RANGE SCAN		
	ZDSD	BY INDEX ROWID	2	27
	ZDSD	FULL	27385	27

3.5.4. Tempos de Execução

Após a análise realizada, podemos observar a eficiência nos tempos de execução da query no ambiente Z. Os tempos de execução nos ambientes X e Y são aproximadamente os mesmos, mas no ambiente Z a query é ligeiramente mais rápida.

	X(ms)	Y(ms)	Z(ms)
José	22	24	20
Pedro	24	27	21

3.6. Pergunta 5 - A

3.6.1.1. SQL query

```
DROP INDEX IX_XTIPOSAULA_TIPO_ANOLETIVO;  
CREATE INDEX IX_XTIPOSAULA_TIPO_ANOLETIVO ON XTIPOSAULA  
(TIPO,ANO_LETIVO);  
  
SELECT XOCORRENCIAS.CODIGO, XOCORRENCIAS.ANO_LETIVO,  
XOCORRENCIAS.PERIODO, XTIPOSAULA.TURNOS *  
XTIPOSAULA.HORAS_TURNO AS NUMBER_OF_HOURS FROM XOCORRENCIAS  
JOIN XTIPOSAULA  
ON XOCORRENCIAS.CODIGO = XTIPOSAULA.CODIGO  
AND XOCORRENCIAS.ANO_LETIVO = XTIPOSAULA.ANO_LETIVO  
WHERE (XTIPOSAULA.ANO_LETIVO = '2002/2003'  
OR XTIPOSAULA.ANO_LETIVO = '2003/2004')  
AND XTIPOSAULA.TIPO = 'OT';
```

3.6.1.2. Resposta

	⚡ CODIGO	⚡ ANO_LETIVO	⚡ PERIODO	⚡ NUMBER_OF_HOURS
1	EIC5202	2002/2003	2S	27
2	EIC5202	2003/2004	2S	24

3.6.1.3. Plano de Execução

Pelos planos de execução obtidos para os ambientes X e Y, apesar da criação do índice *B-Tree* IX_XTIPOSAULA_TIPO_ANOLETIVO, existe uma redução considerável no custo de execução da *query* devido ao facto da indexação de chaves primárias e estrangeiras, o que neste caso provoca a eliminação de FULL TABLE ACCESS à tabela OCORRENCIAS (cost: 593).

Para o ambiente Z, é criado o índice *B-Tree* IX_ZTIPOSAULA_TIPO_ANOLETIVO (semelhante ao usado no ambiente X), que elimina o FULL ACCESS SCAN à tabela TIPOSAULA.

```
CREATE INDEX IX_ZTIPOSAULA_TIPO_ANOLETIVO  
ON ZTIPOSAULA(TIPO, ANO_LETIVO);  
CREATE INDEX IX_XTIPOSAULA_TIPO_ANOLETIVO  
ON XTIPOSAULA(TIPO, ANO_LETIVO);
```

OPERATION	OBJECT_NAME	OPTIONS	CARDINALITY	COST
SELECT STATEMENT			618	622
HASH JOIN			618	622
Access Predicates				
AND				
XOCORRENCIAS.CODIGO=XTIPOSAULA.CODIGO				
XOCORRENCIAS.ANO_LETIVO=XTIPOSAULA.ANO_LETIVO				
INLIST ITERATOR				
TABLE ACCESS	XTIPOSAULA	BY INDEX ROWID BATCHED	618	30
INDEX	IX_XTIPOSAULA_TIPO_ANOLETIVO	RANGE SCAN	618	5
Access Predicates				
AND				
XTIPOSAULA.TIPO='OT'				
OR				
XTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2002/2003'				
XTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2003/2004'				
TABLE ACCESS	XOCORRENCIAS	FULL	967	593
Filter Predicates				
OR				
XOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2002/2003'				
XOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2003/2004'				

OPERATION	OBJECT_NAME	OPTIONS	CARDINALITY	COST
SELECT STATEMENT			442	63
HASH JOIN			442	63
Access Predicates				
AND				
YOCORRENCIAS.CODIGO=YTIPOSAULA.CODIGO				
YOCORRENCIAS.ANO_LETIVO=YTIPOSAULA.ANO_LETIVO				
NESTED LOOPS			442	63
STATISTICS COLLECTOR				
TABLE ACCESS	YTIPOSAULA	FULL	443	36
Filter Predicates				
AND				
YTIPOSAULA.TIPO='OT'				
OR				
YTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2002/2003'				
YTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2003/2004'				
INDEX	SYS_C0056121	RANGE SCAN	1	27
Access Predicates				
AND				
YOCORRENCIAS.CODIGO=YTIPOSAULA.CODIGO				
YOCORRENCIAS.ANO_LETIVO=YTIPOSAULA.ANO_LETIVO				
Filter Predicates				
OR				
YOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2002/2003'				
YOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2003/2004'				
INDEX	SYS_C0056121	FAST FULL SCAN	2001	27
Filter Predicates				
OR				
YOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2002/2003'				
YOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2003/2004'				

OPERATION	OBJECT_NAME	OPTIONS	CARDINALITY	COST
SELECT STATEMENT			613	56
HASH JOIN			613	56
Access Predicates				
AND				
ZOCORRENCIAS.CODIGO=ZTIPOSAULA.CODIGO				
ZOCORRENCIAS.ANO_LETIVO=ZTIPOSAULA.ANO_LETIVO				
NESTED LOOPS			613	56
STATISTICS COLLECTOR				
INLIST ITERATOR				
TABLE ACCESS	ZTIPOSAULA	BY INDEX ROWID BATCHED	613	29
INDEX	IX_ZTIPOSAULA_TIPO_ANOLETIVO	RANGE SCAN	613	4
Access Predicates				
AND				
ZTIPOSAULA.TIPO='OT'				
OR				
ZTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2002/2003'				
ZTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2003/2004'				
INDEX	SYS_C0056126	RANGE SCAN	1	27
Access Predicates				
AND				
ZOCORRENCIAS.CODIGO=ZTIPOSAULA.CODIGO				
ZOCORRENCIAS.ANO_LETIVO=ZTIPOSAULA.ANO_LETIVO				
Filter Predicates				
OR				
ZOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2002/2003'				
ZOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2003/2004'				
INDEX	SYS_C0056126	FAST FULL SCAN	2001	27
Filter Predicates				
OR				
ZOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2002/2003'				
ZOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2003/2004'				

3.6.1.4. Tempos de Execução

Para além da redução ao nível do custo no plano de execução, também se nota uma redução nos tempos de execução devido à introdução de chaves primárias e estrangeiras de X para Y, e à introdução de outros índices de Y para Z.

	X(ms)	Y(ms)	Z(ms)
José	42	28	23
Pedro	46	31	26

3.7. Pergunta 5 - B

3.7.1. SQL query

```
DROP INDEX IX_XTIPOSAULA_TIPO_ANOLETIVO;  
CREATE BITMAP INDEX IX_XTIPOSAULA_TIPO_ANOLETIVO ON XTIPOSAULA  
(TIPO,ANO_LETIVO);  
  
SELECT XOCORRENCIAS.CODIGO, XOCORRENCIAS.ANO_LETIVO,  
XOCORRENCIAS.PERIODO, XTIPOSAULA.TURNOS *  
XTIPOSAULA.HORAS_TURNO AS NUMBER_OF_HOURS FROM XOCORRENCIAS  
JOIN XTIPOSAULA  
ON XOCORRENCIAS.CODIGO = XTIPOSAULA.CODIGO  
AND XOCORRENCIAS.ANO_LETIVO = XTIPOSAULA.ANO_LETIVO  
WHERE (XTIPOSAULA.ANO_LETIVO = '2002/2003'  
OR XTIPOSAULA.ANO_LETIVO = '2003/2004')  
AND XTIPOSAULA.TIPO = 'OT';
```

3.7.2. Resposta

	⚡ CODIGO	⚡ ANO_LETIVO	⚡ PERIODO	⚡ NUMBER_OF_HOURS
1	EIC5202	2002/2003	25	27
2	EIC5202	2003/2004	25	24

3.7.3. Plano de Execução

Pelos planos de execução obtidos para os ambientes X e Y, apesar da criação do índice *Bitmap* IX_XTIPOSAULA_TIPO_ANOLETIVO, existe uma redução considerável no custo de execução da *query* devido ao facto da indexação de chaves primárias e estrangeiras, o que neste caso provoca a eliminação de FULL TABLE ACCESS à tabela OCORRENCIAS (cost: 593).

Para o ambiente Z, é utilizado o índice *B-Tree* IX_ZTIPOSAULA_TIPO_ANOLETIVO criado na alínea anterior (5a), que elimina o FULL ACCESS SCAN à tabela TIPOSAULA.

```
CREATE BITMAP INDEX IX_XTIPOSAULA_TIPO_ANOLETIVO  
ON XTIPOSAULA(TIPO, ANO_LETIVO);
```


OPERATION	OBJECT_NAME	OPTIONS	CARDINALITY	COST
SELECT STATEMENT			618	629
HASH JOIN			618	629
Access Predicates				
AND				
XOCORRENCIAS.CODIGO=XTIPOSAULA.CODIGO				
XOCORRENCIAS.ANO_LETIVO=XTIPOSAULA.ANO_LETIVO				
TABLE ACCESS	XTIPOSAULA	FULL	618	36
Filter Predicates				
AND				
XTIPOSAULA.TIPO='OT'				
OR				
XTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2002/2003'				
XTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2003/2004'				
TABLE ACCESS	XOCORRENCIAS	FULL	967	593
Filter Predicates				
OR				
XOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2002/2003'				
XOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2003/2004'				

OPERATION	OBJECT_NAME	OPTIONS	CARDINALITY	COST
SELECT STATEMENT			442	63
HASH JOIN			442	63
Access Predicates				
AND				
YOCORRENCIAS.CODIGO=YTIPOSAULA.CODIGO				
YOCORRENCIAS.ANO_LETIVO=YTIPOSAULA.ANO_LETIVO				
NESTED LOOPS			442	63
STATISTICS COLLECTOR				
TABLE ACCESS	YTIPOSAULA	FULL	443	36
Filter Predicates				
AND				
YTIPOSAULA.TIPO='OT'				
OR				
YTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2002/2003'				
YTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2003/2004'				
INDEX	SYS_C0056121	RANGE SCAN	1	27
Access Predicates				
AND				
YOCORRENCIAS.CODIGO=YTIPOSAULA.CODIGO				
YOCORRENCIAS.ANO_LETIVO=YTIPOSAULA.ANO_LETIVO				
Filter Predicates				
OR				
YOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2002/2003'				
YOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2003/2004'				
INDEX	SYS_C0056121	FAST FULL SCAN	2001	27
Filter Predicates				
OR				
YOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2002/2003'				
YOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2003/2004'				

OPERATION	OBJECT_NAME	OPTIONS	CARDINALITY	COST
SELECT STATEMENT			613	56
HASH JOIN			613	56
Access Predicates				
AND				
ZOCORRENCIAS.CODIGO=ZTIPOSAULA.CODIGO				
ZOCORRENCIAS.ANO_LETIVO=ZTIPOSAULA.ANO_LETIVO				
NESTED LOOPS			613	56
STATISTICS COLLECTOR				
INLIST ITERATOR				
TABLE ACCESS	ZTIPOSAULA	BY INDEX ROWID BATCHED	613	29
INDEX	IX_ZTIPOSAULA_TIPO_ANOLETIVO	RANGE SCAN	613	4
Access Predicates				
AND				
ZTIPOSAULA.TIPO='OT'				
OR				
ZTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2002/2003'				
ZTIPOSAULA.ANO_LETIVO='2003/2004'				
INDEX	SYS_C0056126	RANGE SCAN	1	27
Access Predicates				
AND				
ZOCORRENCIAS.CODIGO=ZTIPOSAULA.CODIGO				
ZOCORRENCIAS.ANO_LETIVO=ZTIPOSAULA.ANO_LETIVO				
Filter Predicates				
OR				
ZOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2002/2003'				
ZOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2003/2004'				
INDEX	SYS_C0056126	FAST FULL SCAN	2001	27
Filter Predicates				
OR				
ZOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2002/2003'				
ZOCORRENCIAS.ANO_LETIVO='2003/2004'				

3.7.4. Tempos de Execução

Para além da redução ao nível do custo no plano de execução, também se nota uma redução nos tempos de execução devido à introdução de chaves primárias e estrangeiras de X para Y, e à introdução de outros índices de Y para Z.

	X(ms)	Y(ms)	Z(ms)
José	26	18	6
Pedro	28	21	10

3.8. Pergunta 5 - Conclusão

Comparando os planos de execução e os tamanhos dos índices do ambiente X das alíneas a e b da pergunta 5, concluímos que o índice tipo B-Tree é mais eficiente que o índice Bitmap no caso de indexação nas colunas *TIPO* e *ANO_LETIVO* da tabela *TIPOSAULA*, devido ao facto da cardinalidade ser elevada. No caso do índice Bitmap, o índice não é utilizado, sendo preferido o FULL TABLE ACCESS à tabela *TIPOSAULA*.

3.9. Pergunta 6

3.9.1. SQL query

```
SELECT DISTINCT XUCS.CURSO FROM XUCS
WHERE
(EXISTS(
SELECT XTIPOSAULA.ID
FROM XTIPOSAULA
WHERE XTIPOSAULA.TIPO='P'
      AND XUCS.CODIGO=XTIPOSAULA.CODIGO)
AND EXISTS(
SELECT XTIPOSAULA.ID
FROM XTIPOSAULA
WHERE XTIPOSAULA.TIPO='TP'
      AND XUCS.CODIGO=XTIPOSAULA.CODIGO)
AND EXISTS(
SELECT XTIPOSAULA.ID
FROM XTIPOSAULA
WHERE XTIPOSAULA.TIPO='T'
      AND XUCS.CODIGO=XTIPOSAULA.CODIGO)
AND EXISTS(
SELECT XTIPOSAULA.ID
FROM XTIPOSAULA
WHERE XTIPOSAULA.TIPO='L'
      AND XUCS.CODIGO=XTIPOSAULA.CODIGO)
AND EXISTS(
SELECT XTIPOSAULA.ID
FROM XTIPOSAULA
WHERE XTIPOSAULA.TIPO='OT'
      AND XUCS.CODIGO=XTIPOSAULA.CODIGO)
);
```

3.9.2. Resposta

	CURSO
1	9461

3.9.3. Plano de Execução

Pelos planos de execução obtidos para os ambientes X e Y, não existe nenhuma alteração no custo devido ao facto de não serem utilizados os índices de chaves primárias.

Para o ambiente Z, é usado os índice IX_ZTIPOSAULA_CODIGO_ANOLETIVO_PERIODO, mas este não altera o custo de execução relativamente a Y e Z.

OPERATION	OBJECT_NAME	OPTIONS	CARDINALITY	COST
SELECT STATEMENT			114	195
HASH		UNIQUE	114	195
HASH JOIN		SEMI	143	194
Access Predicates				
XUCS.CODIGO=XTIPOSAULA.CODIGO				
HASH JOIN		SEMI	296	158
Access Predicates				
XUCS.CODIGO=XTIPOSAULA.CODIGO				
HASH JOIN		SEMI	612	122
Access Predicates				
XUCS.CODIGO=XTIPOSAULA.CODIGO				
HASH JOIN		SEMI	1264	85
Access Predicates				
XUCS.CODIGO=XTIPOSAULA.CODIGO				
HASH JOIN		RIGHT SEMI	2612	49
Access Predicates				
XUCS.CODIGO=XTIPOSAULA.CODIGO				
TABLE ACCESS	XTIPOSAULA	FULL	4204	36
Filter Predicates				
XTIPOSAULA.TIPO='OT'				
TABLE ACCESS	XUCS	FULL	5396	13
TABLE ACCESS	XTIPOSAULA	FULL	4204	36
Filter Predicates				
XTIPOSAULA.TIPO='L'				
TABLE ACCESS	XTIPOSAULA	FULL	4204	36
Filter Predicates				
XTIPOSAULA.TIPO='T'				
TABLE ACCESS	XTIPOSAULA	FULL	4204	36
Filter Predicates				
XTIPOSAULA.TIPO='TP'				
TABLE ACCESS	XTIPOSAULA	FULL	4204	36
Filter Predicates				
XTIPOSAULA.TIPO='P'				

OPERATION	OBJECT_NAME	OPTIONS	CARDINALITY	COST
SELECT STATEMENT			114	195
HASH		UNIQUE	114	195
HASH JOIN		SEMI	143	194
Access Predicates				
YUCS.CODIGO=YTIPOSAULA.CODIGO				
HASH JOIN		SEMI	296	158
Access Predicates				
YUCS.CODIGO=YTIPOSAULA.CODIGO				
HASH JOIN		SEMI	612	122
Access Predicates				
YUCS.CODIGO=YTIPOSAULA.CODIGO				
HASH JOIN		SEMI	1264	85
Access Predicates				
YUCS.CODIGO=YTIPOSAULA.CODIGO				
HASH JOIN		RIGHT SEMI	2612	49
Access Predicates				
YUCS.CODIGO=YTIPOSAULA.CODIGO				
TABLE ACCESS	YTIPOSAULA	FULL	4204	36
Filter Predicates				
YTIPOSAULA.TIPO='OT'				
TABLE ACCESS	YUCS	FULL	5396	13
TABLE ACCESS	YTIPOSAULA	FULL	4204	36
Filter Predicates				
YTIPOSAULA.TIPO='L'				
TABLE ACCESS	YTIPOSAULA	FULL	4204	36
Filter Predicates				
YTIPOSAULA.TIPO='T'				
TABLE ACCESS	YTIPOSAULA	FULL	4204	36
Filter Predicates				
YTIPOSAULA.TIPO='TP'				
TABLE ACCESS	YTIPOSAULA	FULL	4204	36
Filter Predicates				
YTIPOSAULA.TIPO='P'				

OPERATION	OBJECT_NAME	OPTIONS	CARDINALITY	COST
SELECT STATEMENT			114	195
HASH		UNIQUE	114	195
HASH JOIN		SEMI	143	194
Access Predicates				
ZUCS.CODIGO=ZTIPOSAULA.CODIGO				
NESTED LOOPS		SEMI	143	194
STATISTICS COLLECTOR				
HASH JOIN		SEMI	296	158
Access Predicates				
ZUCS.CODIGO=ZTIPOSAULA.CODIGO				
NESTED LOOPS		SEMI	296	158
STATISTICS COLLECTOR				
HASH JOIN		SEMI	612	122
Access Predicates				
ZUCS.CODIGO=ZTIPOSAULA.CODIGO				
NESTED LOOPS		SEMI	612	122
STATISTICS COLLECTOR				
HASH JOIN		SEMI	1264	85
Access Predicates				
ZUCS.CODIGO=ZTIPOSAULA.CODIGO				
NESTED LOOPS		SEMI	1264	85
STATISTICS COLLECTOR				
HASH JOIN		RIGHT SEMI	2612	49
Access Predicates				
ZUCS.CODIGO=ZTIPOSAULA.CODIGO				
TABLE ACCESS	ZTIPOSAULA	FULL	4204	36
Filter Predicates				
ZTIPOSAULA.TIPO=OT				
TABLE ACCESS	ZUCS	FULL	5396	13
Filter Predicates	ZTIPOSAULA	BY INDEX ROWID BATCHED	2035	36
ZTIPOSAULA.TIPO=L				
INDEX	IX_ZTIPOSAULA_CODIGO_ANOLETIVO_PERIODO	RANGE SCAN		
Access Predicates				
ZUCS.CODIGO=ZTIPOSAULA.CODIGO				
TABLE ACCESS	ZTIPOSAULA	FULL	4204	36
Filter Predicates				
ZTIPOSAULA.TIPO=L				
TABLE ACCESS	ZTIPOSAULA	BY INDEX ROWID BATCHED	2035	36
Filter Predicates				
ZTIPOSAULA.TIPO=T				
INDEX	IX_ZTIPOSAULA_CODIGO_ANOLETIVO_PERIODO	RANGE SCAN		
Access Predicates				
ZUCS.CODIGO=ZTIPOSAULA.CODIGO				
TABLE ACCESS	ZTIPOSAULA	FULL	4204	36
Filter Predicates				
ZTIPOSAULA.TIPO=T				
TABLE ACCESS	ZTIPOSAULA	BY INDEX ROWID BATCHED	2035	36
Filter Predicates				
ZTIPOSAULA.TIPO=TP				
INDEX	IX_ZTIPOSAULA_CODIGO_ANOLETIVO_PERIODO	RANGE SCAN		
Access Predicates				
ZUCS.CODIGO=ZTIPOSAULA.CODIGO				
TABLE ACCESS	ZTIPOSAULA	FULL	4204	36
Filter Predicates				
ZTIPOSAULA.TIPO=P				
INDEX	IX_ZTIPOSAULA_CODIGO_ANOLETIVO_PERIODO	RANGE SCAN		
Access Predicates				
ZUCS.CODIGO=ZTIPOSAULA.CODIGO				
TABLE ACCESS	ZTIPOSAULA	FULL	4204	36
Filter Predicates				
ZTIPOSAULA.TIPO=P				

3.9.4. Tempos de Execução

Para além da redução ao nível do custo no plano de execução, também se nota uma redução nos tempos de execução devido à introdução de chaves primárias e estrangeiras de X para Y, e à introdução de outros índices de Y para Z.

	X(ms)	Y(ms)	Z(ms)
José	18	16	13
Pedro	20	18	16