

PCS 3225
Sistemas Digitais II

Módulo 05 – Síntese de Circuitos
Seqüenciais – Exemplos de
simplificação de estados por exame da
Tabela de Transição de Estados

Andrade, Marco Túlio Carvalho de
Professor Responsável

versão: agosto de 2.017

Problema – 1

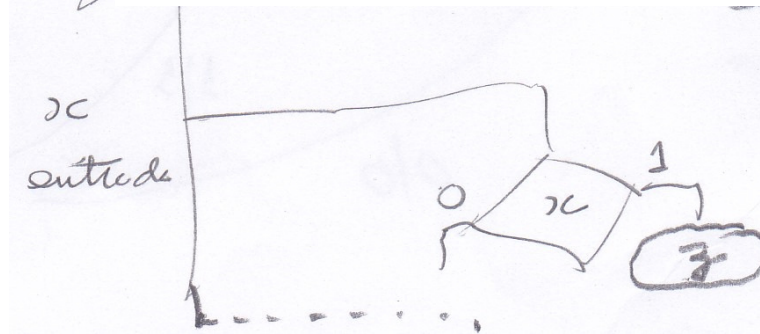
Problema

- Em uma cadeia de bits “x” fornecida detectar o aparecimento da sequência “1101”.

Solução modelo *Mealy*

- Modelo: Circuito combinatório programável.

Para entrada $x=0$, saída condicional $z=0$
 Para entrada $x=1$, saída condicional $z=1$



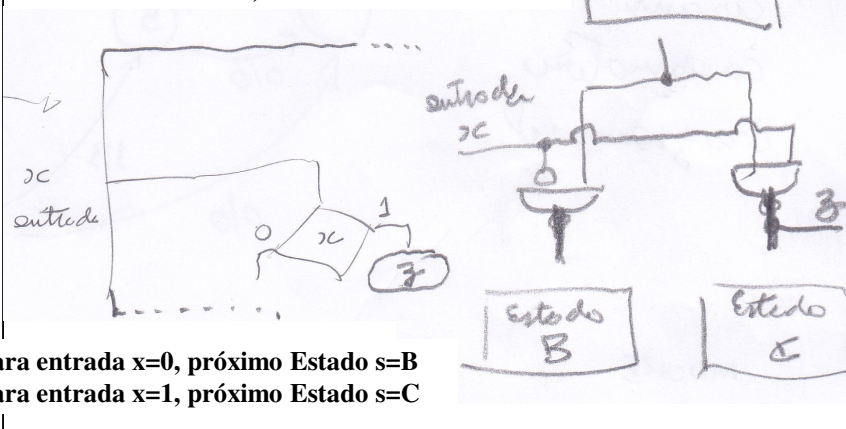
© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

3

Solução modelo *Mealy*

- Modelo: Circuito combinatório programável.

Para entrada $x=0$, saída condicional $z=0$
 Para entrada $x=1$, saída condicional $z=1$



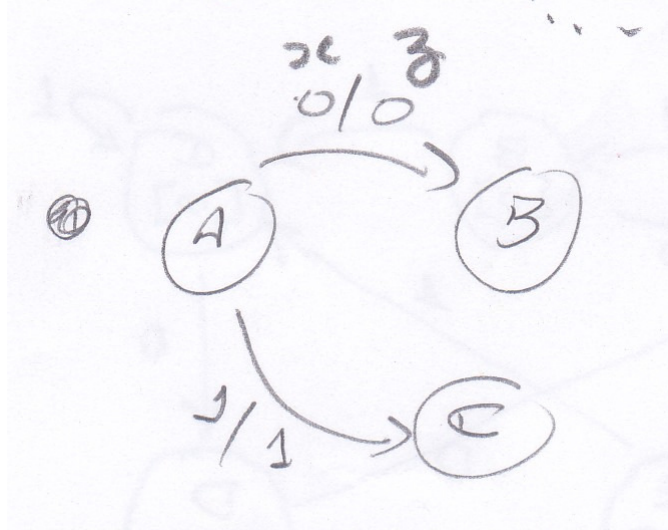
Para entrada $x=0$, próximo Estado $s=B$
 Para entrada $x=1$, próximo Estado $s=C$

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

4

Solução modelo *Mealy*

- Modelo: Circuito combinatório programável.

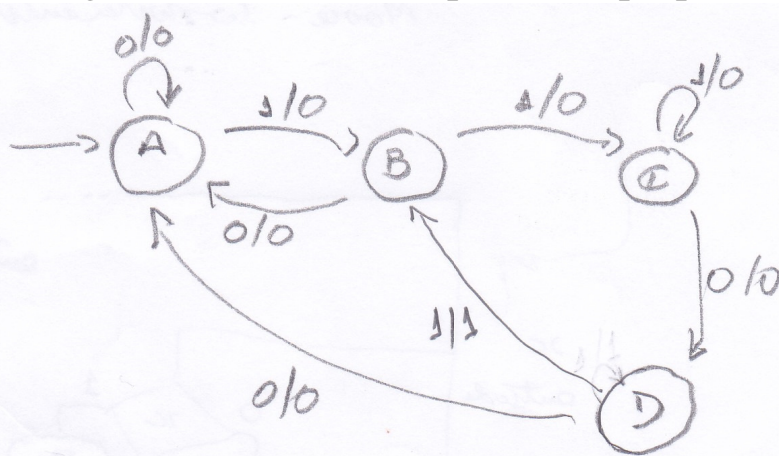


© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplício e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

5

Solução modelo *Mealy*

- Modelo: Circuito combinatório programável.
- Diagrama de Estados do problema proposto.



© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplício e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

6

Solução modelo *Moore*

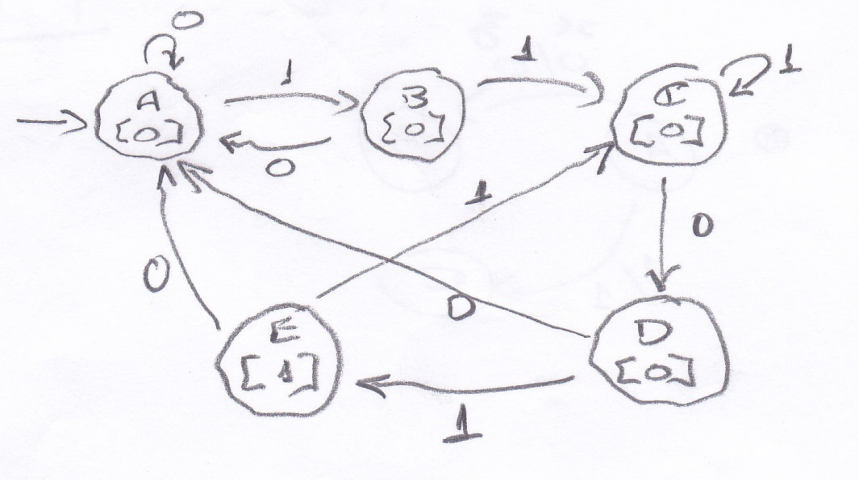
- Modelo: Puramente sequencial.

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simpício e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

7

Solução modelo *Moore*

- Modelo: Puramente sequencial.
- Diagrama de Estados do problema proposto.



© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simpício e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

8

Problema – 2

Problema

- Fornecida uma cadeia de bits “x” de entrada deve-se obter uma saída “y” que forneça dois bits zero em sequência e posteriormente reproduza a cadeia “x”.
Exemplo:

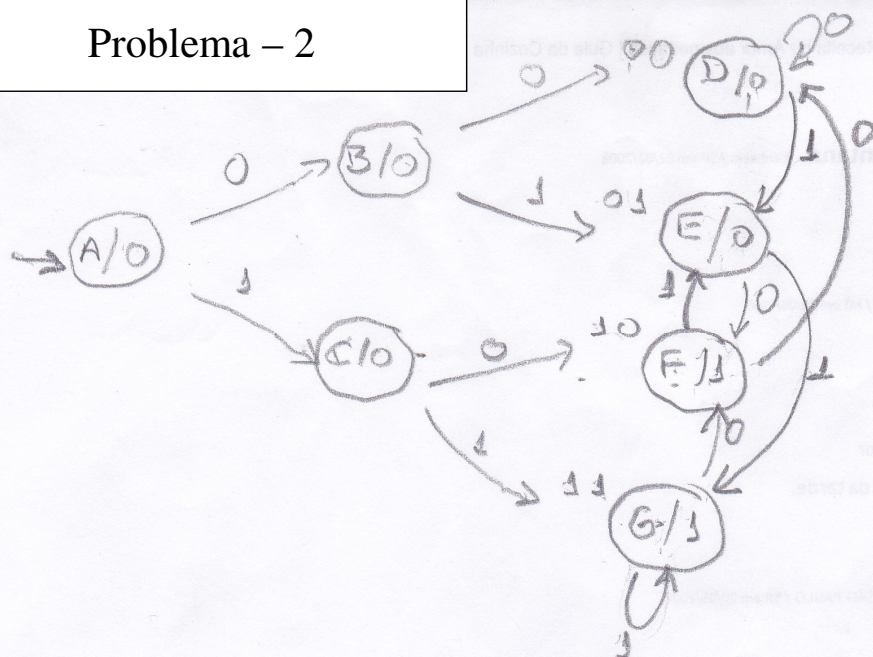
x = 1101010011000111...

y = 001101010011000111...

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

9

Problema – 2



© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

10

Problema – 2

$B \equiv D$ →

$C \equiv E$ →

$B \equiv D$ →

$C \equiv E$ →

Estado	Saída		Saída
	0	1	
A	B	C	0
B	D	E	0
C	F	G	0
D	D	E	0
E	F	G	0
F	D	E	1
G	F	G	1

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simpício e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

11

Problema – 2

**Substituir D por B
e E por C**

$B \equiv D$ →

$C \equiv E$ →

$B \equiv D$ →

$C \equiv E$ →

Estado	Saída		Saída
	0	1	
A	B	C	0
B	B	C	0
C	F	G	0
B	B	C	0
C	F	G	0
F	B	C	1
G	F	G	1

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simpício e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

12

Problema – 2

**Reescrever a
Tabela de Estados
renomeando
F para D e
G para E,
eliminando
as linhas
redundantes**

$F \Rightarrow D$ 

$G \Rightarrow E$ 

Estado	Entrada		Saída
	0	1	
A	B	C	0
B	B	C	0
C	D	E	0
F	D	B	1
G	E	D	1

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplício e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

13

Problema – 2

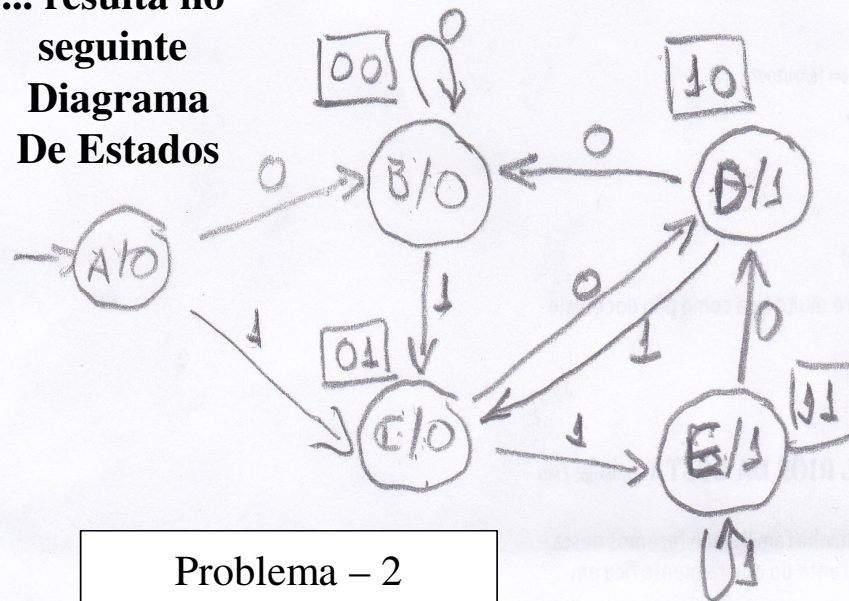
**Resulta na
seguinte
Tabela de
Estados,
que, por sua
vez ...**

Estado	Entrada		Saída
	0	1	
A	B	C	0
B	B	C	0
C	D	E	0
D	B	C	1
E	D	E	1

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplício e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

14

... resulta no
seguinte
**Diagrama
De Estados**



Problema – 2

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

15

Problema – 2

Verificação da solução da primeira redução de Estados

**Simulação de
evolução de
Estados,
Entrada
e Saída**

Estado	Entrada	Saída	Estado	Entrada	Saída
A	1	0	D	0	1
C	0	0	B	1	0
D	1	1	C	1	0
E	0	0	E	1	1
D	1	1	E	0	1
C	0	0	D	0	1
D	1	1	B	0	0
E	1	0	B	1	0
E	0	1	E	X	1

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

16

Problema – 2

Porém, uma nova inspeção na Tabela de Estados da primeira redução de Estados, permite observar ...

$A \equiv B$ →

$B \equiv A$ →

		Entrada		
Estado	0	1	Saída	
A	B	C	0	
B	B	C	0	
C	D	E	0	
D	B	C	1	
E	D	E	1	

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

17

Problema – 2

Porém, uma nova inspeção na Tabela de Estados da primeira redução de Estados, permite observar ...

Substituir B por A em toda a Tabela

$A \equiv B$ →

$B \equiv A$ →

		Entrada		
Estado	0	1	Saída	
A	A	C	0	
A	A	C	0	
C	D	E	0	
D	A	C	1	
E	D	E	1	


© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II


18


Problema – 2

[1/3]

Reescrever a
Tabela de Estados
renomeando
C para B [1/3],
D para C [2/3] e
E para D [3/3],
eliminando
as linhas
redundantes [1/3]

[1/3] - $C \Rightarrow B$ 

[2/3] - $D \Rightarrow C$ 

[3/3] - $E \Rightarrow D$ 

Entradas			
Estado	0	1	Saída
A	A	B	0
C B	D	E	0
B	A	B	1
E	D	E	1


© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II


19


Problema – 2

[2/3]

Reescrever a
Tabela de Estados
renomeando
C para B [1/3],
D para C [2/3] e
E para D [3/3],
eliminando
as linhas
redundantes [1/3]

[1/3] - $C \Rightarrow B$ 

[2/3] - $D \Rightarrow C$ 

[3/3] - $E \Rightarrow D$ 

Entradas			
Estado	0	1	Saída
A	A	B	0
C B	C	E	0
B C	A	B	1
E	C	E	1

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

20

Problema – 2

[3/3]

Reescrever a
Tabela de Estados
renomeando
C para B [1/3],
D para C [2/3] e
E para D [3/3],
eliminando
as linhas
redundantes [1/3]

[1/3] - $C \Rightarrow B$ →

[2/3] - $D \Rightarrow C$ →

[3/3] - $E \Rightarrow D$ →

Entrada			
Estado	0	1	Saída
A	A	B	0
C B	C	D	0
D C	A	B	1
E D	C	D	1

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplício e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

21

Problema – 2

Resulta na
seguinte
Tabela de
Estados,
que, por sua
vez ...

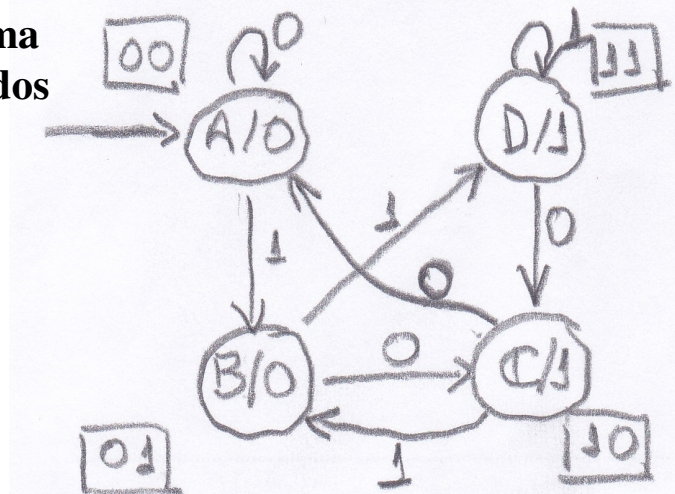
Entrada			
Estado	0	1	Saída
A	A	B	0
B	C	D	0
C	A	B	1
D	C	D	1

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplício e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

22

Problema – 2

... resulta no
seguinte
**Diagrama
De Estados**



© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

23

Problema – 2

Verificação da solução da segunda redução de Estados

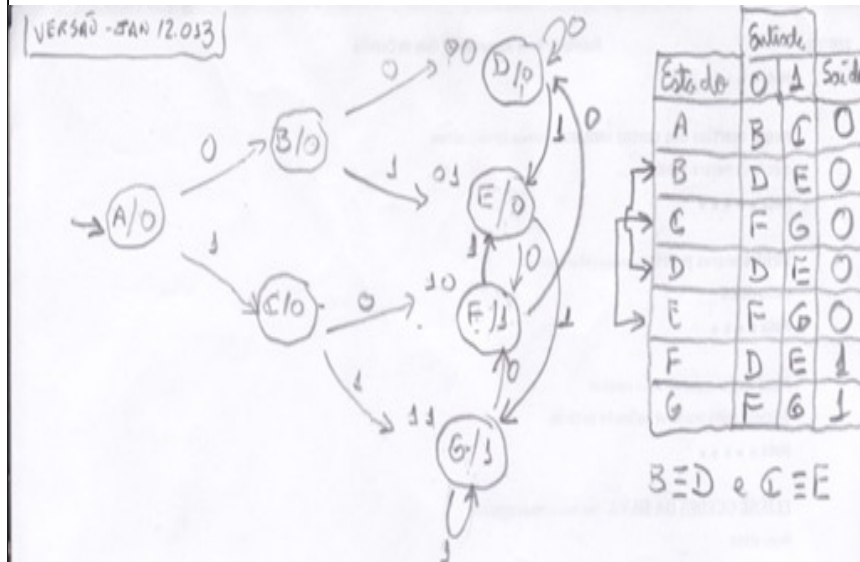
**Simulação de
evolução de
Estados,
Entrada
e Saída**

Estado	Entrada	Saída	Estado	Entrada	Saída
A	1	0	B	1	0
B	0	0	D	1	1
C	1	0	D	0	1
B	0	0	A	0	1
C	1	0	A	1	0
B	1	0	B	0	0
C	1	0	C	1	0
B	1	0	B	0	0
C	1	0	A	0	1
A	1	0	A	1	0

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

24

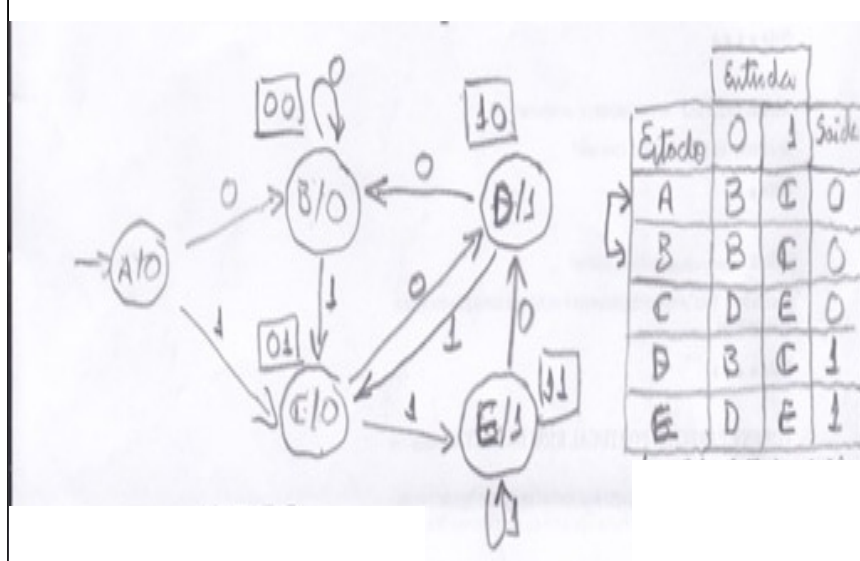
Problema – 2 – Observação das três soluções obtidas [1/3]:



© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplício e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

25

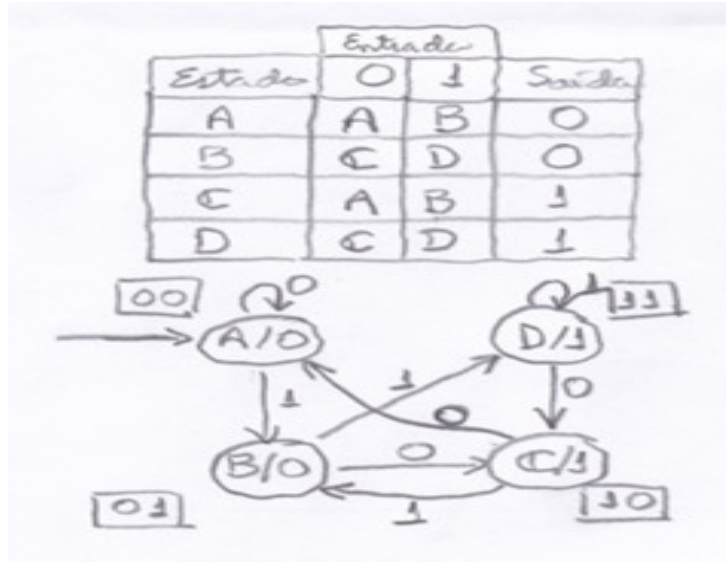
Problema – 2 – Observação das três soluções obtidas [2/3]:



© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplício e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

26

Problema – 2 – Observação das três soluções obtidas [3/3]:

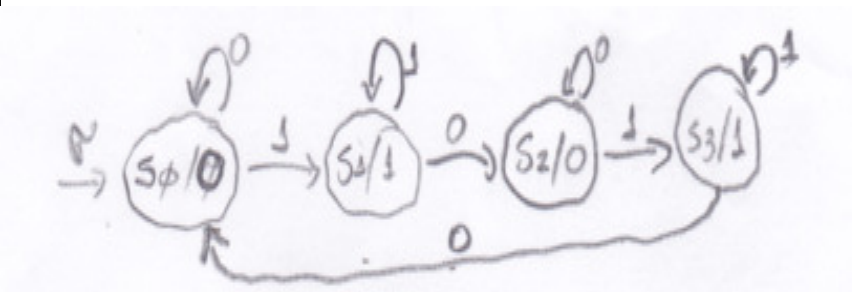


© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

27

Problema – 3

- Em uma cadeia de bits “x” fornecida percorrer o seguinte Diagrama de Transição de Estados.

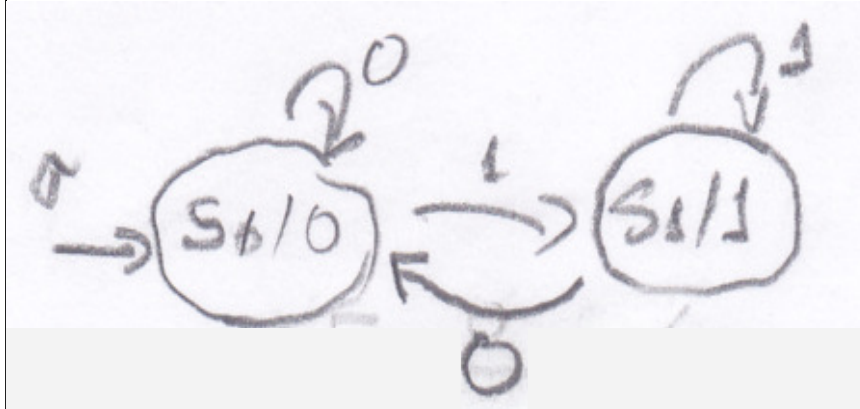


© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

28

Problema – 3

- Percebe-se, ao fazer uma simulação com dados de entrada, que cabe a seguinte simplificação:



© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

29

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

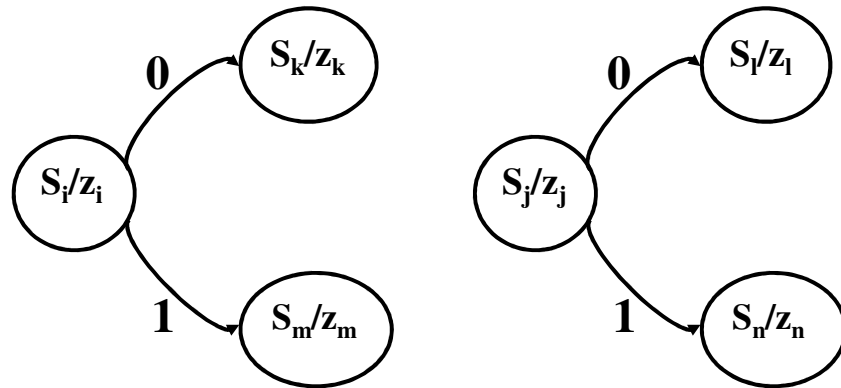
- Minização de Estados – Método de Simplificação por Tabelas de Implicação.
- Monta-se a Tabela de Implicação do problema, a partir de seu Diagrama de Transição de Estados.
- Executam-se os Passos de um Algoritmo para a redução de Estados.

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

30

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

- Organização e montagem da Tabela de Implicação do problema:

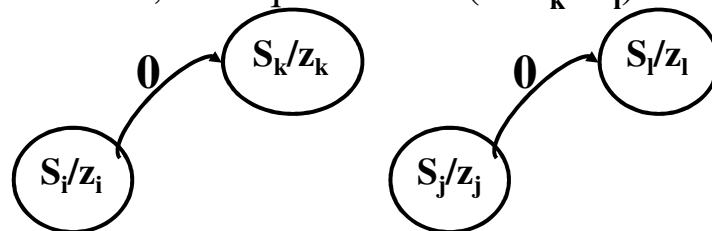


© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

31

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

- Para que ocorra $S_i \equiv S_j$ (S_i equivalente a S_j) obrigatoriamente deve ocorrer: $S_k \equiv S_l$ (próximos Estados de S_i e S_j , respectivamente, para entrada $x=0$).
- Os Estados S_i e S_j só podem ser equivalentes se seus próximos Estados, para um mesmo valor de Entrada, são equivalentes (se $S_k \equiv S_l$).

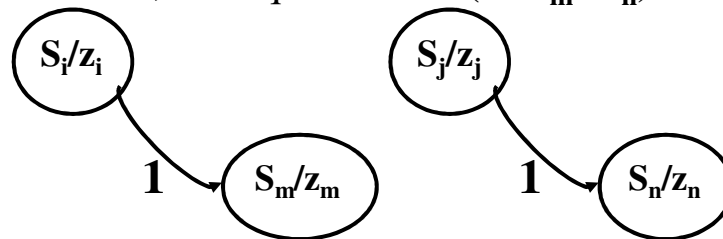


© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

32

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

- Para que ocorra $S_i \equiv S_j$ (S_i equivalente a S_j) obrigatoriamente deve ocorrer: $S_m \equiv S_n$ (próximos Estados de S_i e S_j , respectivamente, para entrada $x=1$).
- Os Estados S_i e S_j só podem ser equivalentes se seus próximos Estados, para um mesmo valor de Entrada, são equivalentes (se $S_m \equiv S_n$).

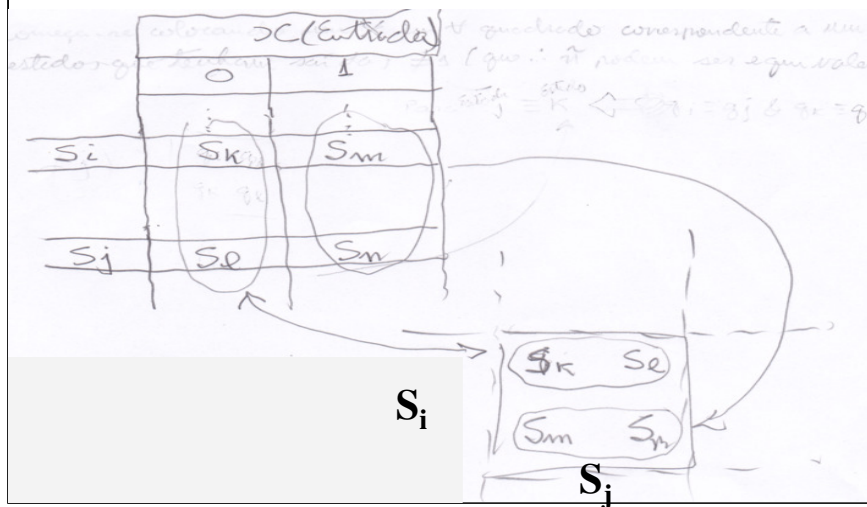


© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

33

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

- Organização e montagem da Tabela de Implicação do problema:

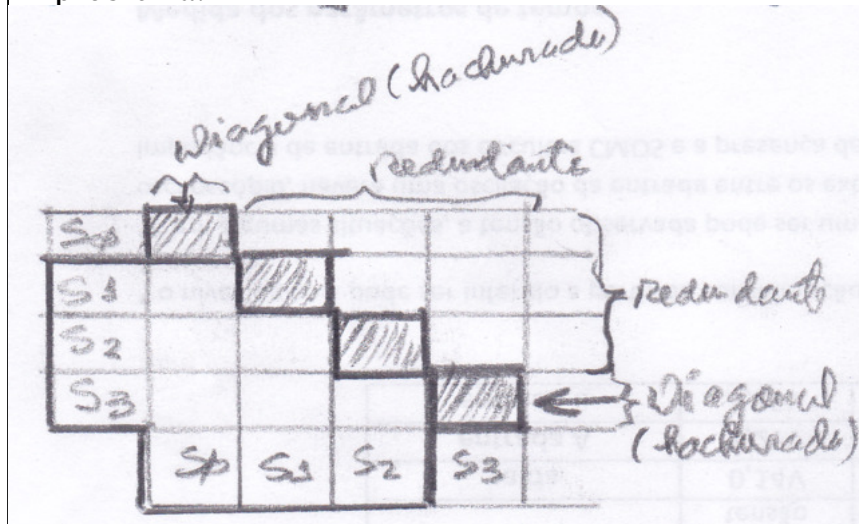


© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

34

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

- Organização e montagem da Tabela de Implicação do problema:



© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

35

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

- Passos do Algoritmo minimização do número Estados:
- Passo1 – São marcados como sendo não equivalentes os pares de Estados que tem saídas diferentes;
 - Descrição do Passo1 – Não há como serem equivalentes Estados que tenham valores de saídas diferentes.

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

36

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

- Passos do Algoritmo minimização do número Estados:
- Passo2 – Para cada par de Estados não marcados na Tabela de Implicação são escritos os pares de próximos Estados esperados para os mesmos valores de Entrada;
 - Descrição do Passo2 – Na intersecção linha-coluna (S_i - S_j) da Tabela de Implicação escrevem-se os pares (S_k - S_l) e (S_m - S_n) para os mesmos valores de Entrada.

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplício e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

37

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

- Passos do Algoritmo minimização do número Estados:
- Passo3 – Para cada par de Estados ainda não marcado – que ainda não se constatou que não é equivalente – marque como sendo não equivalente se constatar que pelo menos um de seus pares de próximos Estados já foram marcados, isto é, não são equivalentes.

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplício e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

38

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

- **Passo3 ...continuação ... – Deve-se repetir este Passo até que não sejam encontradas mais atualizações, ou seja, até que todos os pares de Estados não equivalentes tenham sido marcados;**
 - Descrição do Passo3 – Não há como serem equivalentes os pares de Estados (S_i - S_j) cujos próximos pares de Estados (S_k - S_l) e (S_m - S_n) não sejam equivalentes;
 - Cada execução deste Passo é denominada uma *passada*.

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplício e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

39

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

- **Passos do Algoritmo minimização do número Estados:**
- **Passo4 – Deve-se combinar os pares restantes de Estados (S_i - S_j) que não foram marcados em nenhuma *passada*;**
 - Descrição do Passo4 – Pode-se combinar estes pares de Estados restantes (que não foram marcados em nenhuma *passada*) porque estes serão equivalentes.

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplício e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

40

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

■ Execução do Algoritmo de Redução de Estados:

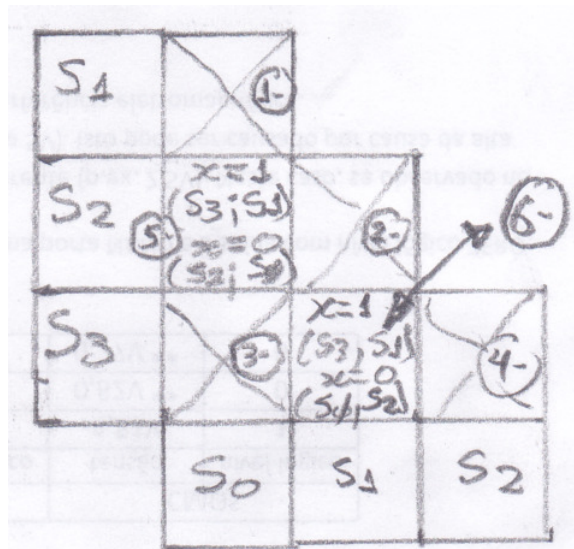
- ① $S_0 \neq S_1 \rightarrow$ Tem saídas $\neq 1$
- ② $S_2 \neq S_1 \rightarrow$ " " $\neq 1$
- ③ $S_3 \neq S_0 \rightarrow$ " " $\neq 1$
- ④ $S_3 \neq S_2 \rightarrow$ " " $\neq 1$
- ⑤ Para o par não marcado (S_2, S_0) escrever os pares de próximos estados que correspondem aos mesmos valores de entrada ($x=0$ e $x=1$)

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

41

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

■ Execução do Algoritmo de Redução de Estados:



© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

42

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

■ Execução do Algoritmo de Redução de Estados:

(6) Idem (5) para o par (S_3, S_1)

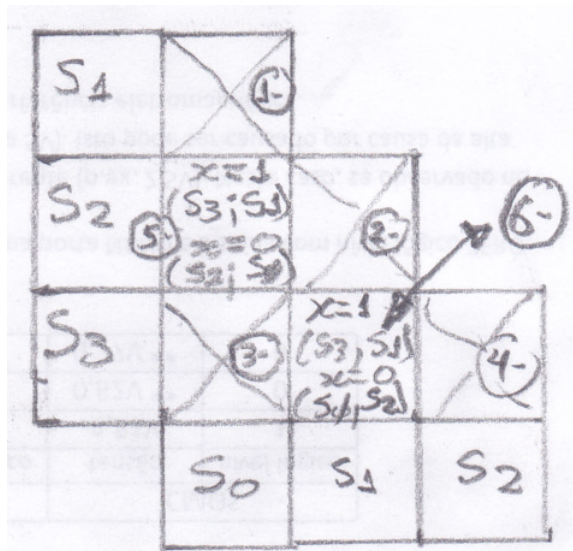
(7) O próximo passo é marcar como não equivalentes (com um X) todas as células não marcadas cujos pares de próximos estão dos já tinham sido marcados como sendo não equivalentes.

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplício e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

43

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

■ Execução do Algoritmo de Redução de Estados:



© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplício e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

44

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

■ Execução do Algoritmo de Redução de Estados:

8. Examinando as células:

- (S2, S4) - Os pares de próximas estadas, (S3, S1) e (S2, S4) não estão marcados; portanto NÃO se marca com X esta célula;
- (S3, S1) - Idem ... NÃO se marca

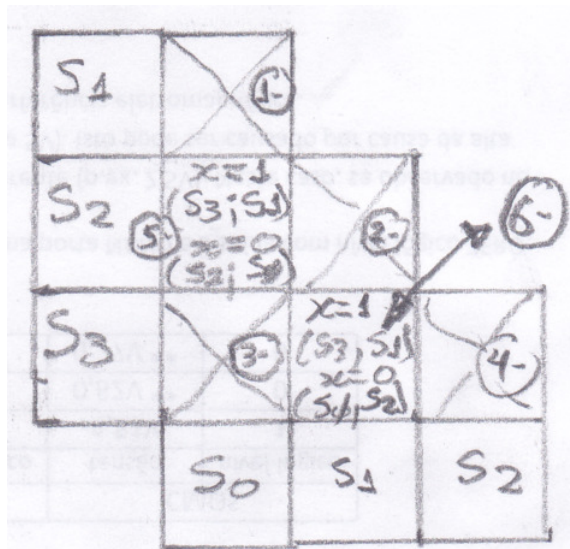
9. Repassando os passos anteriores mas há alteração.

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplício e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

45

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

■ Execução do Algoritmo de Redução de Estados:

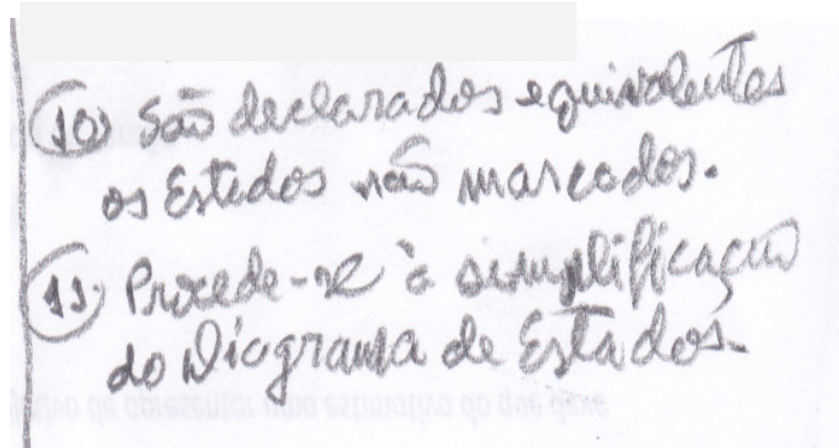


© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplício e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

46

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

■ Execução do Algoritmo de Redução de Estados:

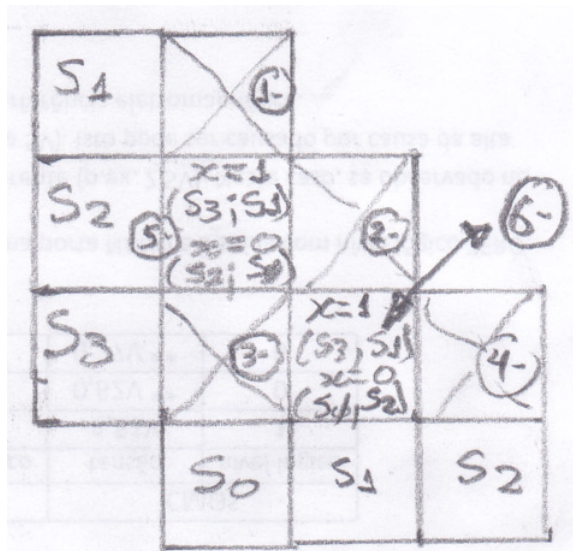


© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simpício e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

47

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

■ Execução do Algoritmo de Redução de Estados:

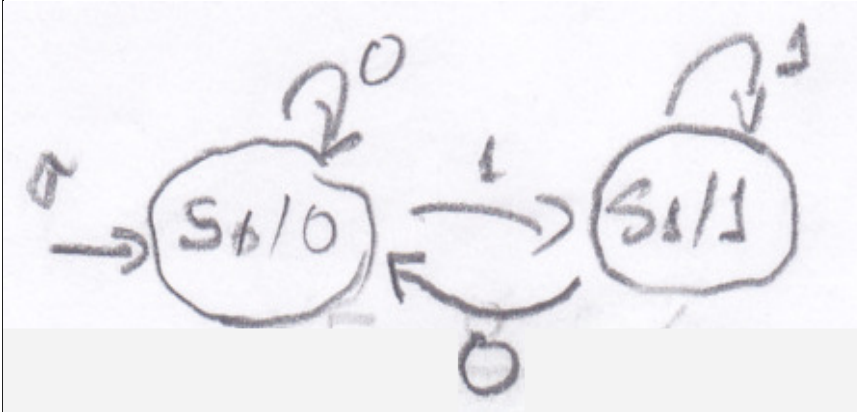


© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simpício e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

48

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

■ Execução do Algoritmo de Redução de Estados:

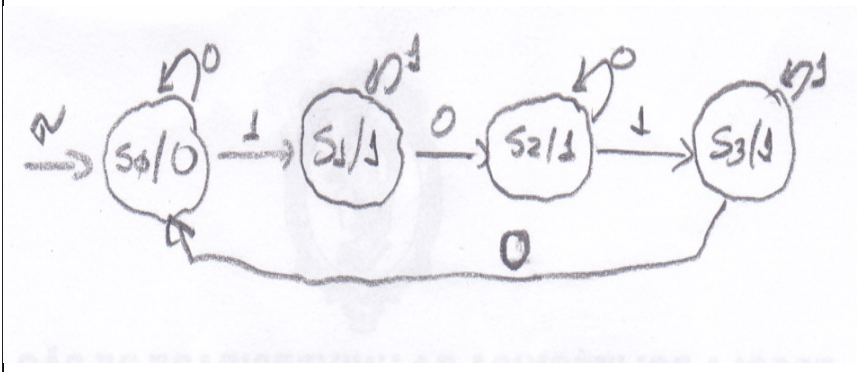


© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

49

Problema – 4

■ Em uma cadeia de bits “x” fornecida percorrer o seguinte Diagrama de Transição de Estados.



© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

50

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

■ Execução do Algoritmo de Redução de Estados:

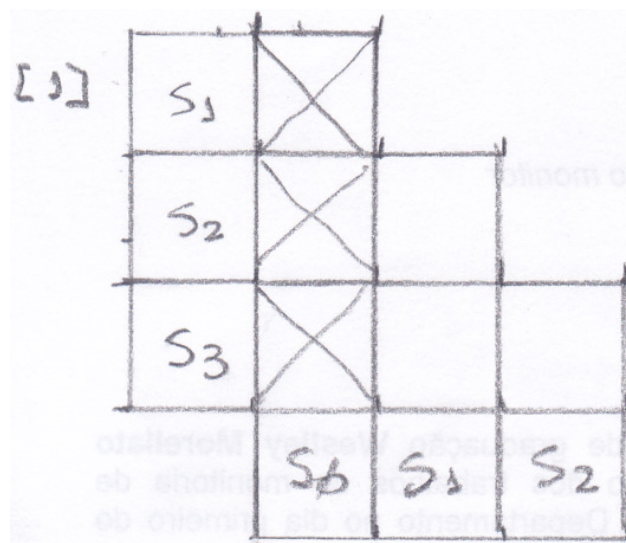
$$\left. \begin{array}{l} S_0 \neq S_1 \\ S_0 \neq S_2 \\ S_0 \neq S_3 \end{array} \right\} \text{Tem saídas} \neq 1$$

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

51

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

■ Execução do Algoritmo de Redução de Estados:



© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

52

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

■ Execução do Algoritmo de Redução de Estados:

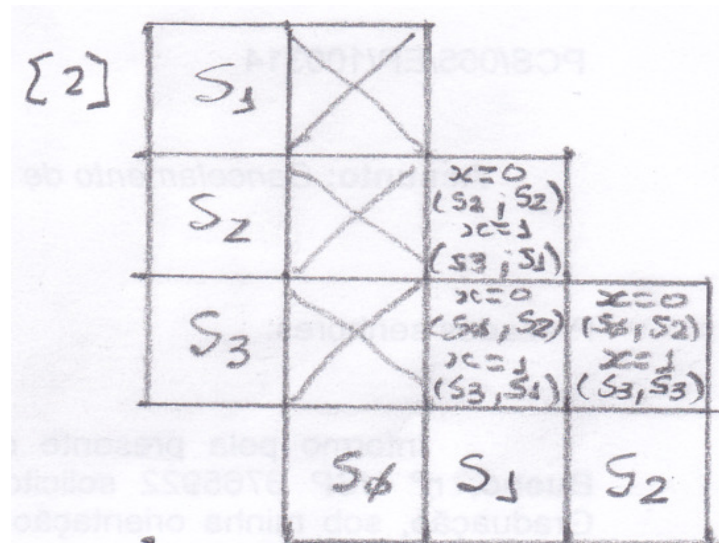
Para os pares não marcados escrever-se os pares de próximos estados que correspondem aos mesmos valores de entrada.

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplício e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

53

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

■ Execução do Algoritmo de Redução de Estados:



© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplício e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

54

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

■ Execução do Algoritmo de Redução de Estados:

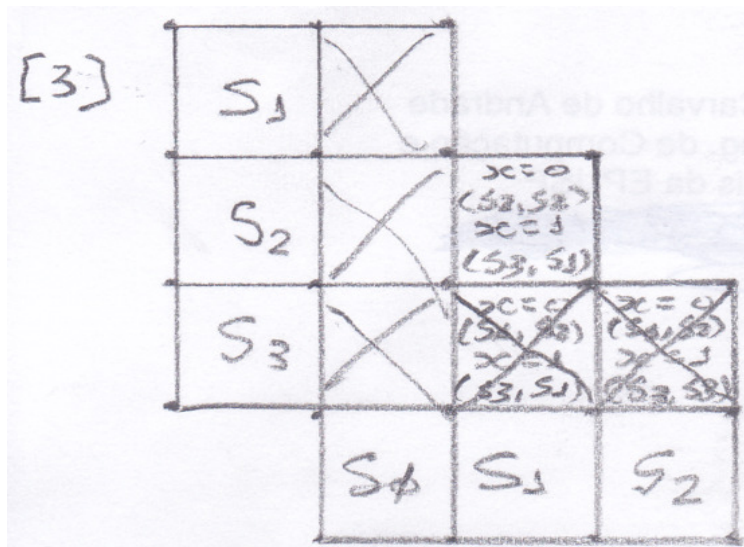
De [1] tem-se que S_0 e S_2 não são equivalentes.
 De [3] percebe-se que para que S_3 seja equivalente a S_1 , S_0 tem que ser equivalente a S_2 (para $x=0$). Portanto $S_3 \neq S_1$ (marcando-se este célula com X).
 Idem para a célula (S_3, S_2) .

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

55

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

■ Execução do Algoritmo de Redução de Estados:



© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

56

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

■ Execução do Algoritmo de Redução de Estados:

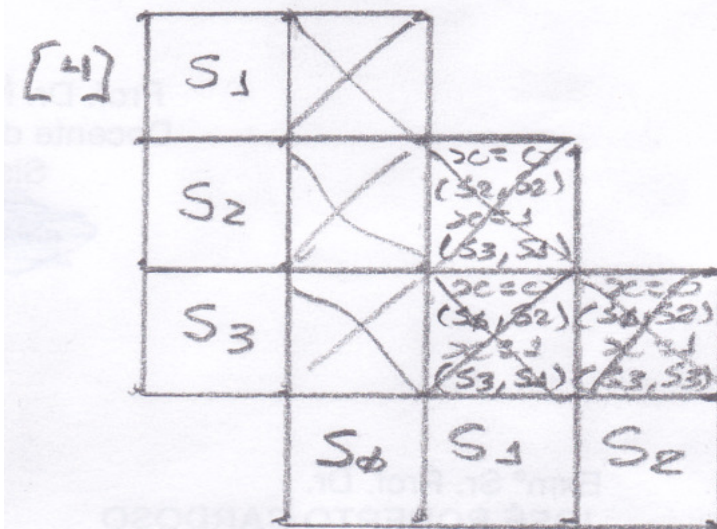
[4] Retornando para a célula (S_2, S_1) verificar se que, no passo anterior constatou-se que $S_3 \neq S_1$, a célula (S_3, S_1) foi marcada com X. Marque-se com X a célula (S_2, S_1) .

© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

57

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

■ Execução do Algoritmo de Redução de Estados:



© Andrade, Bruno, Midorikawa, Simplicio e Spina 2.017 <Sínt. Circ. Seq.> PCS 3225 Sistemas Digitais II

58

Minimização de Estados por Tabela de Implicação

■ Execução do Algoritmo de Redução de Estados:

CONCLUSÃO: A Máquina de Estados Finita não possui estados equivalentes e seu diagrama de transição de Estados não pode ser reduzido.

Livro Texto da Disciplina PCS2304

- Wakerly, J.F.; *Digital Design – Principles & Practices*; Fourth Edition, ISBN: 0-13-186389-4, Pearson & Prentice-Hall, Upper Saddle, River, New Jersey, 07458, 2006.

Bibliografia Utilizada Neste Módulo/Material

- Hill, Frederic and Peterson, Gerald; *Introduction to Switching Theory and Logical Design*; Ed. John Wiley and Sons, 1.974;
- Ranzini, Edith; *Circuitos de Chaveamento* (notas de aula); Apostila, EPUSP, 1.983;
- Vahid, Frank; *Sistemas Digitais – Projeto, Otimização e HDLs*; Bookman (Artmed Editora SA), 2.008.

Bibliografia Adicional Deste Assunto

- Dias, Francisco José de Oliveira; *Introdução aos Circuitos de Chaveamento*; Apostila, PEL/EPUSP, 1.980;
- Fregni, Edson; Ranzini, Edith; *Teoria da Comutação: Introdução aos Circuitos Digitais (Partes 1 e 2)*; Apostila PCS/EPUSP, Outubro de 1.999;