

Engenharia Informática
2019/2020

Sistemas Digitais

Relatório do Trabalho Prático – Máquina de Lavar Roupa

Docente: Prof. Pedro Salgueiro

42417 Miguel Barreto
42647 Ricardo Oliveira
43017 José Santos





Índice

Pág.

1. Introdução	3
2. Descrição	3
3. Implementação	3
4. Módulo de Controle da Máquina	5
4.1. Modelo ASM	5
4.2. Modo de funcionamento	5
4.3. Tabela de transição de estados	6
4.4. Mapas de Karnaugh	6
4.5. Modelo Logisim	8
5. Módulo de Controle da Água	9
5.1. Modelo ASM	9
5.2. Modo de funcionamento	9
5.3. Tabela de transição de estados	10
5.4. Mapas de Karnaugh	11
5.5. Modelo Logisim	13
6. Módulo de Controle da Lavagem	14
6.1. Modelo ASM	14
6.2. Modo de funcionamento	14
6.3. Tabela de transição de estados	15
6.4. Mapas de Karnaugh	16
6.5. Modelo Logisim	20
7. Logigrama do circuito	21
8. Conclusão	21



1. Introdução

O objetivo da realização deste trabalho prático é, através dos conhecimentos obtidos ao longo do semestre, elaborar um sistema que controle diversos módulos de uma máquina de lavar a roupa, que através da implementação destes mesmos módulos, em simultâneo, deverá executar de acordo com todas as indicações previamente fornecidas no enunciado.

Neste relatório encontram-se todas as informações e dados que foram necessários durante a realização do trabalho, tais como os modelos ASM (Algorithmic State Machine), tabelas de transição de estados, mapas de Karnaugh e as simulações realizadas com o Logisim.

2. Descrição

Após a leitura e análise do enunciado, foi possível interpretar que máquina de lavar a roupa deveria ser constituída por três módulos: Controle da Máquina, Controle da Água e Controle da Lavagem. Para além destes módulos, a máquina é constituída por três entradas: Botão de início (BI), Sensor de nível da água (SNA) e Sensor de temperatura da água (STA); e por seis saídas: Válvula de entrada de Água (VA), Resistência de Aquecimento da Água (RAQ), Motor em modo Direita (MD), Motor em modo Esquerda (ME), motor em modo centrifugação (MC) e Bomba de Água (BA).

Para além destes componentes (de entrada e de saída), foi preciso recorrer à implementação de algumas entradas e saídas adicionais, para que quando um módulo atingir um determinado estado o circuito sequencial de outro módulo inicie.

3. Implementação

Durante a implementação deste circuito sequencial, foi indispensável a discussão e tomadas de decisões em relação a alguns tópicos, entre os elementos do grupo.

Inicialmente, para a elaboração deste projeto, decidimos, para uma melhor análise do problema proposto, realizar um modelo ASM global para o circuito da máquina. Através deste modelo, foi bastante mais espontâneo saber como iriam ser efetuadas as divisões entre módulos e posterior elaboração dos modelos ASM (com algumas alterações em relação ao primeiro modelo geral) para cada um destes - Durante este procedimento surgiram algumas questões, nomeadamente em relação a de que modo iríamos fazer com que o Módulo de Controle da Máquina fizesse o Módulo de Controle da Água iniciar, quando todas as variáveis assim o permitissem, e posteriormente, quando este finalizar, que o circuito do Módulo de Controle da Lavagem inicie. Percebemos então que teríamos de adicionar saídas em certos estados de um módulo, para que, agora como entrada



de um outro módulo, conseguíssemos controlar quando é que o circuito deve, ou não, avançar de estado. Nos modelos estão também expressas as mnemónicas, a codificação e, caso aplicável, as saídas ativas para cada estado.

Com os três modelos já terminados para cada um dos módulos, iniciou-se a realização de uma tabela de transição de estados para cada um dos módulos e a decisão de qual dos Flip-Flops iríamos utilizar. Em cada uma destas tabelas constam as entradas do módulo, as transições dos estados do atual para o seguinte, as saídas. Visto a elevada extensão dos modelos ASM, para evitar erros, ficou decidido que iríamos dividir as transições do estado atual para o seguinte em duas colunas; isto é, as transições foram primeiramente identificadas entre as mnemónicas dos estados e, só após este passo, traduzidas para a sua codificação. Tal como já foi referido, nesta altura foi necessário tomar a decisão de que tipo de Flip-Flops iríamos utilizar, inicialmente foi decidido que iríamos utilizar Flip-Flops JK.

Após todas as tabelas de transição de estados estarem concluídas, iniciou-se a realização dos respetivos mapas de Karnaugh para cada uma das tabelas de transição de estados, de modo a obter as expressões simplificadas. Porém, outro problema surgiu quando se iniciou a realização dos mapas para o último módulo de controle, isto porque, o da Lavagem é o módulo que contém mais estados no modelo ASM, portanto, tendo este oito estados, faz com que a sua codificação em binário, necessite de três bits, portanto iria ser necessário fazer mais mapas de Karnaugh na utilização deste tipo de Flip-Flops, portanto, o grupo decidiu unanimemente que seria mais acessível refazer os mapas todos utilizando Flip-Flops T, mesmo tendo em conta que provavelmente as expressões não iriam ser tão simplificadas.

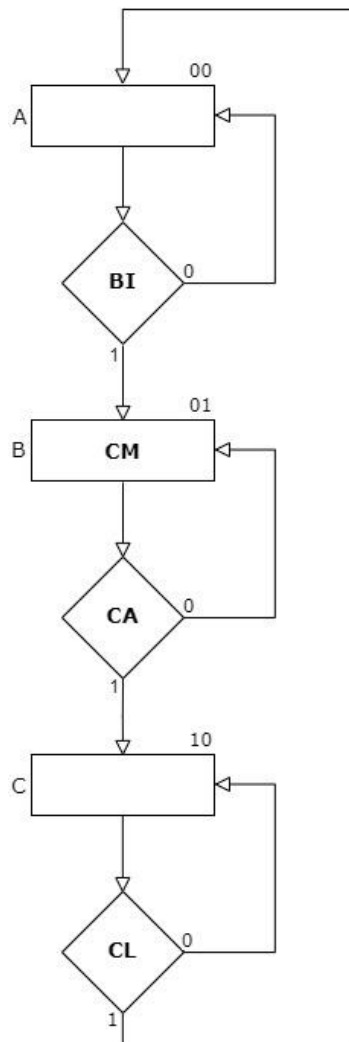
Com todos os mapas de Karnaugh já feitos com os Flip-Flops T, obtiveram-se todas as expressões simplificadas do circuito e seguiu-se a sua simulação, recorrendo ao Logisim para verificar se, em termos práticos, o circuito executava de maneira correta.

Após a análise pormenorizada da simulação do circuito, verificou-se um pequeno atraso de um ciclo de relógio na transição do Módulo de Controle da Água para o Módulo de Controle da Lavagem, isto porque a primeira entrada que utilizámos no Módulo de Controle da Lavagem é a saída do último estado do Módulo de Controle da Água, portanto só no ciclo seguinte, é que o Módulo de Controle da Lavagem vai passar do primeiro estado para o segundo, isto é quando se visualiza a simulação global do circuito, com os três módulos já implementados em simultâneo, olhando somente para as saídas, haverá um ciclo de intervalo, entre a saída RAQ ativa e o primeiro ciclo da saída MD ativa, onde não se visualizará nenhuma saída ativa nesse mesmo ciclo. Após nova análise e consequente discussão entre o grupo, seria possível alterar a saída do primeiro estado do Módulo de Controle da Lavagem para a penúltima saída do Módulo de Controle da Água (isto é, em vez de ser CA, passar a ser STA), porém, em termos reais, poderia causar ainda mais problemas em caso de avaria do sensor, por exemplo. Concluiu-se então que não seria preocupante deixar este ciclo de atraso.



4. Módulo de Controle da Máquina

4.1. Modelo ASM



4.2. Modo de funcionamento

Entradas:

- Botão de início (BI);
- Controle da Água (CA);
- Controle da Lavagem (CL).

Saídas:

- Controle da Máquina (CM).



O circuito deste módulo é composto por três estados, cuja codificação binária é composta por dois bits. O módulo inicia quando o Botão de início tomar o valor 1, o que fará com que transite do estado A para o estado B. É neste novo estado que a saída CM é ativada para dar início ao Módulo de Controle da Água. Só quando este módulo atingir o seu último estado é que a saída CA (que neste módulo é entrada) toma o valor 1 e então transita do estado B para o estado C, dando em simultâneo o valor 1 à entrada CA do Módulo de Controle da Lavagem para esta iniciar. Neste último estado C, o circuito só irá retomar ao estado inicial A, quando o Módulo de Controle da Lavagem atingir o seu último estado ativando a sua saída CL (que neste módulo é entrada), dando assim fim ao ciclo de lavagem da máquina de lavar a roupa. Este módulo é fundamental no circuito, pois é ele que controla todos os outros módulos em geral, ativando as suas saídas, fazendo com que os outros módulos iniciem, após todas as condições estarem reunidas.

4.3. Tabela de transição de estados

BI	CA	CL	Qn	Qn+1	Qn x0 x1	Qn+1 x0 x1	CM	T1	T0
0	X	X	A	A	0 0	0 0	0	0	0
1	X	X	A	B	0 0	0 1	0	0	1
X	0	X	B	B	0 1	0 1	1	0	0
X	1	X	B	C	0 1	1 0	1	1	1
X	X	0	C	C	1 0	1 0	0	0	0
X	X	1	C	A	1 0	0 0	0	1	0

4.4. Mapas de Karnaugh

BI=0					BI=1				
<div>CA \ x1 x0</div> <div>CL</div>	00	01	11	10	<div>CA \ x1 x0</div> <div>CL</div>	00	01	11	10
00	0	1	0	0	00	0	1	0	0
01	0	1	0	0	01	0	1	0	0
11	0	1	0	0	11	0	1	0	0
10	0	1	0	0	10	0	1	0	0

$$CM = \overline{x1} x0$$



BI=0					BI=1				
CA \ x1 x0 CL	00	01	11	10	CA \ x1 x0 CL	00	01	11	10
00	0	0	0	0	00	0	0	0	0
01	0	0	0	1	01	0	0	0	1
11	0	1	0	1	11	0	1	0	1
10	0	1	0	0	10	0	1	0	0

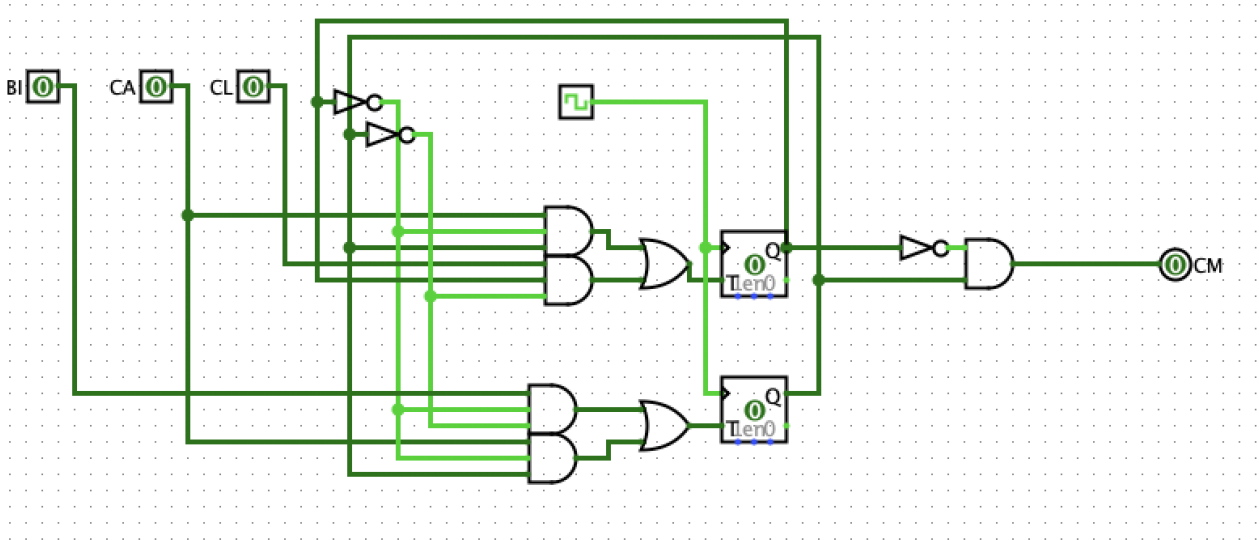
$$T1 = CA \bar{x1} x0 + CL x1 \bar{x0}$$

BI=0					BI=1				
CA \ x1 x0 CL	00	01	11	10	CA \ x1 x0 CL	00	01	11	10
00	0	0	0	0	00	1	0	0	0
01	0	0	0	0	01	1	0	0	0
11	0	1	0	0	11	1	1	0	0
10	0	1	0	0	10	1	1	0	0

$$T0 = BI \bar{x1} \bar{x0} + CA \bar{x1} x0$$



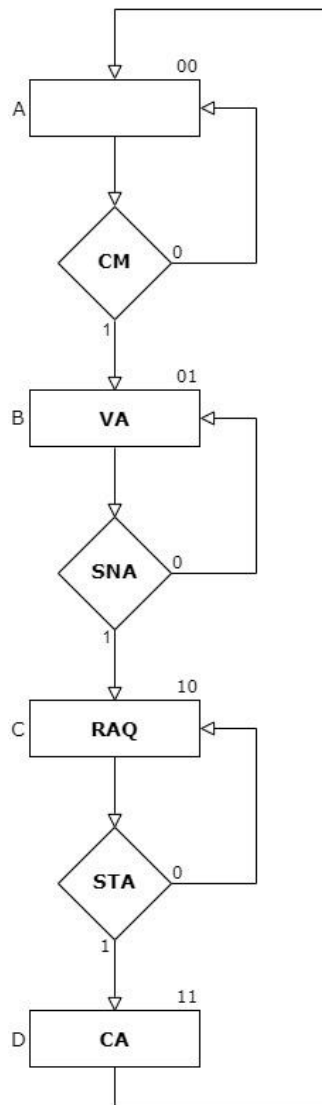
4.5. Modelo Logisim





5. Módulo de Controle da Água

5.1. Modelo ASM



5.2. Modo de funcionamento

Entradas:

- Controle da Máquina (CM);
- Sensor de Nível da Água (SNA);
- Sensor de Temperatura da Água (STA).



Saídas:

- Válvula de Água (VA);
- Resistência de Aquecimento da Água (RAQ);
- Controle da Água (CA).

O circuito deste módulo é composto por quatro estados, cuja codificação binária é composta por dois bits. O módulo inicia quando a entrada CM, que é saída do Módulo de Controle da Máquina, for ativa, o que só irá ocorrer quando o Botão de início(desse mesmo módulo) tomar o valor 1. É somente no segundo estado deste módulo que a saída VA é ativada para dar início à entrada de água para a máquina de lavar. Quando a água atingir o nível necessário, o SNA toma o valor 1, fazendo com que ocorra uma transição do estado B para o estado C. É neste novo estado do módulo que a saída RAQ é ativa, fazendo a água aquecer até à temperatura esperada, que será ditado pelo STA. Com este sensor ativo, a máquina estará pronta para iniciar a lavagem, transitando do estado C para o seu último estado deste módulo, no qual será ativada a saída CA. Esta saída será a primeira entrada do Módulo de Controle da Lavagem, e somente neste ponto do ciclo da máquina é que o Módulo de Controle de Lavagem transitará do estado A para o estado B, dando início à última etapa do circuito da máquina de lavar roupa.

5.3. Tabela de transição de estados

CM	SNA	STA	Qn	Qn+1	Qn	Qn+1	VA	RAQ	CA	T1	T0
					x1 x0	x1 x0					
0	X	x	A	A	0 0	0 0	0	0	0	0	0
1	X	X	A	B	0 0	0 1	0	0	0	0	1
X	0	X	B	B	0 1	0 1	1	0	0	0	0
X	1	X	B	C	0 1	1 0	1	0	0	1	1
X	X	0	C	C	1 0	1 0	0	1	0	0	0
X	X	1	C	D	1 0	1 1	0	1	0	0	1
x	x	X	D	A	1 1	0 0	0	0	1	1	1



5.4. Mapas de Karnaugh

CM=0					CM=1				
X1 x0 SNA STA	00	01	11	10	X1 x0 SNA STA	00	01	11	10
00	0	1	0	0	00	0	1	0	0
01	0	1	0	0	01	0	1	0	0
11	0	1	0	0	11	0	1	0	0
10	0	1	0	0	10	0	1	0	0

$VA = \overline{x1} x0$

CM=0					CM=1				
x1 x0 SNA STA	00	01	11	10	x1 x0 SNA STA	00	01	11	10
00	0	0	0	1	00	0	0	0	1
01	0	0	0	1	01	0	0	0	1
11	0	0	0	1	11	0	0	0	1
10	0	0	0	1	10	0	0	0	1

$RAQ = x1 \overline{x0}$



CM=0					CM=1				
SNA \ STA x1 x0	00	01	11	10	SNA \ STA x1 x0	00	01	11	10
00	0	0	1	0	00	0	0	1	0
01	0	0	1	0	01	0	0	1	0
11	0	0	1	0	11	0	0	1	0
10	0	0	1	0	10	0	0	1	0

$CA = x1 x0$

CM=0					CM=1				
SNA \ STA x1 x0	00	01	11	10	SNA \ STA x1 x0	00	01	11	10
00	0	0	1	0	00	0	0	1	0
01	0	0	1	0	01	0	0	1	0
11	0	1	1	0	11	0	1	1	0
10	0	1	1	0	10	0	1	1	0

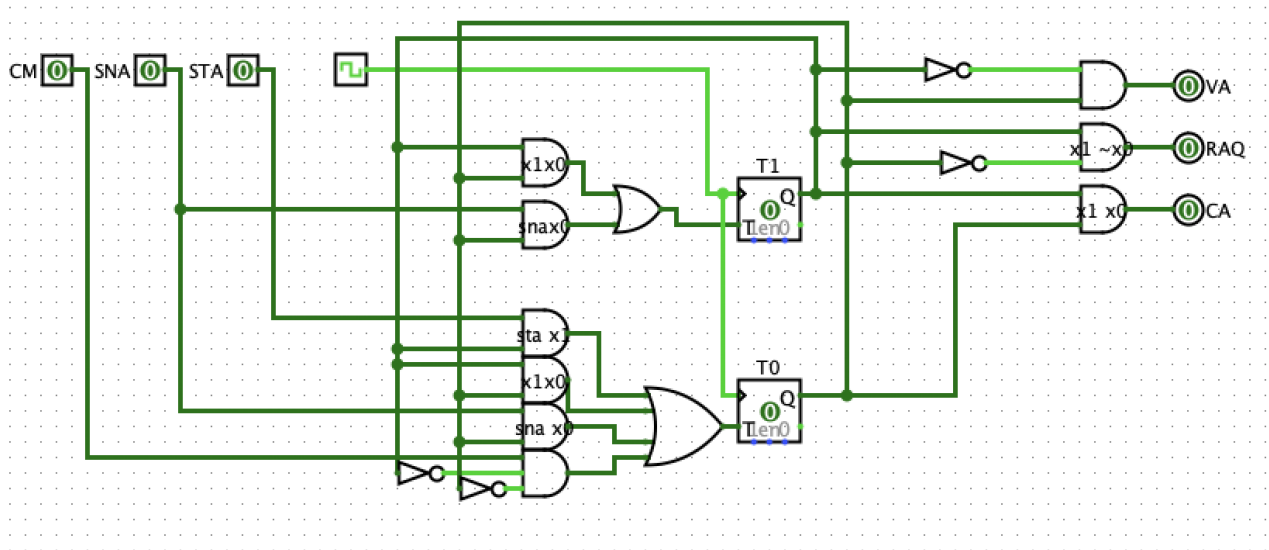
$T1 = x1 x0 + SNA x0$

CM=0					CM=1				
SNA \ STA x1 x0	00	01	11	10	SNA \ STA x1 x0	00	01	11	10
00	0	0	1	0	00	1	0	1	0
01	0	0	1	1	01	1	0	1	1
11	0	1	1	1	11	1	1	1	1
10	0	1	1	0	10	1	1	1	0

$T0 = STA x1 + x1 x0 + SNA x0 + CM \bar{x1} \bar{x0}$



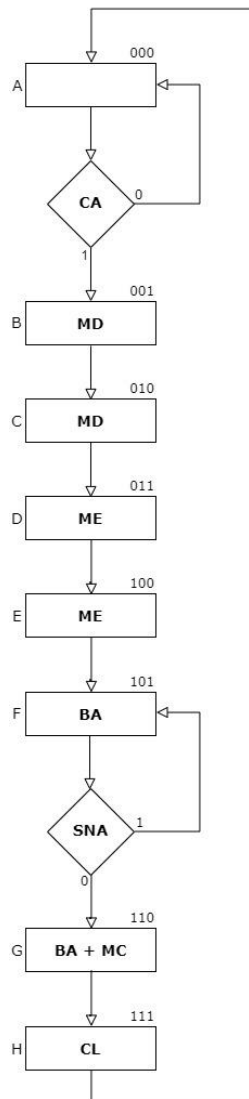
5.5. Modelo Logisim





6. Módulo de Controle da Lavagem

6.1. Modelo ASM



6.2. Modo de funcionamento

Entradas:

- Controle da Água (CA);
- Sensor de Nível da Água (SNA).

Saídas:

- Motor em modo Direita (MD);



- Motor em modo Esquerda (ME);
- Bomba de Água (BA);
- Motor em modo Centrifugação (MC);
- Controle da Lavagem (CL).

O circuito deste módulo é composto por oito estados, cuja codificação binária é composta por três bits. O módulo inicia quando a entrada CA, que é saída do último estado do Módulo de Controle da Água, for ativa. É somente no segundo estado deste módulo que a saída MD é ativada para dar início ao funcionamento do motor da máquina de lavar, primeiramente para o lado direito, durante dois ciclos de impulso do relógio; após estes dois ciclos, irá funcionar novamente dois ciclos para o lado esquerdo. Após estes quatro ciclos de motor em funcionamento, o circuito estará no estado F, no qual a saída BA será ativa para começar a retirar toda a água que se encontra dentro da máquina de lavar. O circuito estará neste estado, com a bomba de água a trabalhar, até que o SNA fique desativado, tome o valor 0 e o motor da máquina inicie em modo de centrifugação, deixando a bomba de água ainda a funcionar, em simultâneo. Após este ciclo em modo de centrifugação, toda a lavagem estará terminada, portanto o circuito irá transitar do estado G para o H, ativando a saída CL, a qual, no Módulo de Controlo da Máquina, como entrada irá dar fim a todo o circuito e, portanto, a toda a lavagem.

6.3. Tabela de transição de estados

CM	SNA	Qn	Qn+1	Qn			Qn+1			MD	ME	BA	BA+MC	CL	T2	T1	T0
				x2	x1	x0	x2	x1	x0								
0	X	A	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	X	A	B	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
X	X	B	C	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1
X	X	C	D	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1
X	X	D	E	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1
X	X	E	F	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1
X	1	F	F	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
X	0	F	G	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1
X	X	G	H	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1
X	X	H	A	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1



6.4. Mapas de Karnaugh

CA=0					CA=1				
<div><div>x1 x0</div><div>SNA \ x2</div></div>	00	01	11	10	<div><div>x1 x0</div><div>SNA \ x2</div></div>	00	01	11	10
00	0	1	0	1	00	0	1	0	1
01	0	0	0	0	01	0	0	0	0
11	0	0	0	0	11	0	0	0	0
10	0	1	0	1	10	0	1	0	1

$$MD = \bar{x_2} \bar{x_1} x_0 + \bar{x_2} x_1 \bar{x_0}$$

CA=0					CA=1				
<div><div>x1 x0</div><div>SNA</div><div>x2</div></div>	00	01	11	10	<div><div>x1 x0</div><div>SNA</div><div>x2</div></div>	00	01	11	10
00	0	0	1	0	00	0	0	1	0
01	1	0	0	0	01	1	0	0	0
11	1	0	0	0	11	1	0	0	0
10	0	0	1	0	10	0	0	1	0

$$ME = x_2 \bar{x}_1 \bar{x}_0 + \bar{x}_2 x_1 \bar{x}_0$$



CA=0					CA=1				
$\begin{matrix} x1 & x0 \\ \text{SNA} \backslash x2 \\ & 00 & 01 & 11 & 10 \end{matrix}$	00	01	11	10	$\begin{matrix} x1 & x0 \\ \text{SNA} \backslash x2 \\ & 00 & 01 & 11 & 10 \end{matrix}$	00	01	11	10
00	0	0	0	0	00	0	0	0	0
01	0	1	0	0	01	0	1	0	0
11	0	1	0	0	11	0	1	0	0
10	0	0	0	0	10	0	0	0	0
$BA = x2 \overline{x1} \overline{x0}$									

CA=0					CA=1				
$\begin{matrix} x1 & x0 \\ \text{SNA} \backslash x2 \\ & 00 & 01 & 11 & 10 \end{matrix}$	00	01	11	10	$\begin{matrix} x1 & x0 \\ \text{SNA} \backslash x2 \\ & 00 & 01 & 11 & 10 \end{matrix}$	00	01	11	10
00	0	0	0	0	00	0	0	0	0
01	0	0	0	1	01	0	0	0	1
11	0	0	0	1	11	0	0	0	1
10	0	0	0	0	10	0	0	0	0
$BA+MC = x2 \overline{x1} \overline{x0}$									



CA=0					CA=1				
$\begin{matrix} x1 & x0 \\ \hline SNA & \\ x2 & \end{matrix}$	00	01	11	10	$\begin{matrix} x1 & x0 \\ \hline SNA & \\ x2 & \end{matrix}$	00	01	11	10
00	0	0	0	0	00	0	0	0	0
01	0	0	1	0	01	0	0	1	0
11	0	0	1	0	11	0	0	1	0
10	0	0	0	0	10	0	0	0	0
CL = x2 x1 x0									

CA=0					CA=1				
$\begin{matrix} x1 & x0 \\ \hline SNA & \\ x2 & \end{matrix}$	00	01	11	10	$\begin{matrix} x1 & x0 \\ \hline SNA & \\ x2 & \end{matrix}$	00	01	11	10
00	0	0	1	0	00	0	0	1	0
01	0	0	1	0	01	0	0	1	0
11	0	0	1	0	11	0	0	1	0
10	0	0	1	0	10	0	0	1	0
T2 = x1 x0									



CA=0					CA=1				
SNA \ x1 x0	00	01	11	10	SNA \ x1 x0	00	01	11	10
x2					x2				
00	0	1	1	0	00	0	1	1	0
01	0	1	1	0	01	0	1	1	0
11	0	0	1	0	11	0	0	1	0
10	0	1	1	0	10	0	1	1	0

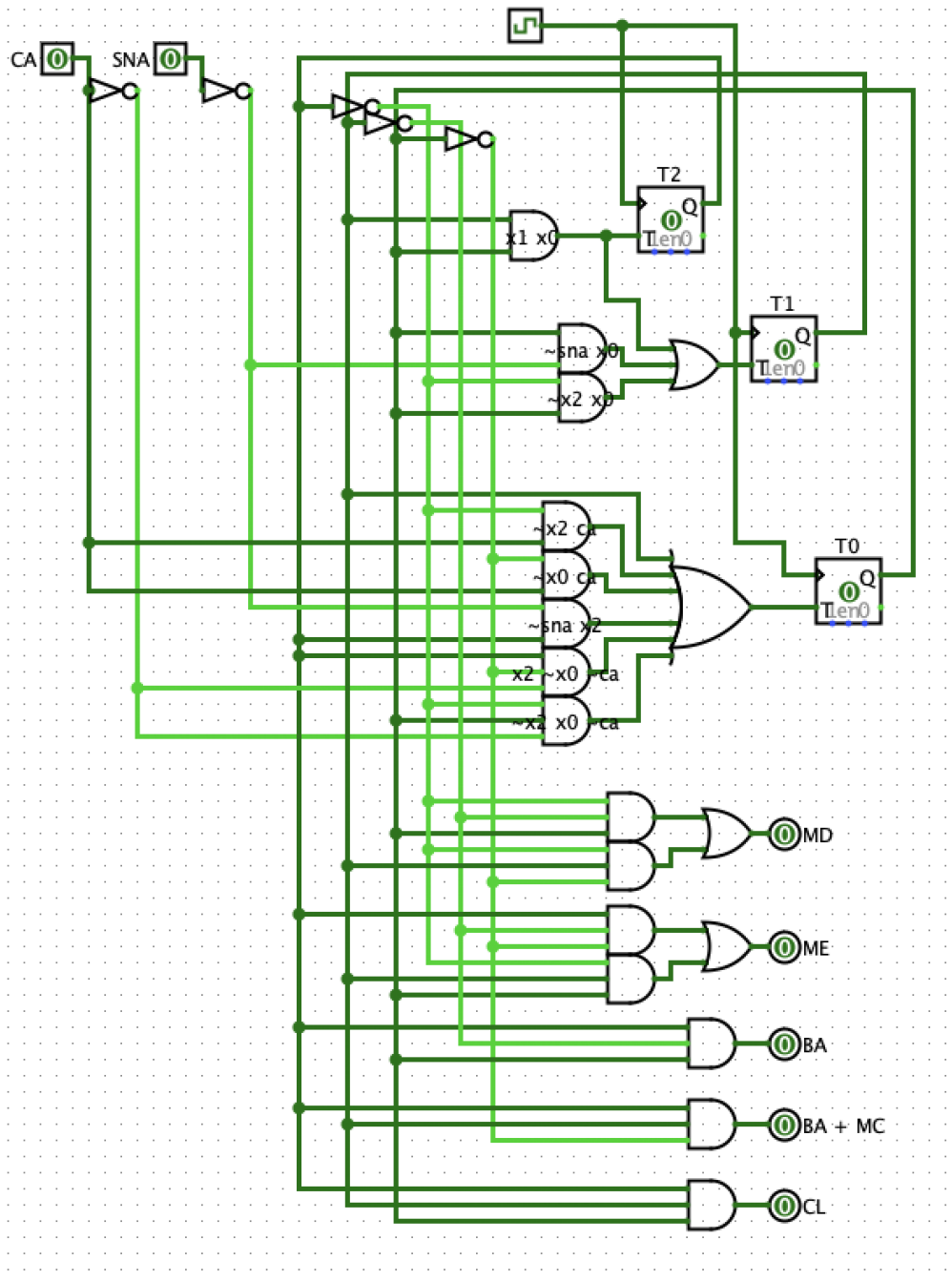
$T1 = x1 \ x0 + \overline{SNA} \ x0 + \overline{x2} \ x0$

CA=0					CA=1				
SNA \ x1 x0	00	01	11	10	SNA \ x1 x0	00	01	11	10
x2					x2				
00	0	1	1	1	00	1	1	1	1
01	1	1	1	1	01	1	1	1	1
11	1	0	1	1	11	1	0	1	1
10	0	1	1	1	10	1	1	1	1

$T0 = x1 + \overline{x2} \ CA + \overline{x0} \ CA + \overline{SNA} \ x2 + x2 \ \overline{x0} \ CA + \overline{x2} \ x0 \ \overline{CA}$

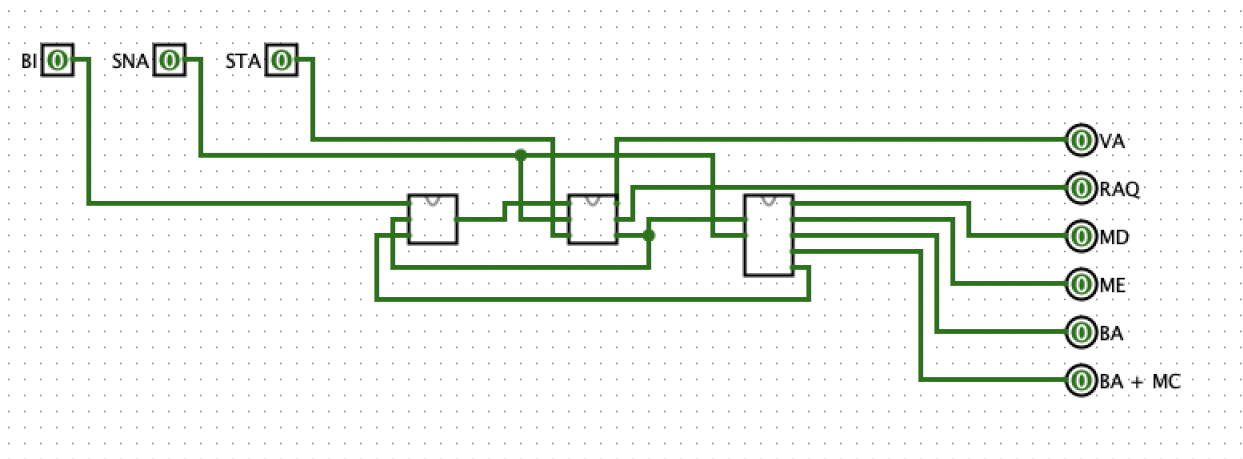


6.5. Modelo Logisim





7. Logigrama do circuito



8. Conclusão

Para a realização deste trabalho prático foi necessário aplicar todos os conhecimentos adquiridos ao longo do semestre, desde as bases à matéria mais complexa. Percebemos que é mais fácil dividir um circuito complexo em circuitos mais simples de modo a ligá-los entre si após a implementação de cada um, facilitando assim a sua observação, sendo mais fácil visualizar qualquer erro que tenha sido transcrito para as ligações no logisim. Deparámo-nos com algumas dificuldades durante a realização deste trabalho, tais como, pequenas falhas nos modelos ASM e erros na simplificação dos mapas de Karnaugh (que prejudicou consequentemente os logigramas e as suas ligações), que, após algum esforço, facilmente foram corrigidos.