

Desenvolvimento de Sistemas de Irrigação Inteligentes: A Aplicação de MEFs na Automação de Processos

Edgar Rodrigo Rocha Silva^{} e Cleidson Ramos de Carvalho^{*}*

*Uefs - Universidade Estadual de Feira de Santana
akhilhakai@gmail.com , cleidson.ramos788@gmail.com*

Resumo: As Máquinas de Estados Finitos (MEFs) são fundamentais no desenvolvimento de sistemas digitais, possibilitando um controle preciso de operações complexas por meio de estados e transições bem definidas. Este artigo aborda a implementação de MEFs no contexto de automação de processos, com foco em um sistema de controle de rega e adubação. Foram utilizados kits CPLD personalizados para gerenciar eficientemente as funções de irrigação. Optou-se pelo uso de MEFs de Mealy devido à sua capacidade de resposta rápida a alterações nas entradas do sistema, essencial para a precisão e eficiência no controle proposto. O artigo detalha desde a concepção dos diagramas de transição de estados até a simplificação de expressões lógicas para implementação em circuitos digitais. Resultados demonstram como a escolha de MEFs de Mealy contribui significativamente para a eficiência e precisão do sistema.

Palavras-chave: Máquinas de Estados Finitos, MEF de Mealy, Automação, Sistemas Digitais, Controle de Rega e Adubação, CPLD.

Abstract: Finite State Machines (FSMs) are essential in the development of digital systems, enabling precise control of complex operations through well-defined states and transitions. This paper discusses the implementation of FSMs in process automation, focusing on an irrigation and fertilization control system. Custom CPLD kits were used to efficiently manage irrigation functions. Mealy FSMs were chosen due to their rapid response capability to system input changes, which is crucial for the proposed control system's accuracy and efficiency. The paper details the process from designing state transition diagrams to simplifying logic expressions for implementation in digital circuits. Results demonstrate how the choice of Mealy FSMs significantly contributes to the system's efficiency and accuracy.

Keywords: Finite State Machines, Mealy FSM, Automation, Digital Systems, Irrigation and Fertilization Control, CPLD.

1 Introdução

Máquinas de Estados Finitos (MEFs) são uma ferramenta essencial no desenvolvimento de sistemas digitais, permitindo o controle preciso de operações complexas através de estados e transições definidos. No contexto de automação de processos, as MEFs são frequentemente empregadas para gerenciar sistemas que requerem respostas rápidas e precisas a diversas condições de entrada.

Este artigo detalha a implementação das MEFs, abordando desde a concepção dos diagramas de transição de estados até a simplificação de expressões lógicas para implementação em circuitos digitais. A escolha de MEFs de Mealy é discutida em relação às suas vantagens para o sistema em questão, destacando como essa abordagem contribui para a eficiência e precisão do controle de rega e adubação.

2 Arquitetura

2.1 Materiais usados

O sistema criado utiliza uma combinação de periféricos de entrada e saída para gerenciar de forma eficiente as funções de rega e fertilização. Foi empregado um kit CPLD personalizado, o LEDS-CPLD, desenvolvido pelo LEDS-UEFS. Este kit é composto por duas placas: uma com o circuito integrado CPLD da família Intel Max II, modelo EPM240T100C5N, e outra com recursos comuns na eletrônica digital, como LEDs, chaves, switches, etc. Os principais componentes são:

2.2 Escolha da Máquina de Estados Finitos (MEF)

Para o projeto, foram utilizadas duas Máquinas de Estados Finitos (MEFs), uma no módulo Fill e outra no módulo Fertilizing, com mais informações detalhadas a seguir sobre os módulos. Optou-se pela utilização de uma Máquina de Estados de Mealy, adequada para aplicações onde as saídas são influenciadas tanto pelos estados quanto pelas entradas do sistema. A vantagem principal de uma MEF de Mealy é sua capacidade de fornecer respostas rápidas às mudanças nas entradas, essencial para a precisão e eficiência do controle de rega e adubação.

2.3 Módulos e Diagrama de Alto Nível

O sistema possui diversas entradas e saídas que são fundamentais para seu funcionamento. Entre as entradas, temos a chave BS para selecionar o tipo de rega, especificamente a bomba de aspersão, e a chave VS para selecionar a válvula de gotejamento. O botão é utilizado para escolher o modo de adubação, enquanto o clock é gerado pela própria CPLD. Em relação às saídas, a matriz de LEDs indica o nível da água, o LED RGB sinaliza erros ou indica se o modo de adubação está ativado, o mostrador de 7 segmentos exibe o tipo de rega e o status de limpeza, e a barra de LEDs apresenta a Ve (válvula de entrada), Bs, e Vs.

O sistema é composto por nove módulos funcionais, cada um com suas responsabilidades específicas:

- Fill: gerencia a entrada de água na caixa d'água.
- Divisor_Clock: divide a frequência em três níveis distintos: um rápido e dois mais lentos.
- ControleFrequencia: responsável por selecionar uma das três frequências disponíveis.
- ControladorDisplay: ajusta a exibição no mostrador de 7 segmentos.
- Fertilizing: supervisiona o processo de fertilização.
- ControladorNivelAgua: regula o nível de água na caixa.
- ControleAdubação: administra a interrupção da irrigação, a limpeza do sistema e o nível de água.
- ControleRega: define o tipo de irrigação e sinaliza erros no processo.
- ControleMatriz: gerencia a visualização na matriz de LEDs.

Para uma visão mais clara da interação entre esses módulos, veja o diagrama de alto nível a seguir.

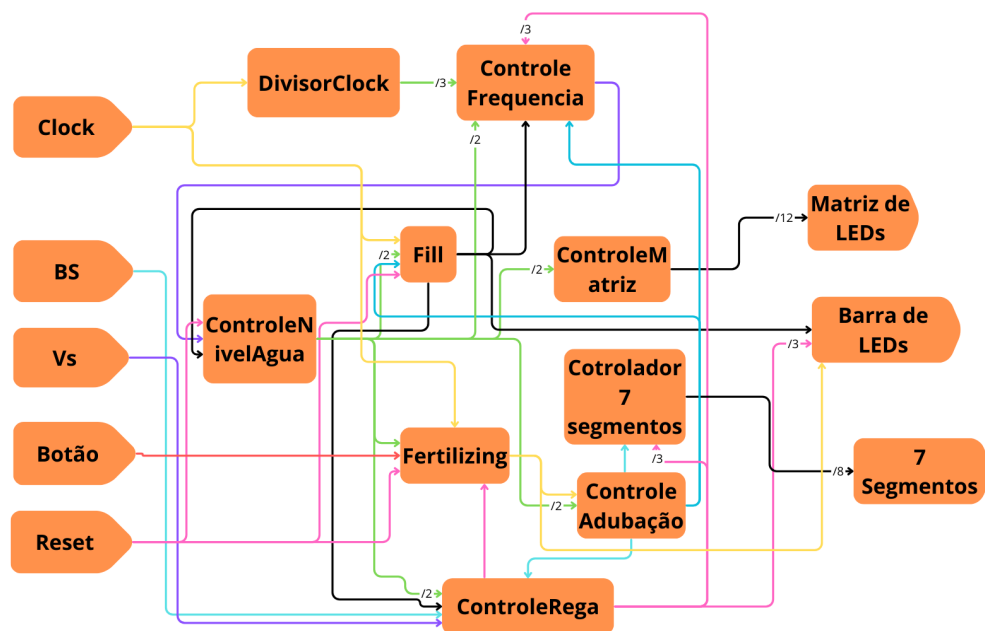


Figura 2.1 – Diagrama de alto nível

3 Formalização do Projeto

3.1 MEF do Módulo Fill

A Máquina de Estados Finitos (MEF) do módulo Fill é responsável pelo controle da entrada de água na caixa d'água. O objetivo principal desta MEF é gerenciar o processo de enchimento da caixa, garantindo que a água seja introduzida de forma adequada e que o nível da água seja monitorado.

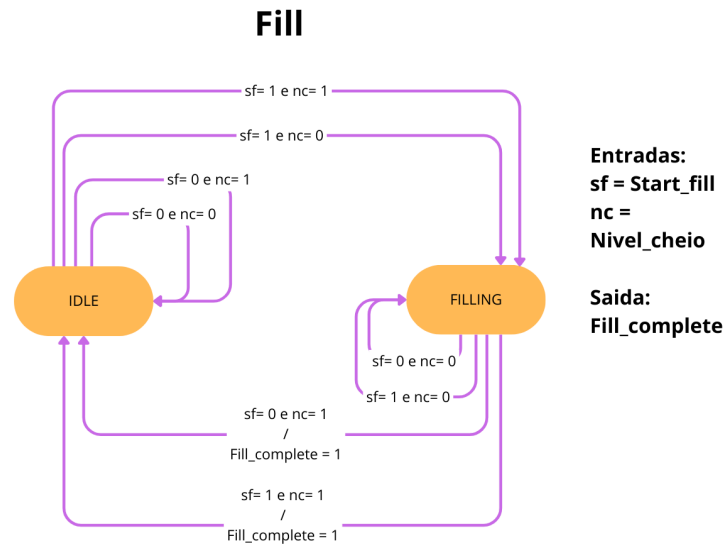


Figura 3.1 – Diagrama de transição de estados da MEF Fill

A partir do diagrama de transição, pode-se criar a tabela de transição de estados.

Tabela 3.1 – Tabela de transição de estados da MEF Fil

Estado Atual	INPUT		OUTPUT	
	Vazio	Nivel_Cheio	Próximo Estado	state
IDLE (0)	0	0	IDLE (0)	0
IDLE (0)	0	1	IDLE (0)	0
IDLE (0)	1	0	FILLING (1)	0
IDLE (0)	1	1	FILLING (1)	0
FILLING (1)	0	0	FILLING (1)	1
FILLING (1)	0	1	IDLE (0)	1
FILLING (1)	1	0	FILLING (1)	1
FILLING (1)	1	1	IDLE (0)	1

Com a tabela de transição completa, pode-se criar a tabela de excitação do flip-flop tipo D, que representa o próximo estado.

Tabela 3.2 – Tabela de excitação do flip-flop tipo D da MEF Fill

INPUT			OUTPUT	
Estado Atual	Vazio	Nivel_Cheio	Próximo Estado	state
0	0	0	0	0
0	0	1	0	0
0	1	0	1	0
0	1	1	1	0
1	0	0	1	1
1	0	1	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1

Com a tabela de excitação completa, podemos fazer a simplificação usando o mapa de Karnaugh:

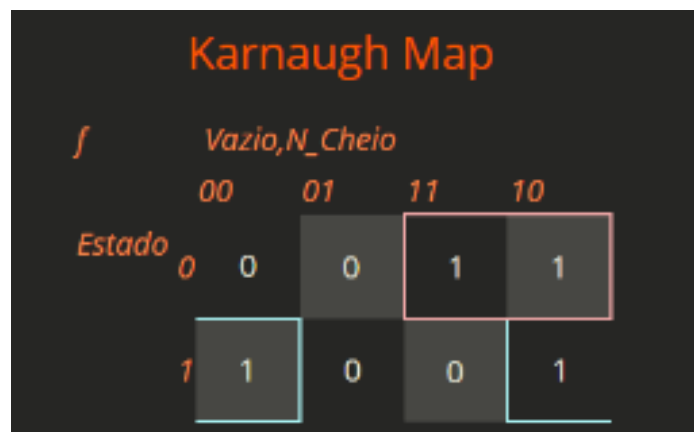


Figura 3.2 – Mapa de Karnaugh do próximo estado da MEF Fill

Karnaugh Map

<i>f</i>		<i>Vazio, N_Cheio</i>			
		00	01	11	10
<i>Estado</i>	0	0	0	0	0
	1	1	1	1	1

Figura 3.3 – Mapa de Karnaugh da saída State da MEF Fill

Com isso, obtém-se a expressão simplificada do próximo estado: $Px.E = Estado'. Vazio + Estado . N_Cheio'$ e $State = Estado$. Com a expressão simplificada, pode-se criar o circuito.

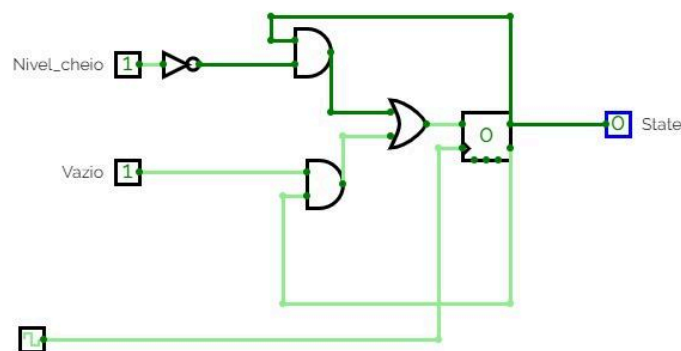


Figura 3.4 – Circuito da MEF Fill

2.2 MEF do Módulo Fertilizing

A Máquina de Estados Finitos (MEF) do módulo Fertilizing é responsável pelo controle preciso e eficiente do processo de adubação no sistema de irrigação. Este módulo é crucial para garantir que a adubação ocorra nos momentos adequados.

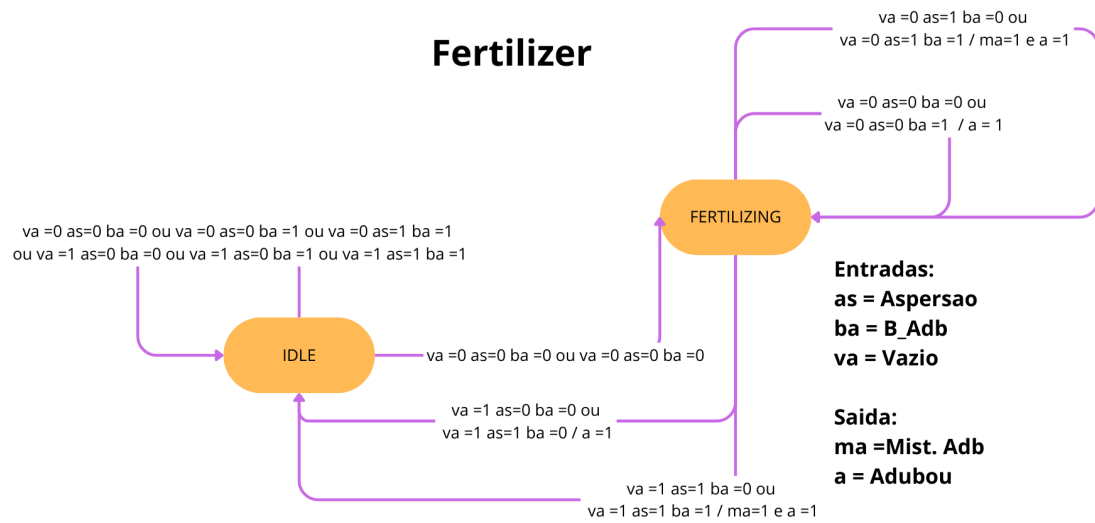


Figura 3.5 – Diagrama de transição da MEF Fertilizing

A partir do diagrama de transição, pode-se criar a tabela de transição de estados.

Tabela 3.3 – Tabela de transição de estados da MEF Fertilizing

INPUT				OUTPUT		
Estado Atual	Vazio	Aspersao	B_Adb	Próximo Estado	Mist. Adb	Adubou
IDLE (0)	0	0	0	IDLE (0)	0	0
IDLE (0)	0	0	1	IDLE (0)	0	0
IDLE (0)	0	1	0	FERTILIZING (1)	0	0
IDLE (0)	0	1	1	IDLE (0)	0	0
IDLE (0)	1	0	0	IDLE (0)	0	0
IDLE (0)	1	0	1	IDLE (0)	0	0
IDLE (0)	1	1	0	FERTILIZING (1)	0	0
IDLE (0)	1	1	1	IDLE (0)	0	0
FERTILIZING (1)	0	0	0	FERTILIZING (1)	0	1
FERTILIZING (1)	0	0	1	FERTILIZING (1)	0	1
FERTILIZING (1)	0	1	0	FERTILIZING (1)	1	1
FERTILIZING (1)	0	1	1	FERTILIZING (1)	1	1
FERTILIZING (1)	1	0	0	IDLE (0)	0	1
FERTILIZING (1)	1	0	1	IDLE (0)	0	1
FERTILIZING (1)	1	1	0	IDLE (0)	1	1
FERTILIZING (1)	1	1	1	IDLE (0)	1	1

Com a tabela de transição completa, pode-se criar a tabela de excitação do flip-flop tipo D, que representa o próximo estado.

Tabela 3.4 – Tabela de excitação do flip-flop tipo D da MEF Fertilizing

Estado Atual	Vazio	Aspersao	B_Adb	Próximo Estado	Mist. Adb	Adubou
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0
0	0	1	1	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0	0
0	1	1	0	1	0	0
0	1	1	1	0	0	0
1	0	0	0	1	0	1
1	0	0	1	1	0	1
1	0	1	0	1	1	1
1	0	1	1	1	1	1
1	1	0	0	0	0	1
1	1	0	1	0	0	1
1	1	1	0	0	1	1
1	1	1	1	0	1	1

Com a tabela de excitação completa, podemos fazer a simplificação usando o mapa de Karnaugh:

**Figura 3.6** – Mapa de Karnaugh do próximo estado da MEF Fertilizing

Karnaugh Map

f *Aspersao, B_Adb*

		00	01	11	10
<i>Estado, Vazio</i> 00	0	0	0	0	0
01	0	0	0	0	0
11	0	0	1	1	
10	0	0	1	1	

Figura 3.7 – Mapa de Karnaugh da saída Mistura Adubação da MEF Fertilizing

Karnaugh Map

f *Aspersao, B_Adb*

		00	01	11	10
<i>Estado, Vazio</i> 00	0	0	0	0	0
01	0	0	0	0	0
11	1	1	1	1	
10	1	1	1	1	

Figura 3.8 – Mapa de Karnaugh da saída Mistura Adubação da MEF Fertilizing

Com isso, obtém-se a expressão simplificada do próximo estado:

$$Px.E = Estado' . Aspersao . B_Adb' + Estado . Vazio',$$

$$Mist.Adb = Estado . Aspersao \text{ e } Adubou = Estado.$$

Com a expressão simplificada, pode-se criar o circuito.

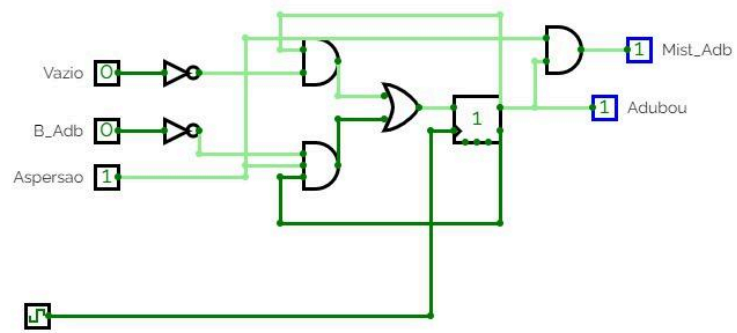


Figura 3.9 – Circuito da MEF Fertilizing