



UFC



III WINOTEC

III Workshop Internacional de
Inovações Tecnológicas na Irrigação

II Conferência Sobre Recursos Hídricos
do Semiárido Brasileiro

MANEJO AUTOMATIZADO DA IRRIGAÇÃO

ADUNIAS DOS SANTOS TEIXEIRA

adunias@ufc.br

INTRODUÇÃO

AUTOMAÇÃO: CONCEITOS

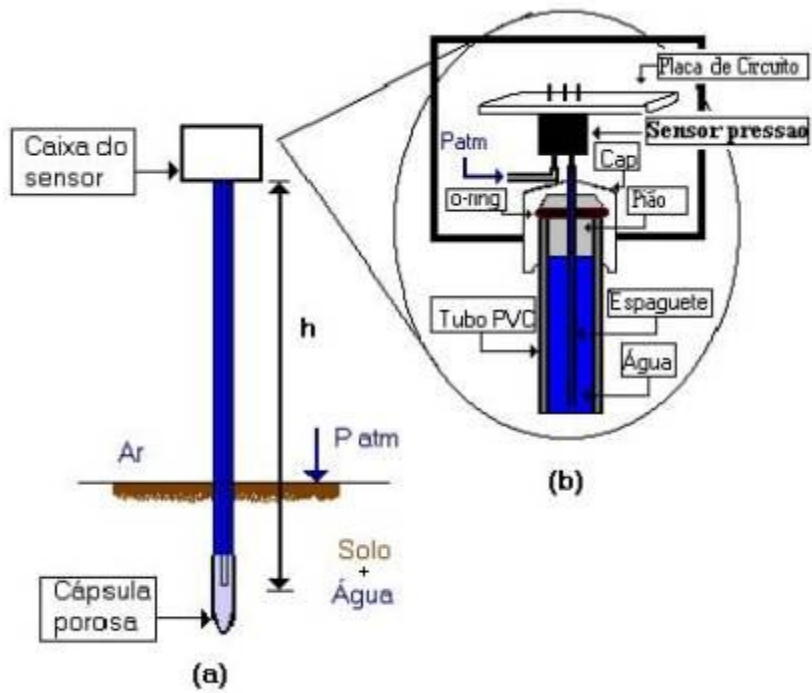
- SENSORES
- ATUADORES
- CONTROLE
 - MALHA ABERTA
 - MALHA FECHADA
 - ALGORITMOS DE CONTROLE

SENSORES

- TENSIÔMETRO
- CAPACITIVOS

TENSIÔMETROS

- TENSIÔMETRO ELETRÔNICO PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO:



$$P_2 = P_{atm} + \gamma_{H_2O}h + \psi_m$$

$$\Delta P = P_2 - P_1$$

$$P_1 = P_{atm}$$

$$\Delta P = +\gamma_{H_2O}h + \psi_m$$

$\Delta P = \text{offset de pressão};$

$$\psi_m = \text{offset de pressão} - \gamma_{H_2O}h$$

SENSOR CAPACITIVO

Considerando um capacitor de placas paralelas e planas, obtem-se a capacitância pela Equação apresentada abaixo.

$$C = \xi * \frac{ab}{d}$$

Sendo ab , a área das placas; d , a distância que as separa e ξ , a permissividade do meio.

SENSOR CAPACITIVO

Tabela 1 - Permissividade relativa de alguns constituintes do solo

Material	Permissividade Relativa
Ar	1
Água (20°C)	80
Gelo (-3°C)	3
Basalto	12
Granito	7-9
Silte seco	3,5
Areia seca	2,5

SENSOR CAPACITIVO

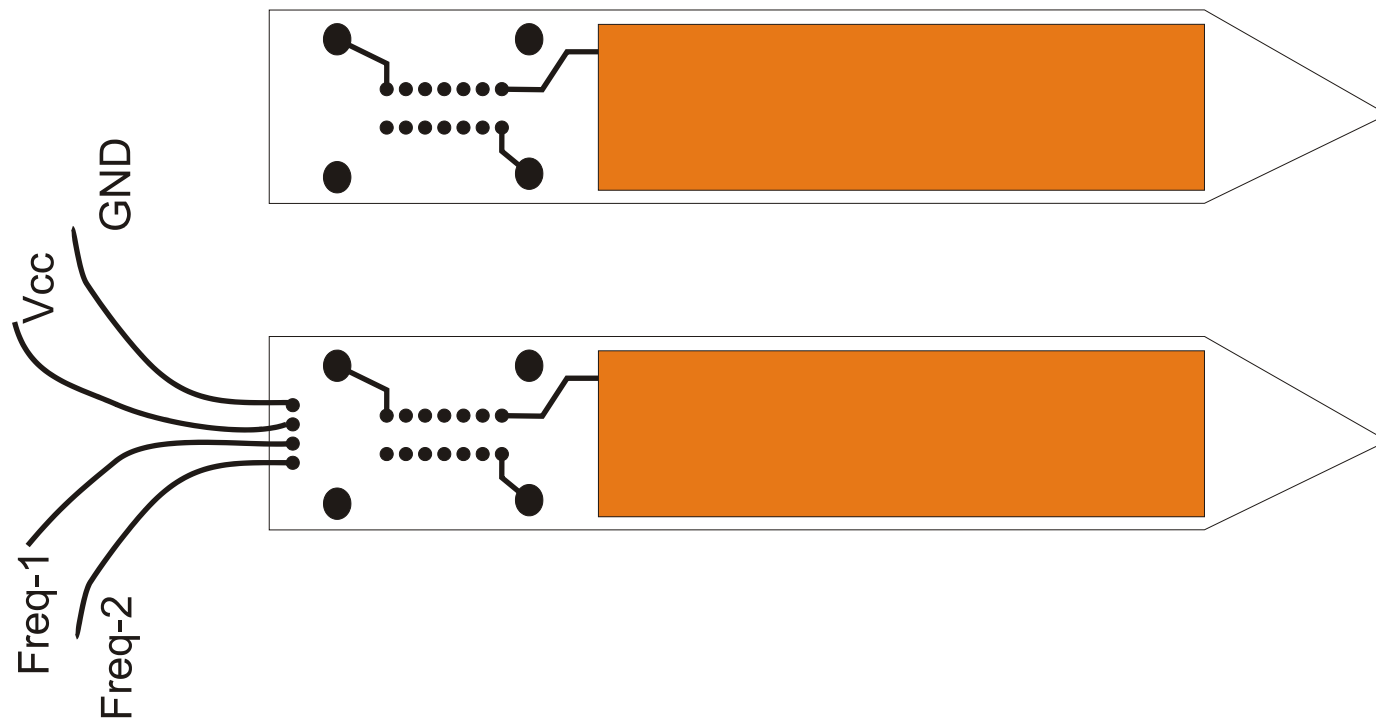


Figura 1 – Esboço do Sensor capacitivo.

SENSORES CAPACITIVOS

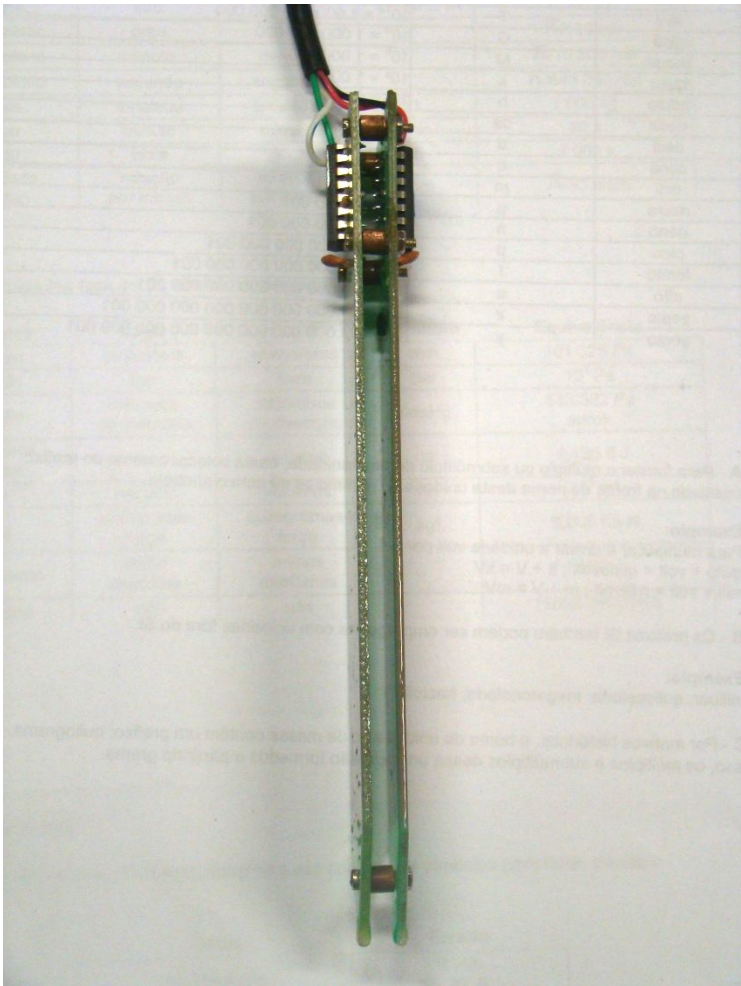


Figura 2 – Sensor Capacitivo.

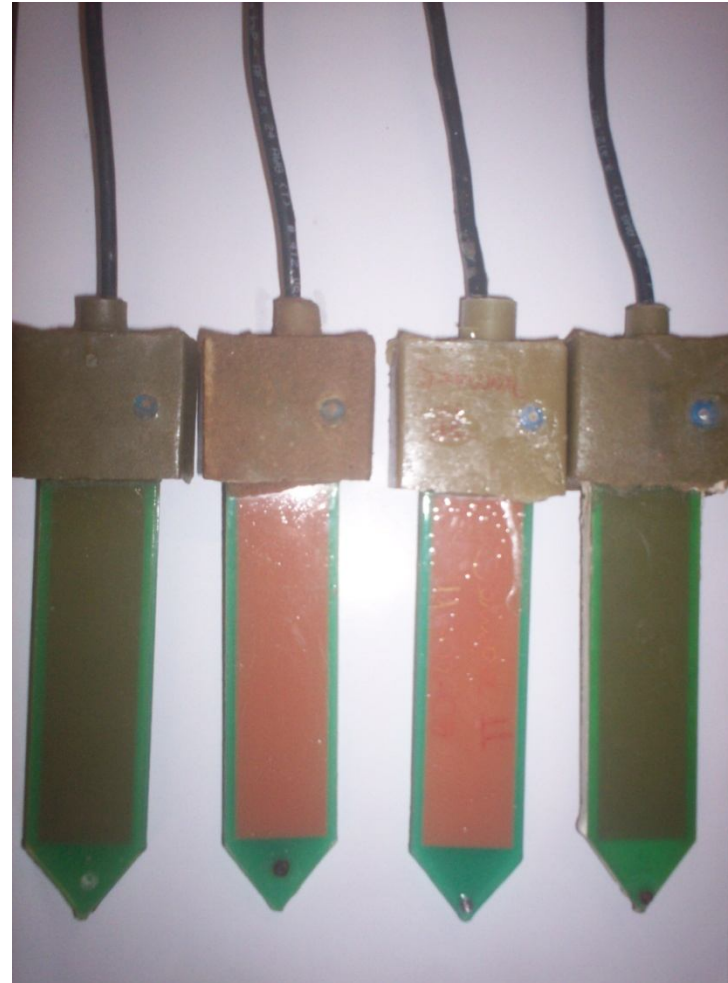


Figura 3 – Sensores capacitivos encapsulados e prontos para instalação.



Figura 4 – Sensor retirado do solo.



Figura 5 – Sensores preenchidos com solo.



Figura 6 – Sensores instalados no solo a duas profundidades.

Calibração em laboratório

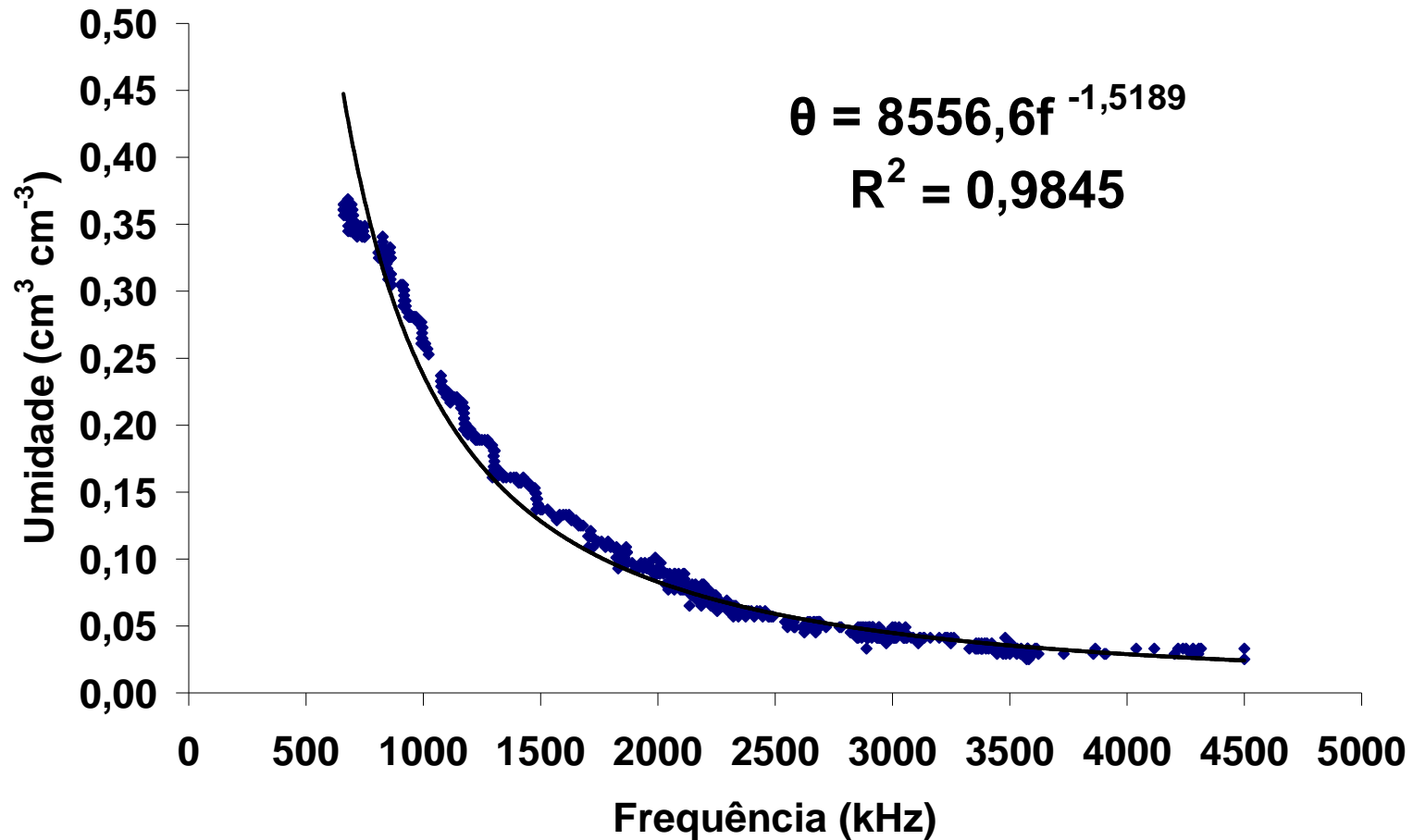


Figura 7 – Dispersão, em tempo real, dos dados do teor de água do solo versus respostas dos sensores TOPDEA a 10 cm de profundidade (Cruz, 2009).

Validação da calibração em campo

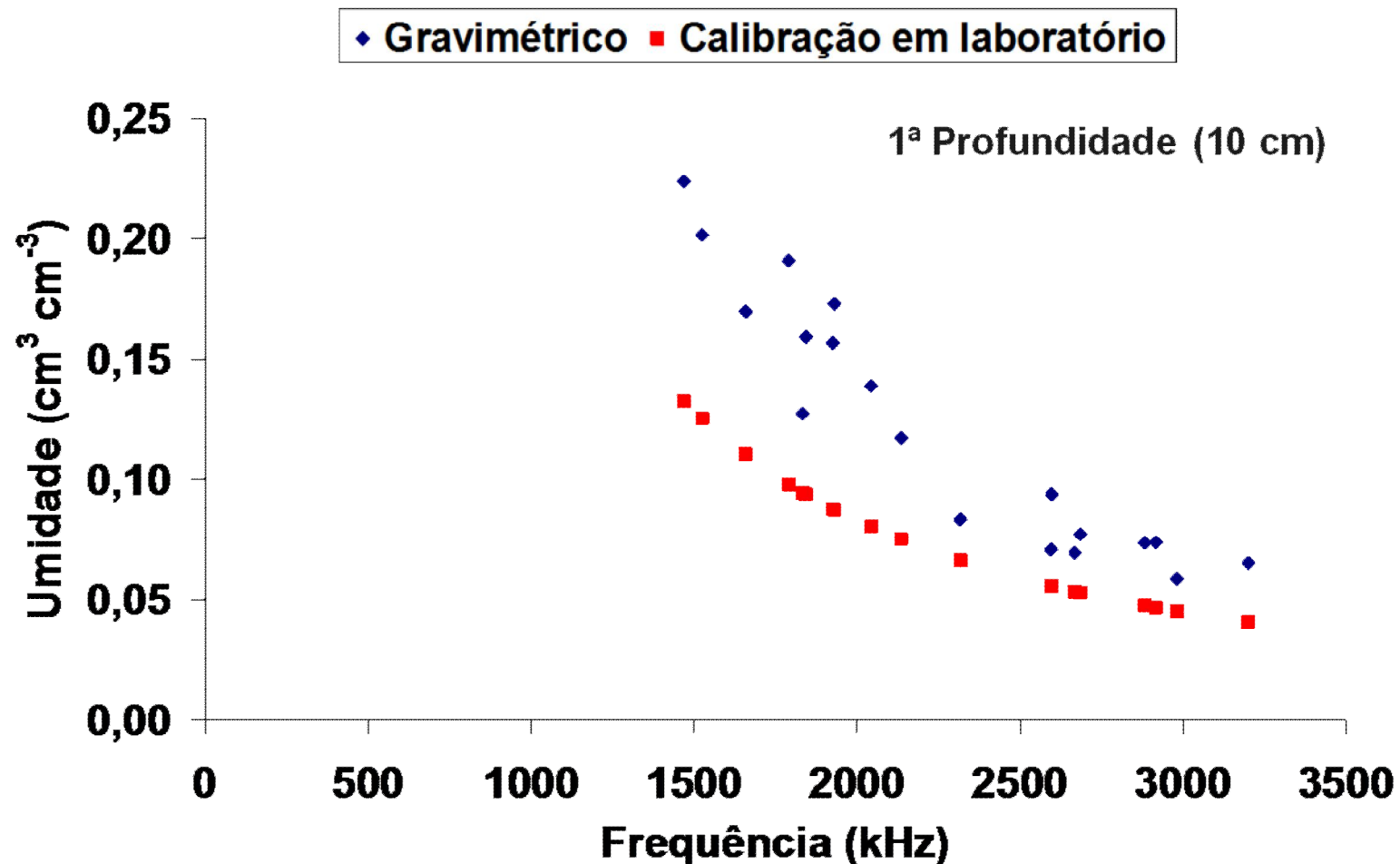


Figura 8 – Dispersão dos valores reais e estimados da umidade do solo com a resposta dos sensores TOPDEA a 10 cm de profundidade (Cruz, 2009).

ATUADORES

- VÁLVULAS
 - SOLENÓIDE - AC (24 VOLTS)
 - SOLENÓIDE – DC – LATCH (9 VOLTS)
- BOMBAS
 - CONTROLE ON/OFF
 - INVERSOR DE FREQUÊNCIA

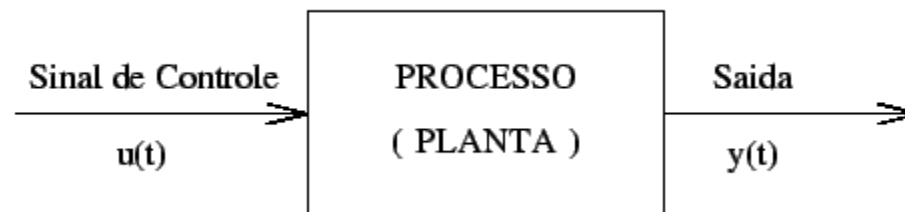
VARIÁVEL A CONTROLAR

- TEMPO DE IRRIGAÇÃO/DESLIGAMENTO: TIMER
- UMIDADE DO SOLO/TENSÃO DE ÁGUA NO SOLO

CONTROLE

- MALHA ABERTA

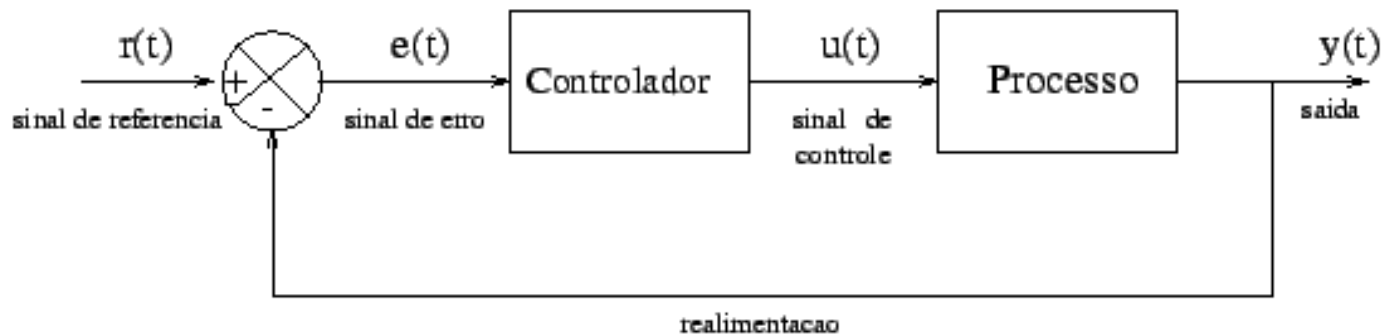
- O controle em malha aberta consiste em aplicar um sinal de controle pré-determinado, esperando-se que ao final de um determinado tempo a variável controlada atinja um determinado valor ou apresente um determinado comportamento. Neste tipo de sistema de controle não são utilizadas informações sobre evolução do processo para a determinar o sinal de controle a ser aplicado em um determinado instante. Mais especificamente, o sinal de controle não é calculado a partir de uma medição do sinal de saída.



CONTROLE

- MALHA FECHADA

- No controle em malha fechada, informações sobre como a saída de controle está evoluindo são utilizadas para determinar o sinal de controle que deve ser aplicado ao processo em um instante específico. Isto é feito a partir de uma *realimentação* da saída para a entrada. Em geral, a fim de tornar o sistema mais preciso e de fazer com que ele reaja a perturbações externas, o sinal de saída é comparado com um sinal de referência (chamado no jargão industrial de *set-point*) e o desvio (erro) entre estes dois sinais é utilizado para determinar o sinal de controle que deve efetivamente ser aplicado ao processo. Assim, o sinal de controle é determinado de forma a corrigir este desvio entre a saída e o sinal de referência. O dispositivo que utiliza o sinal de erro para determinar ou calcular o sinal de controle a ser aplicado à planta é chamado de *controlador* ou *compensador*.



ALGORITMOS DE CONTROLE

- BALANÇO HÍDRICO NO SOLO
- LÓGICA DIFUSA
- REDE NEURAL ARTIFICIAL

APLICAÇÃO

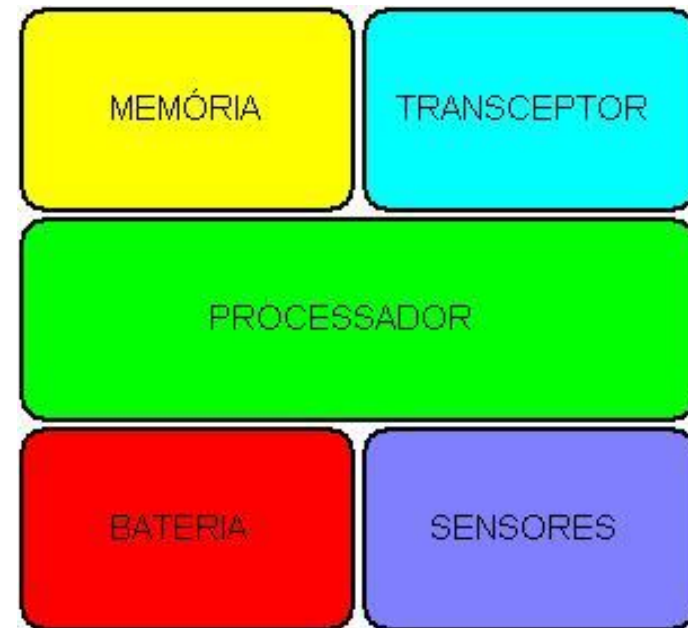
- MALHA FECHADA COM FIOS:
 - CANAFISTOLA, Francisco José Firmino ;
TEIXEIRA, A. S. et al. Controle de malha fechada para irrigação de precisão. ITEM. Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília, v. 67, p. 82-85, 2005.

APLICAÇÃO

- REDE DE SENSORES SEM FIO

Rede de Sensores Sem Fio:

- Módulo mestre;
- Módulo válvula;
- Módulo bomba;
- Módulo multihop;
- Modulo sensor
 - Transceptor;
 - Memória;
 - Processador;
 - Bateria;
 - Sensor de umidade



➤ Rádio sensor com bateria de 12 volts

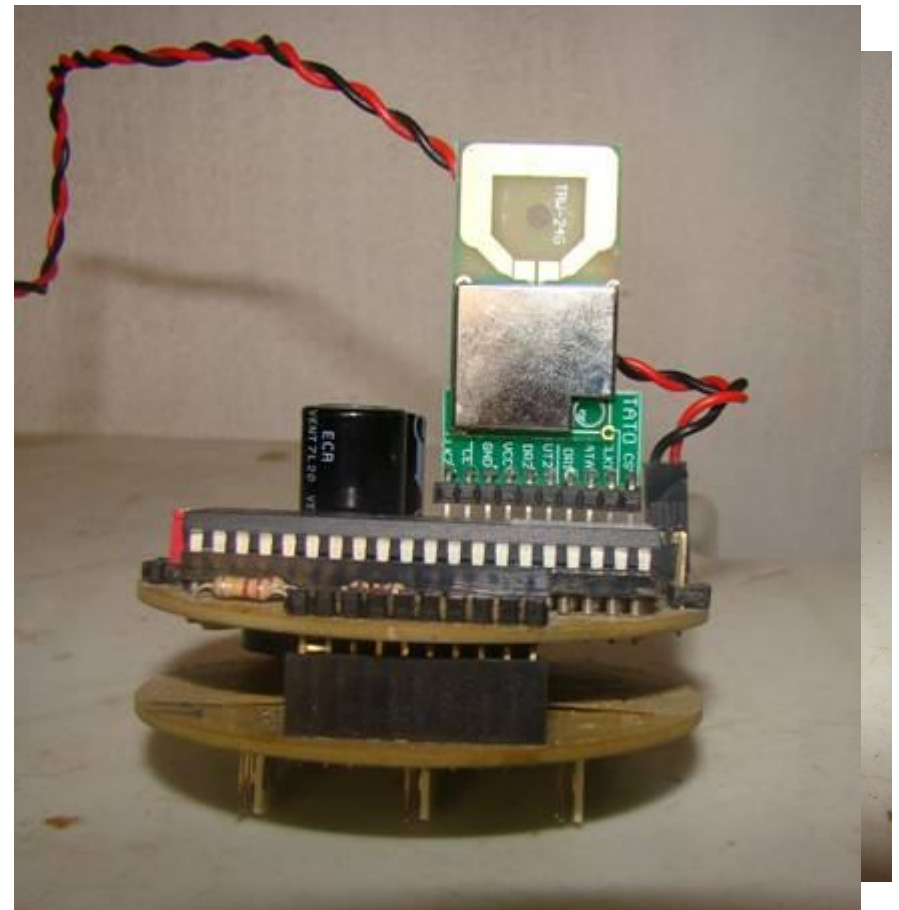
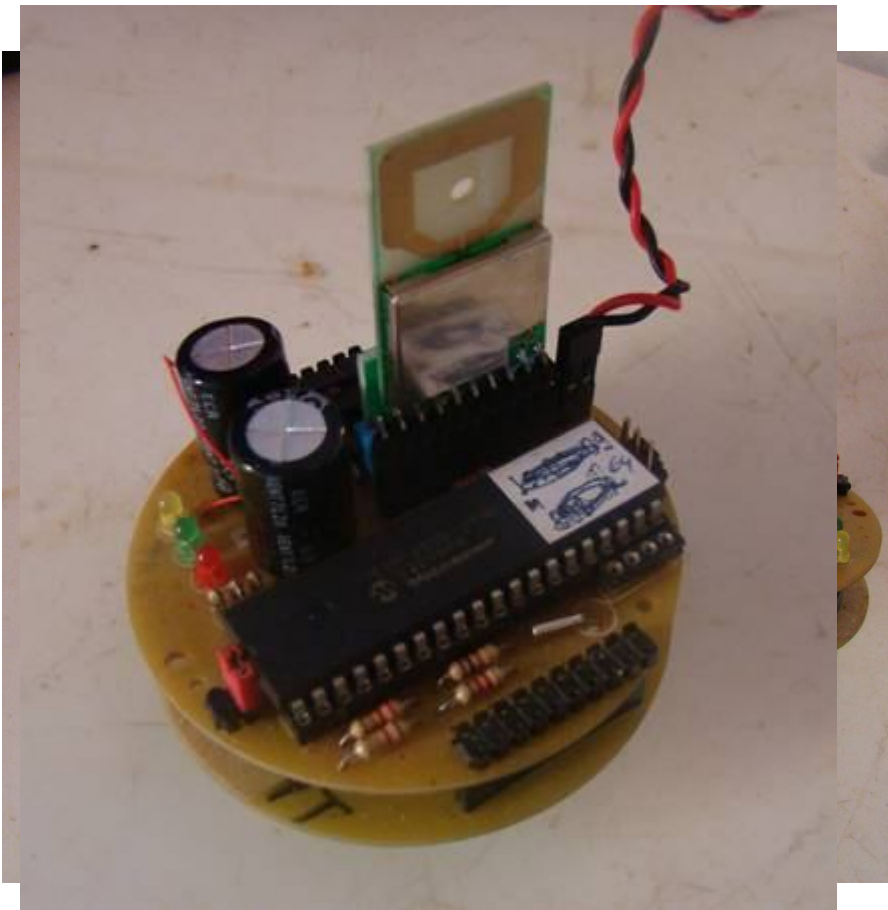


Figura 10—Rádios sensor montado e conectado a bateria.

➤ Transceptor

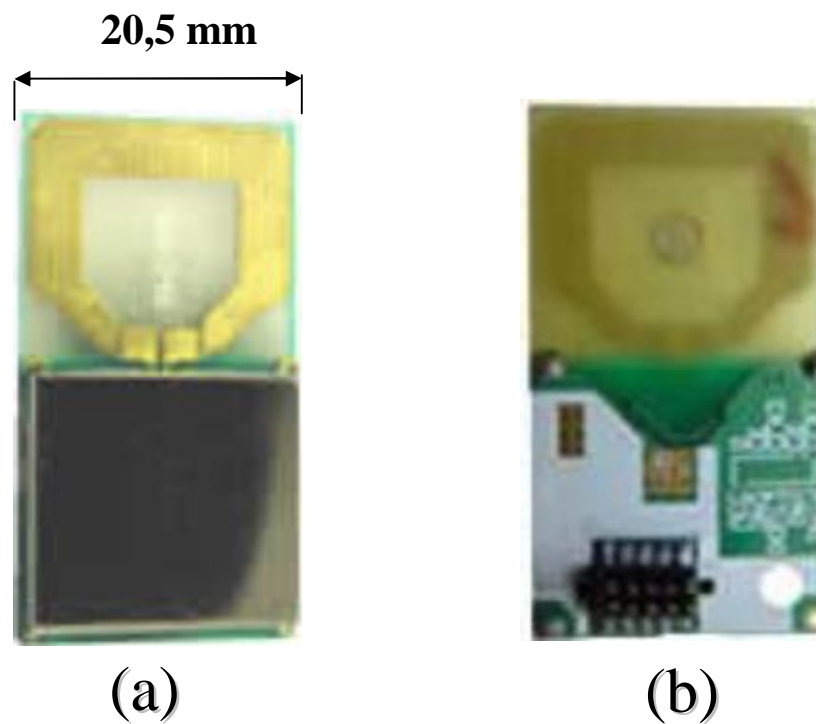


Figura 11 – Transceptor da Laipac, modelo TRF 2.4 GHz vista de frente (a) e vista do conector (b).

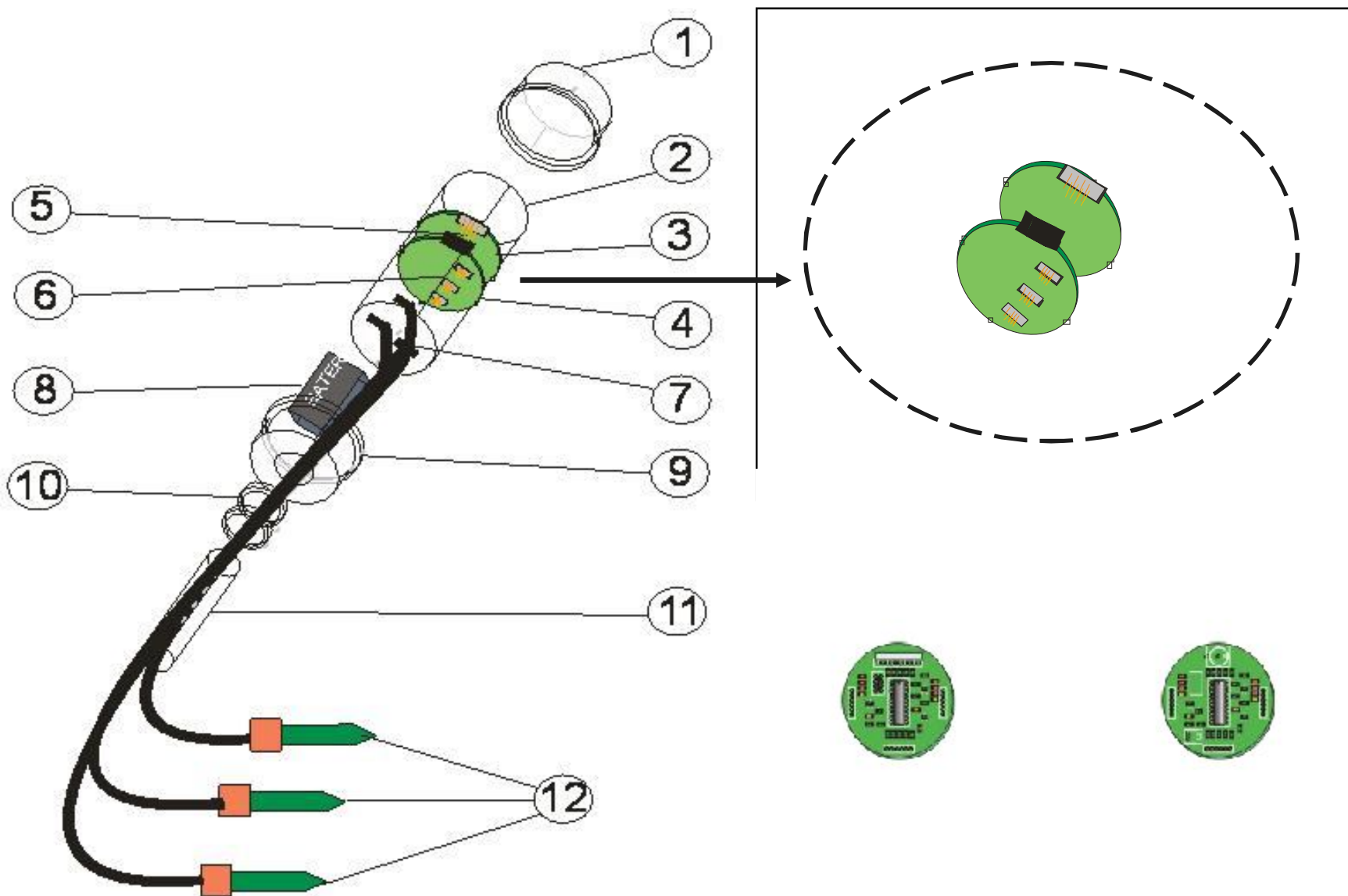


Figura 12 – Desenho esquemático do módulo sensor.



Figura 13 - Painel solar instalado no campo.



Figura 14 - Circuito para regular a passagem de tensão do painel solar para a bateria.

MÓDULO VÁLVULAS

- Acionamento automático das válvulas

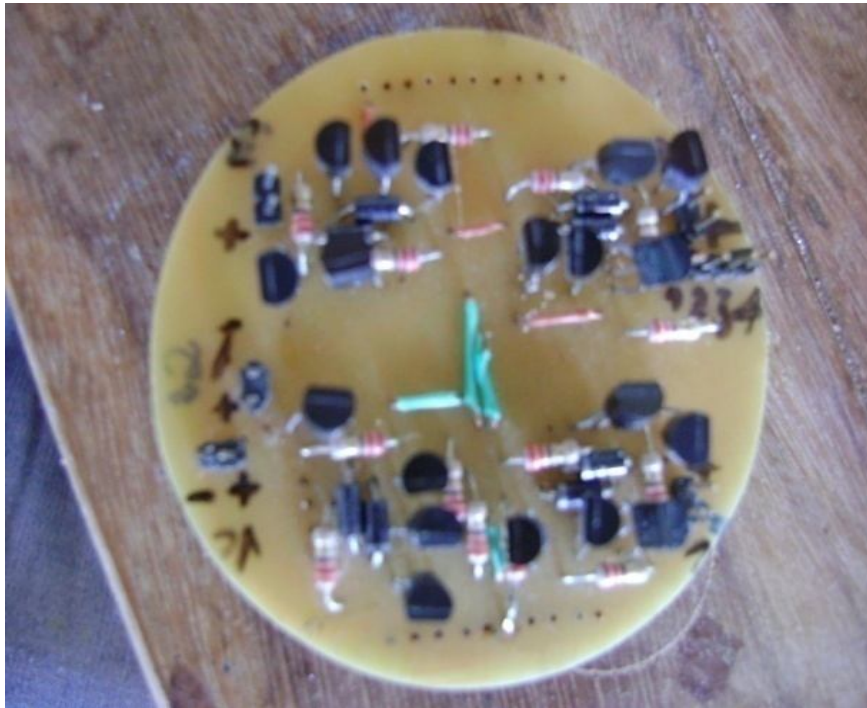


Figura 15 – Placa inferior de acionamento das válvulas



Figura 16 – Vista superior da placa base de acionamento das válvulas

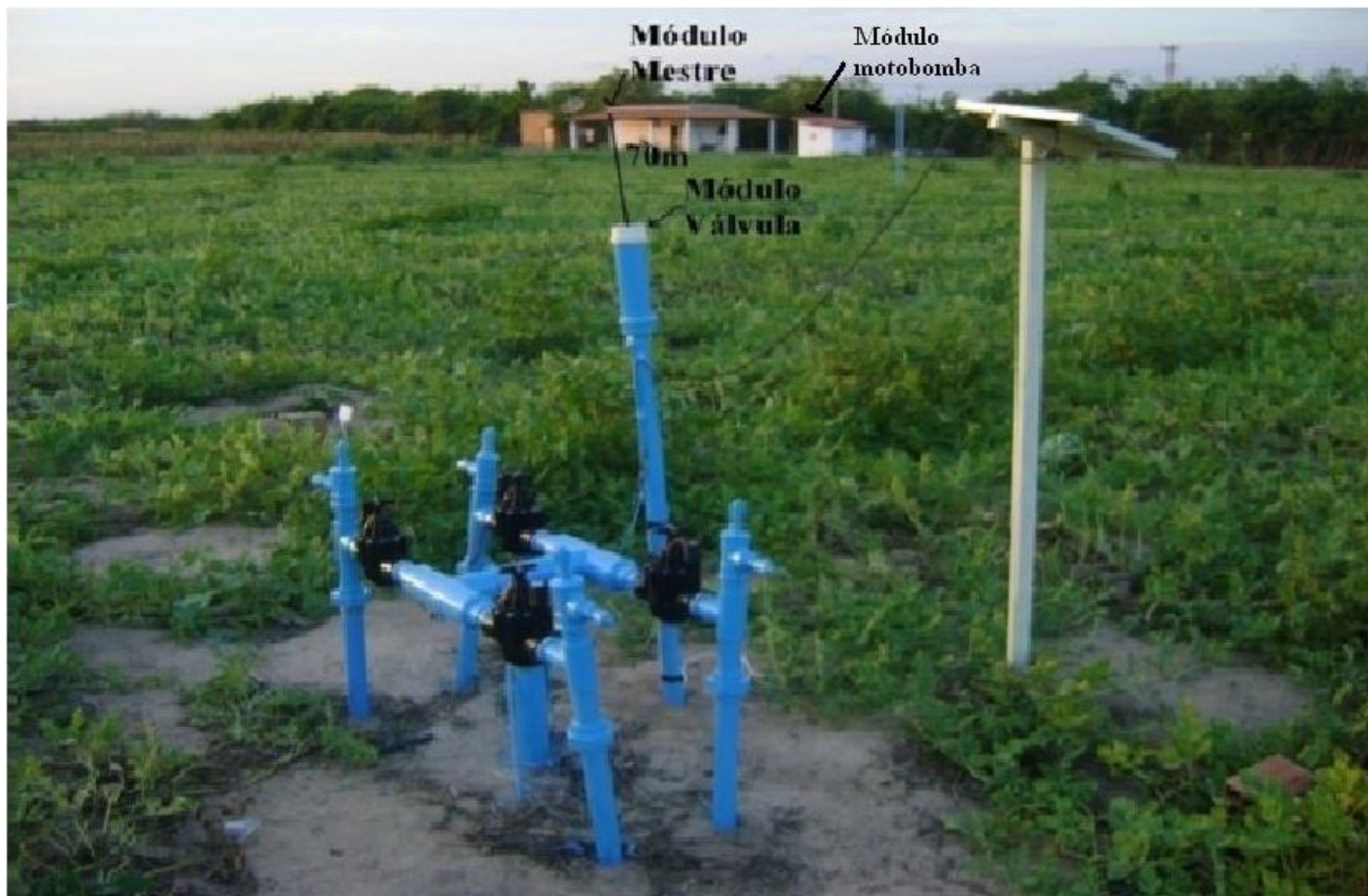


Figura 17 - Módulo de acionamento das válvulas e módulo mestre

MÓDULO BOMBAS

- Acionamento automático da bomba

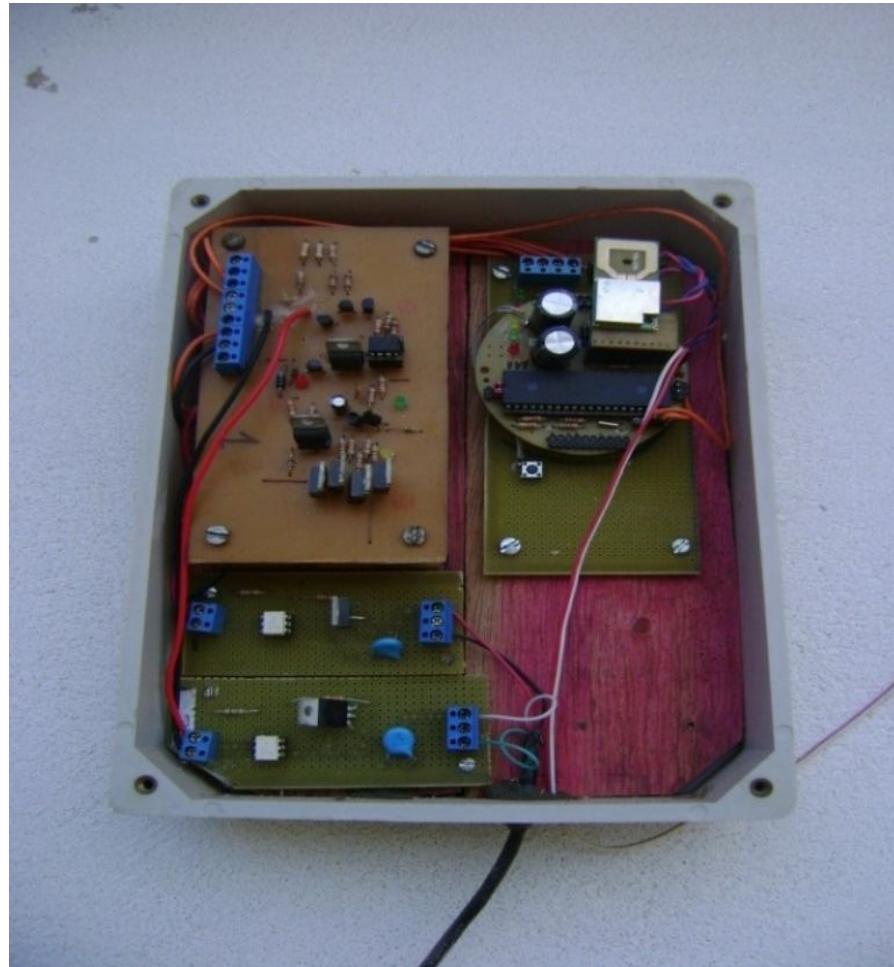


Figura 18 - Placa de acionamento do conjunto motobomba.

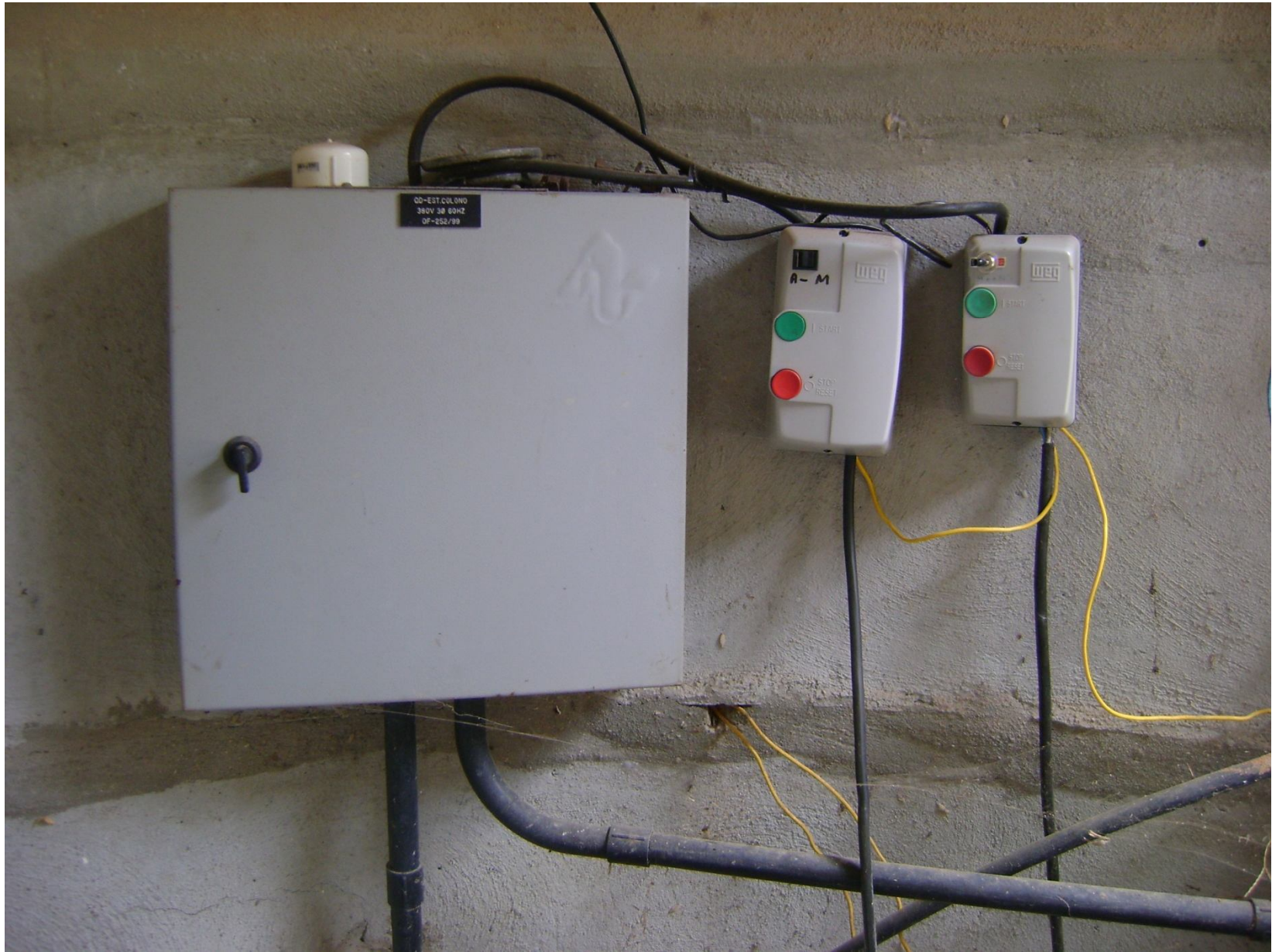




Figura 19 – Módulos multihops instalados acima da plantação de milho.



Figura 20 – Módulo mestre



Figura 21 – Módulo instalado na estação base

➤ Módulo Mestre

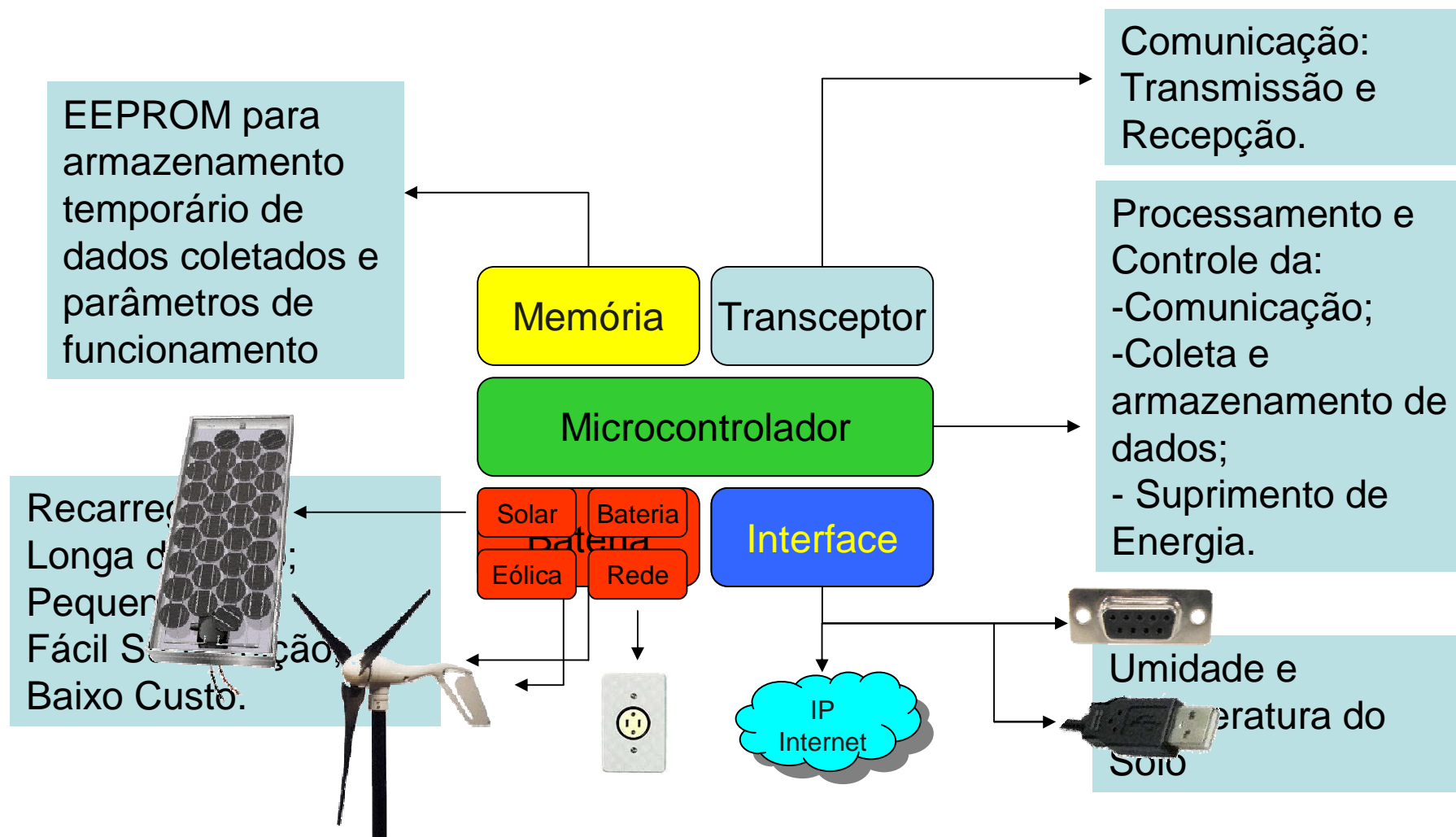
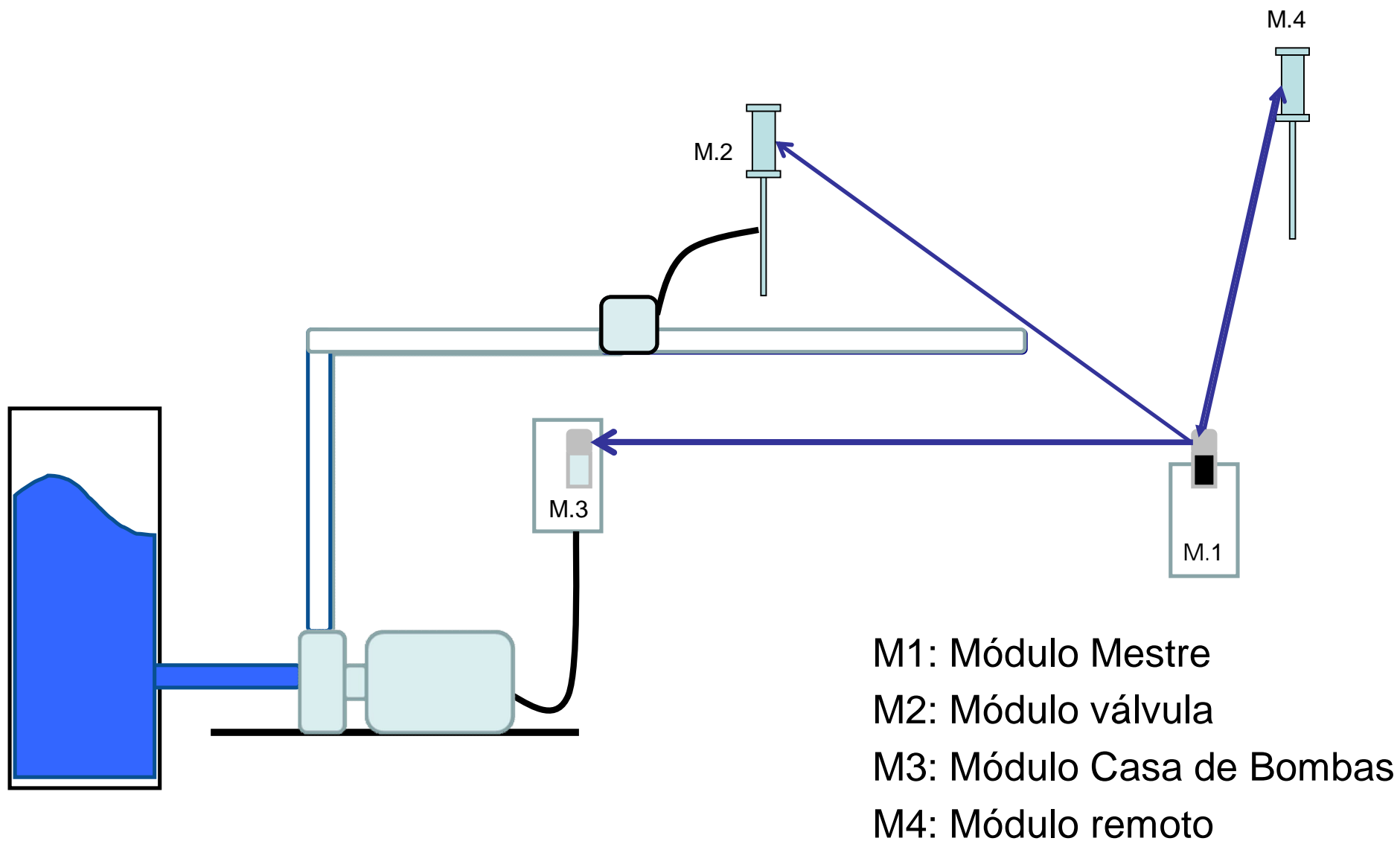


Figura 22 – Componentes do módulo sensor.



➤ **Figura 23 – Esquema de funcionamento do sistema automático.**

➤ Topologia de comunicação

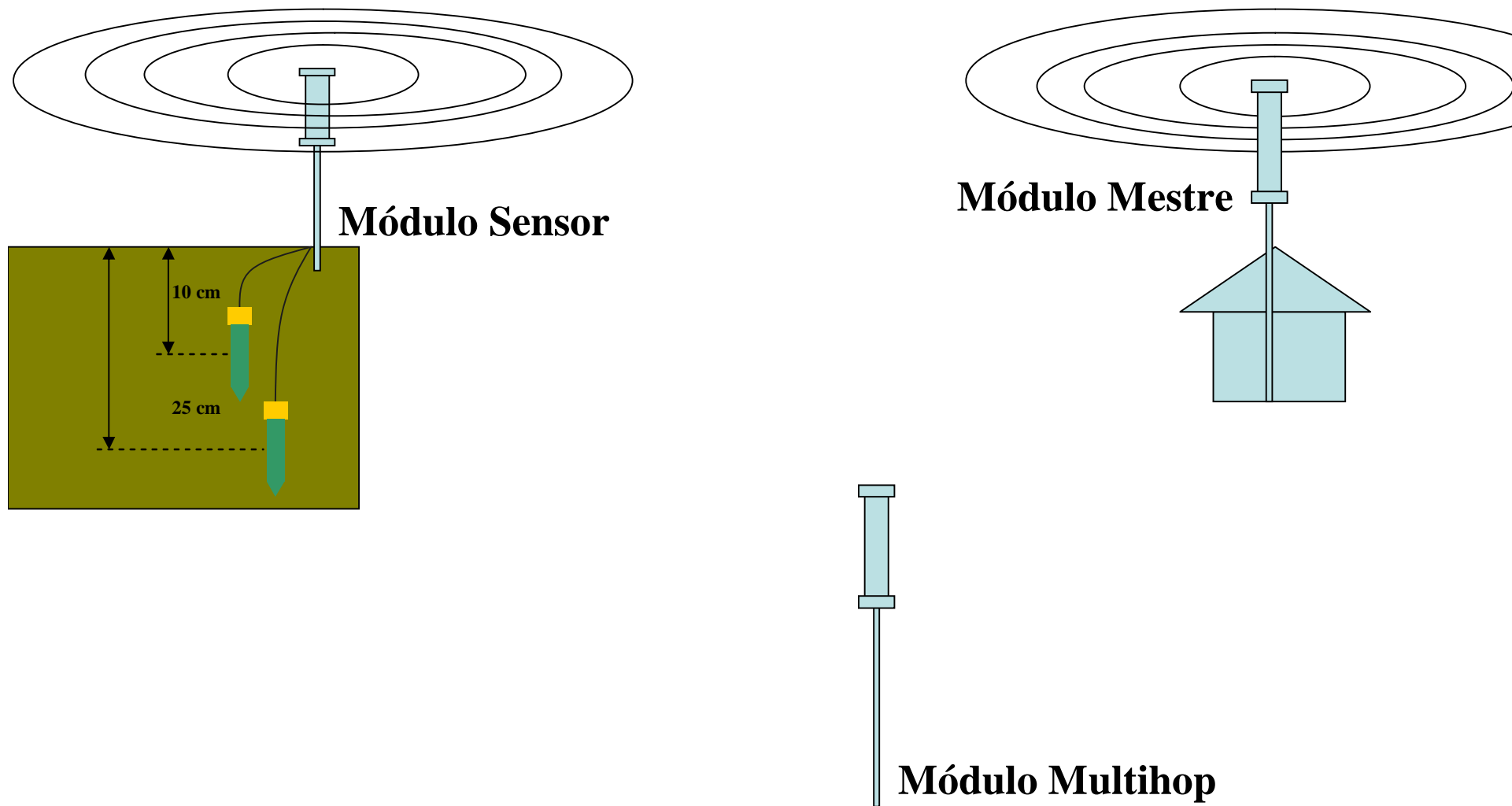


Figura 24 – Esquema de Comunicação da RSSF no campo.

➤ Topologia de comunicação

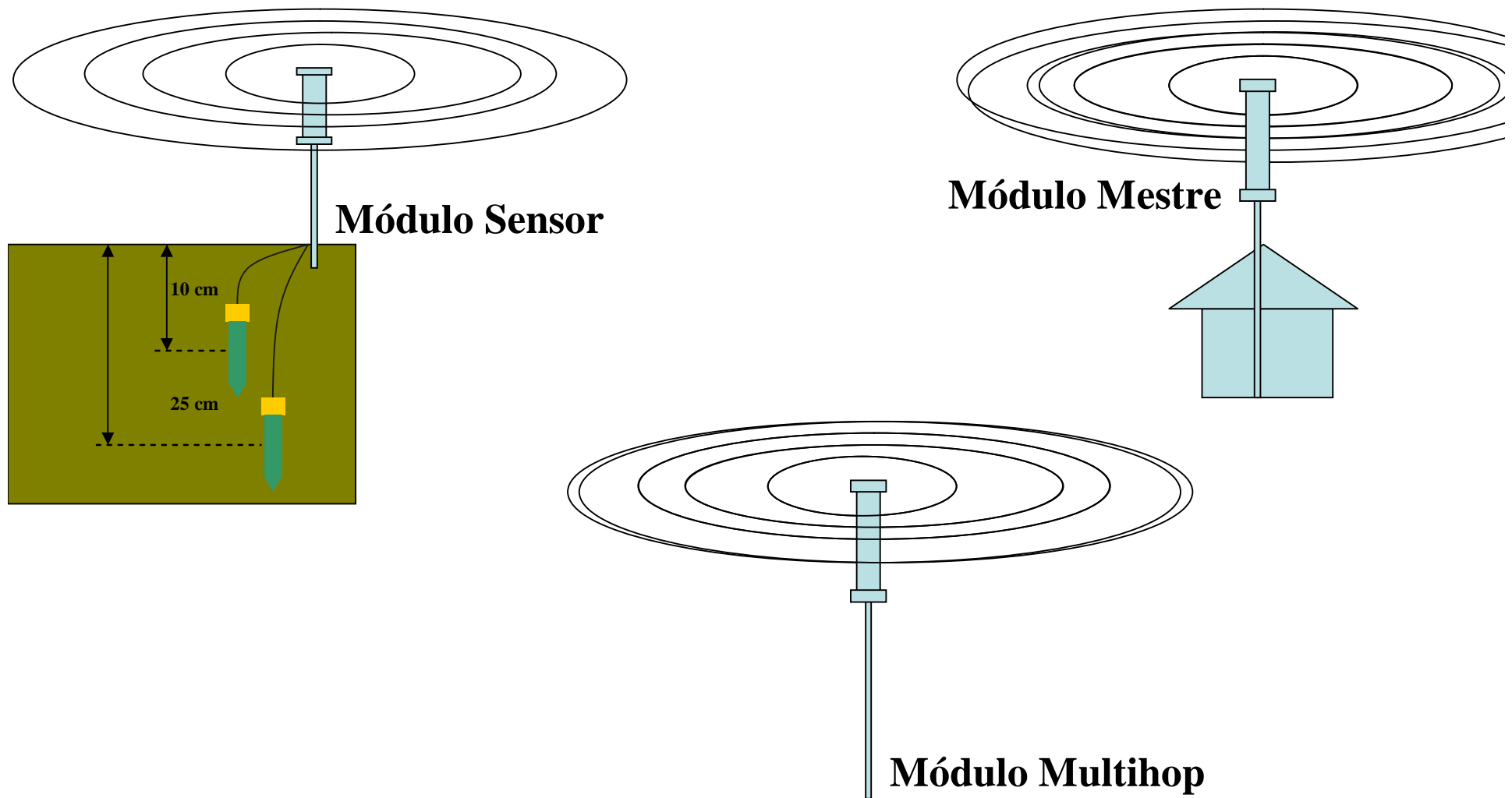


Figura 24 – Esquema de Comunicação da RSSF no campo.

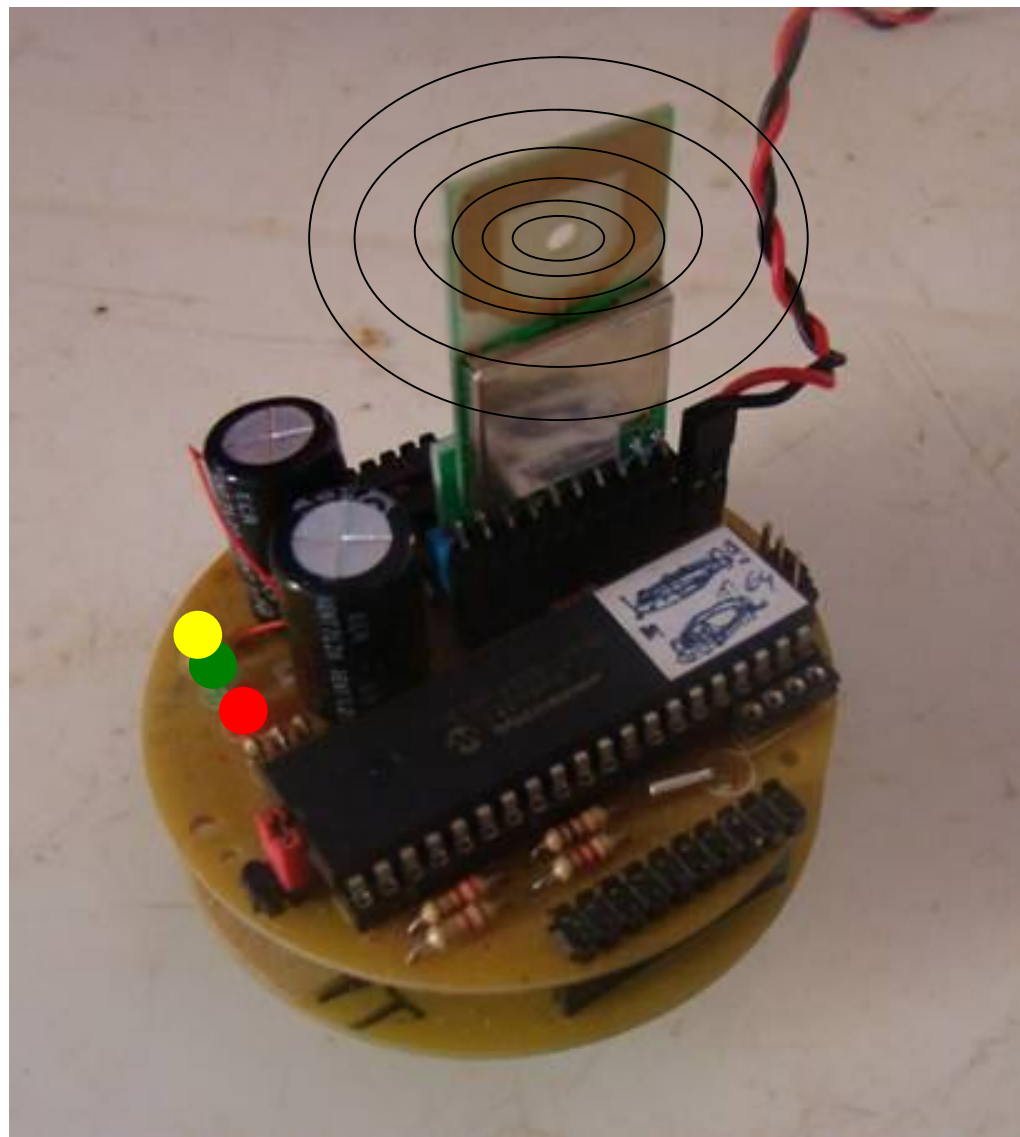


Figura 26 – Rádio sensor.

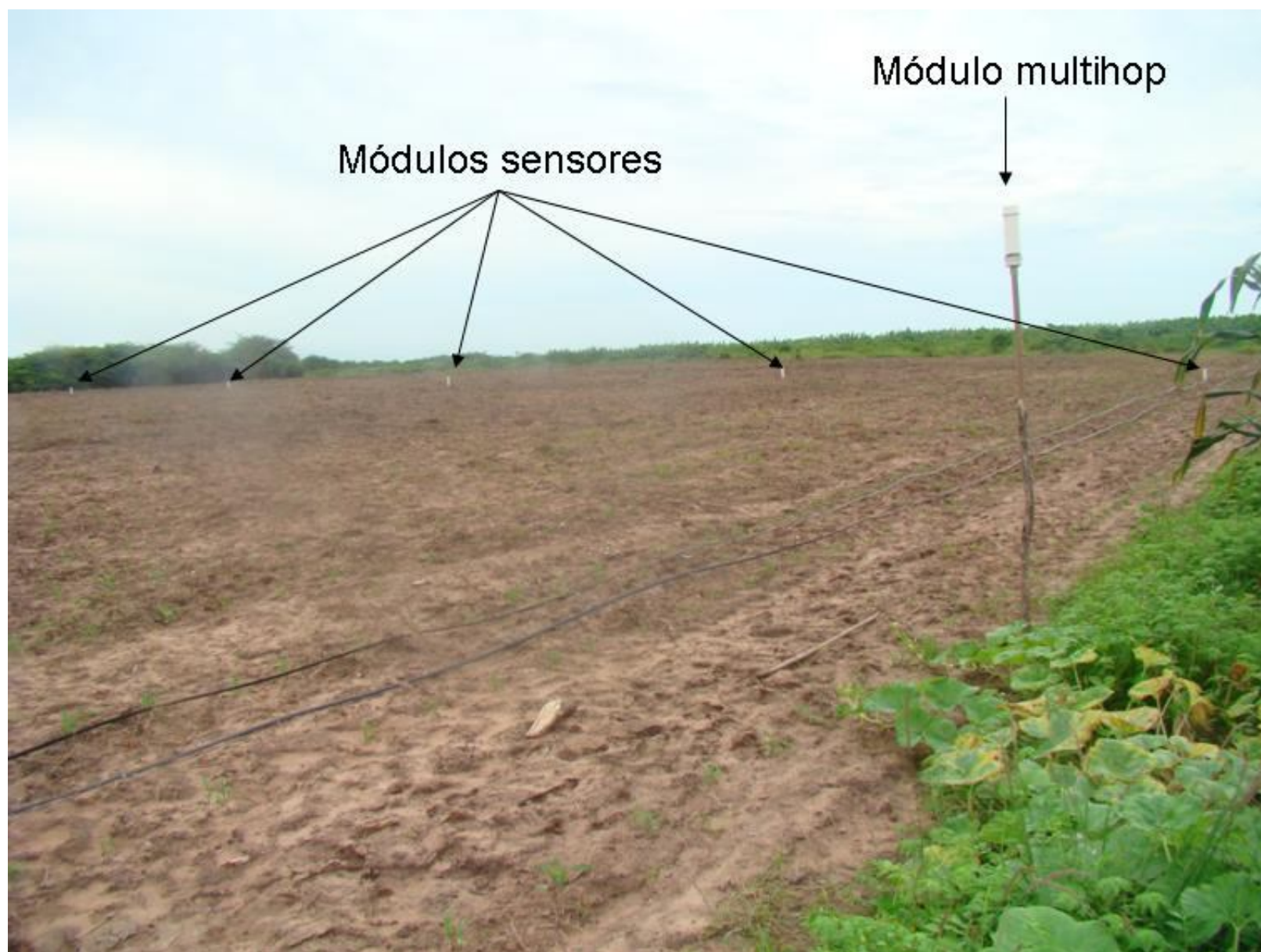


Figura 27 – Módulos sensores instalados na área de milho com 15 DAP.

Processo de comunicação

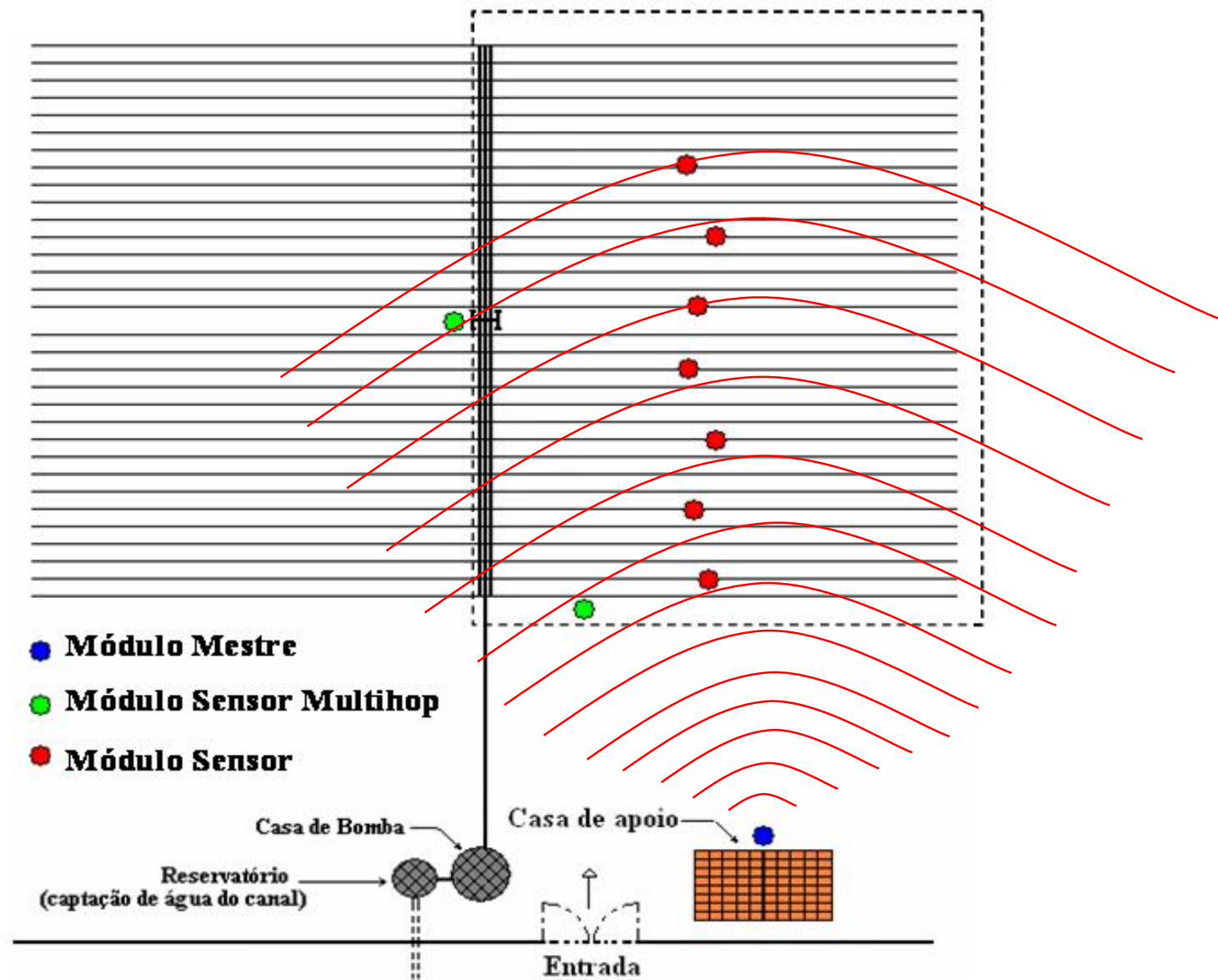


Figura 28 – Esquema de comunicação no campo.

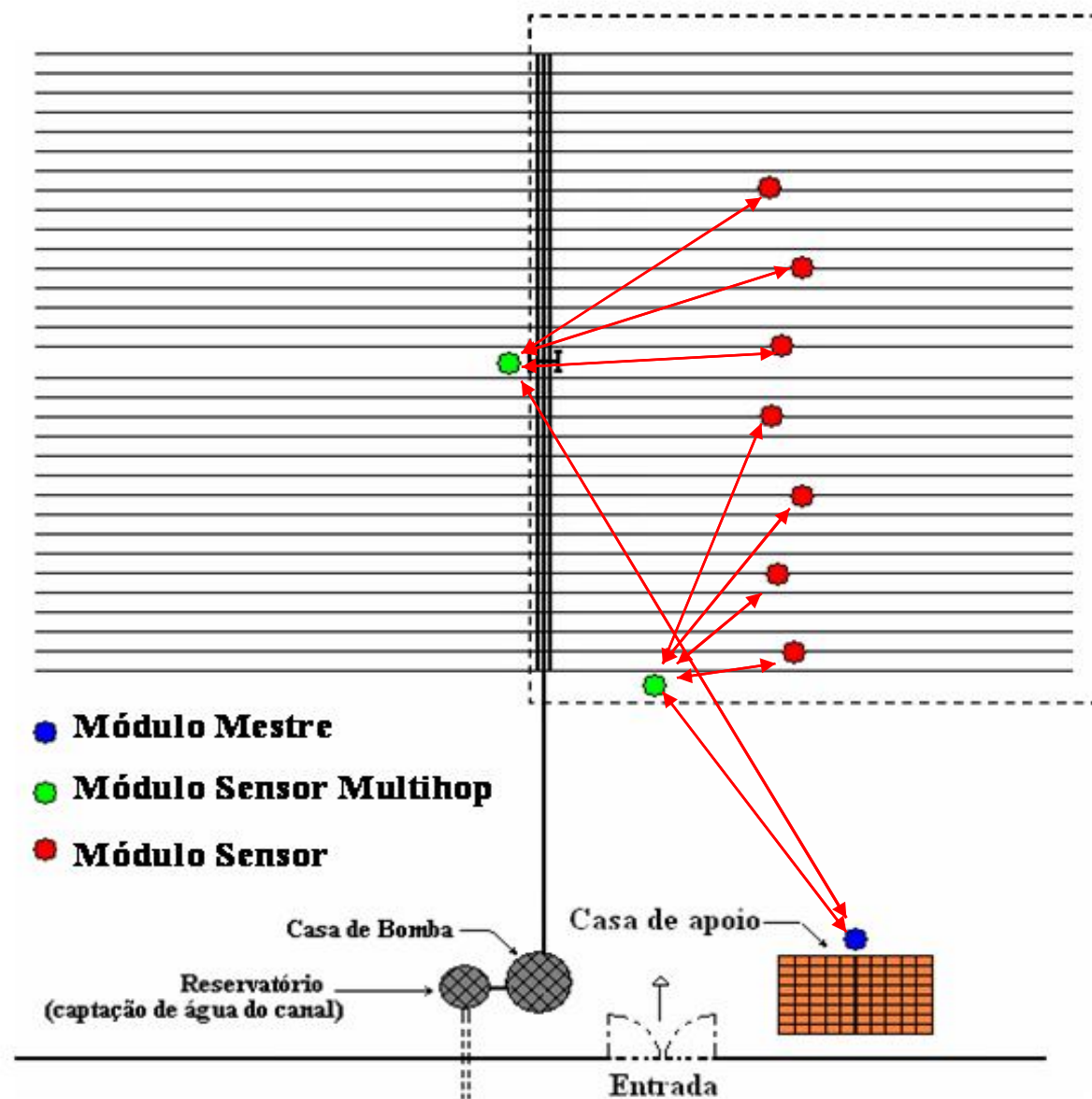


Figura 29 – Esquema de comunicação no campo.

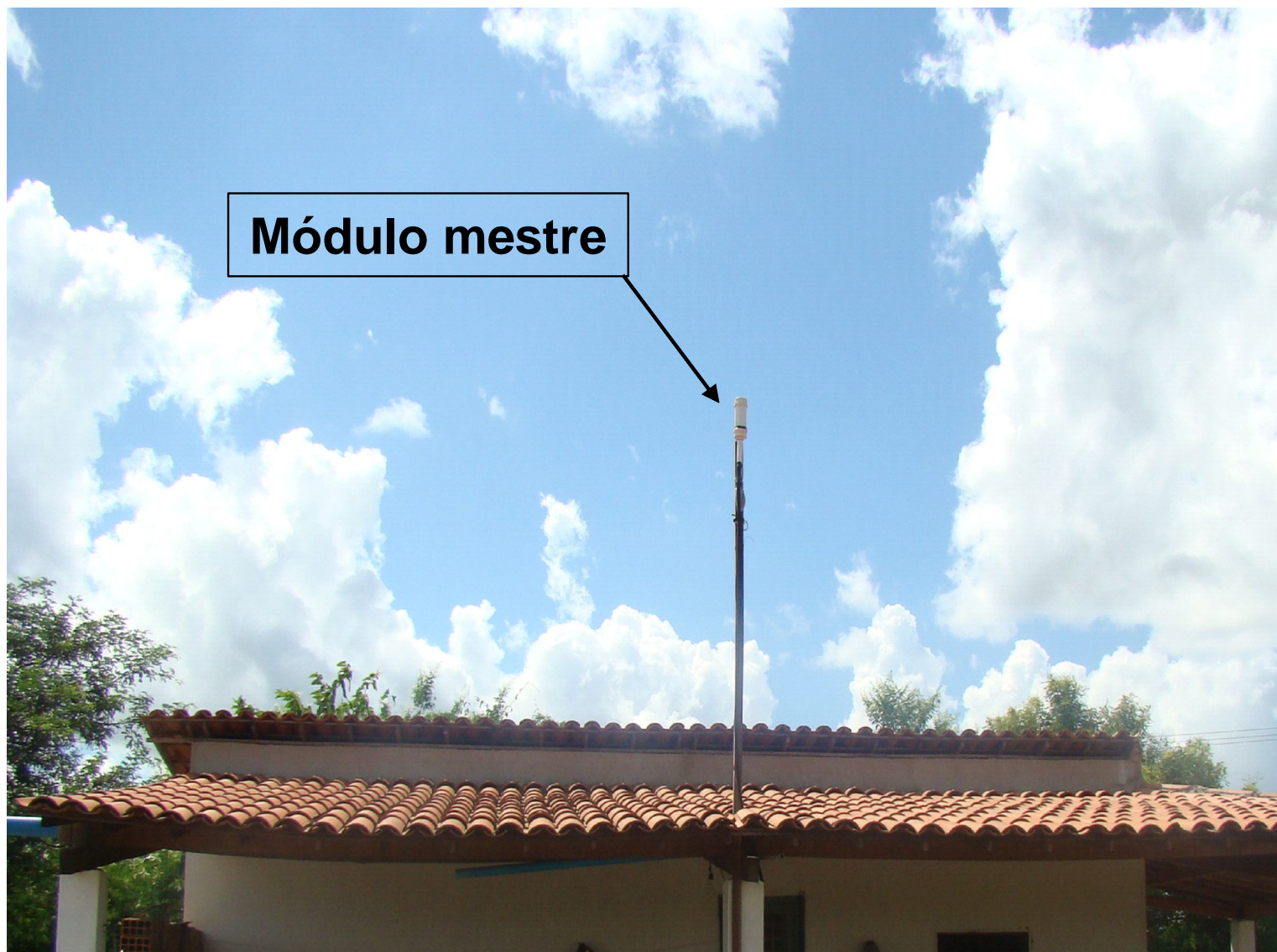


Figura 30 – Módulo mestre de coleta de dados



Figura 31 – Módulos sensores instalados no campo.



Figura 31 – Módulos sensores instalados no campo.



Figura 32 - Módulos sensores instalados no campo e módulo mestre na estação base

INTERFACE

INTERFACE CLÁSSICA

➤ Interface de controle e aquisição de dados

Form1

Arquivo Configuração Testes

31 32 33 34 35 36
37 38 39 40 41 42
43 44 45 46 47 48
49 50 51 52 53 54
55 56 57 58 59 60

31 32 33 33 30 LE_Sensor
Mult-Hop Env_Dados

Adquire AUTO Intervalo: 15 156

Só Recebe
Só Envia
Teste Case

No anterior: 30
Novo Nº: 31
Soneca 1
Tacordado 5 seg.
Tacor.exten. 5 seg.
Estabilização 3
Intervalo Auto 3 (s)

Configura Novo
Le Configuracao
Ajusta Configuracao
Le Configuracao
Valores Padrões

Solenoide 1 ON OFF
Solenoide 2 ON OFF
Bomba 1 ON OFF
Solenoide 3 ON OFF
Solenoide 4 ON OFF
Bomba 2 ON OFF
CANCELAR

rodape

Figura 33- Tela principal da interface

021209 - Bloco de notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

[10:08:24	23/11/2009]	[09:55:27	23/11/2009]	S 36	t100	S	0	S	0	S	0	FA= 2127	FB= 844	FC= 731	BAT=12.02	TEMP= 23.3
[10:08:24	23/11/2009]	[09:55:32	23/11/2009]	S 37	t100	S	0	S	0	S	0	FA= 1832	FB= 771	FC= 803	BAT=12.02	TEMP= 18.7
[10:08:24	23/11/2009]	[09:55:24	23/11/2009]	S 42	t100	S	0	S	0	S	0	FA= 1068	FB= 756	FC= 623	BAT=12.02	TEMP= 24.9
[10:08:29	23/11/2009]	[09:55:28	23/11/2009]	S 40	t100	S	0	S	0	S	0	FA= 4039	FB= 672	FC= 921	BAT=12.02	TEMP= 21.8
[10:08:31	23/11/2009]	[10:08:28	23/11/2009]	S 32	t100	S	0	S	0	S	0	FA= 1375	FB= 662	FC= 594	BAT=12.02	TEMP= 20.2
[10:08:31	23/11/2009]	[10:08:29	23/11/2009]	S 39	t100	S	0	S	0	S	0	FA= 855	FB= 660	FC= 506	BAT=12.02	TEMP= 18.7
[10:08:36	23/11/2009]	[10:08:32	23/11/2009]	S 36	t100	S	0	S	0	S	0	FA= 2127	FB= 844	FC= 729	BAT=12.02	TEMP= 23.3
[10:08:38	23/11/2009]	[10:08:35	23/11/2009]	S 31	t100	S	0	S	0	S	0	FA= 1373	FB= 951	FC= 588	BAT=12.02	TEMP= 24.9
[10:08:38	23/11/2009]	[10:08:28	23/11/2009]	S 33	t100	S	0	S	0	S	0	FA= 2941	FB= 661	FC= 525	BAT=12.02	TEMP= 24.9
[10:08:38	23/11/2009]	[10:08:32	23/11/2009]	S 36	t100	S	0	S	0	S	0	FA= 2127	FB= 844	FC= 729	BAT=12.02	TEMP= 23.3
[10:08:38	23/11/2009]	[10:08:31	23/11/2009]	S 37	t100	S	0	S	0	S	0	FA= 1832	FB= 754	FC= 803	BAT=12.02	TEMP= 20.2
[10:08:39	23/11/2009]	[10:08:36	23/11/2009]	S 40	t100	S	0	S	0	S	0	FA= 4039	FB= 682	FC= 920	BAT=12.02	TEMP= 21.8
[10:08:39	23/11/2009]	[10:08:31	23/11/2009]	S 42	t100	S	0	S	0	S	0	FA= 1068	FB= 727	FC= 360	BAT=12.02	TEMP= 24.9
[10:08:41	23/11/2009]	[10:08:32	23/11/2009]	S 36	t100	S	0	S	0	S	0	FA= 2127	FB= 844	FC= 729	BAT=12.02	TEMP= 23.3
[10:08:41	23/11/2009]	[10:08:36	23/11/2009]	S 40	t100	S	0	S	0	S	0	FA= 4039	FB= 682	FC= 920	BAT=12.02	TEMP= 21.8
[10:08:45	23/11/2009]	[10:08:39	23/11/2009]	S 32	t100	S	0	S	0	S	0	FA= 1375	FB= 662	FC= 591	BAT=12.02	TEMP= 18.7
[10:08:48	23/11/2009]	[10:08:46	23/11/2009]	S 31	t100	S	0	S	0	S	0	FA= 1373	FB= 950	FC= 584	BAT=12.02	TEMP= 24.9
[10:08:48	23/11/2009]	[10:08:45	23/11/2009]	S 37	t100	S	0	S	0	S	0	FA= 1832	FB= 754	FC= 803	BAT=12.02	TEMP= 20.2

Figura 34 – Interface de aquisição dos dados.

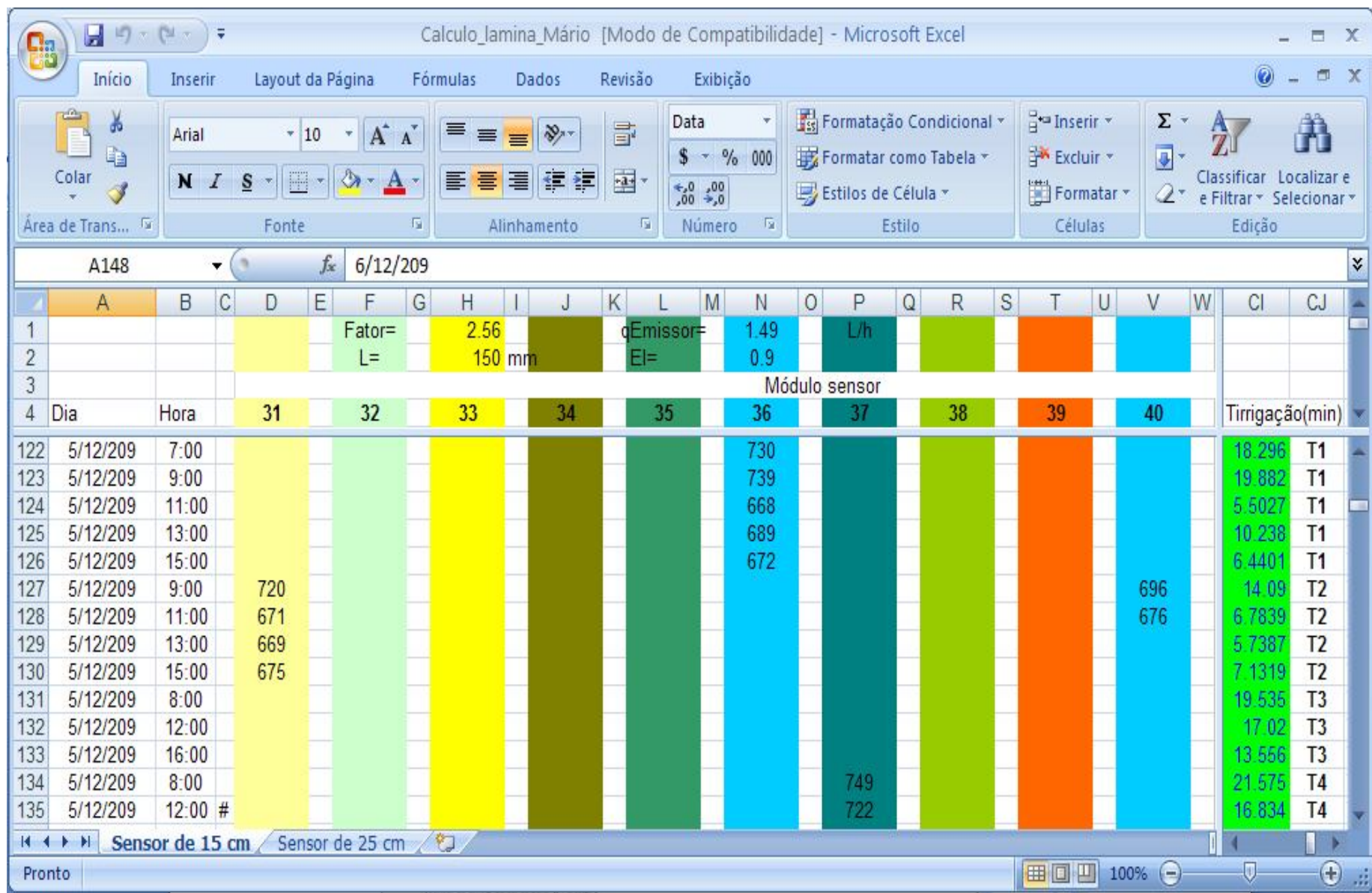


Figura 35 – Planilha de cálculo da irrigação.

INTERFACE PARA AUTOMAÇÃO

Formulário Um - Gerenciador RSSF

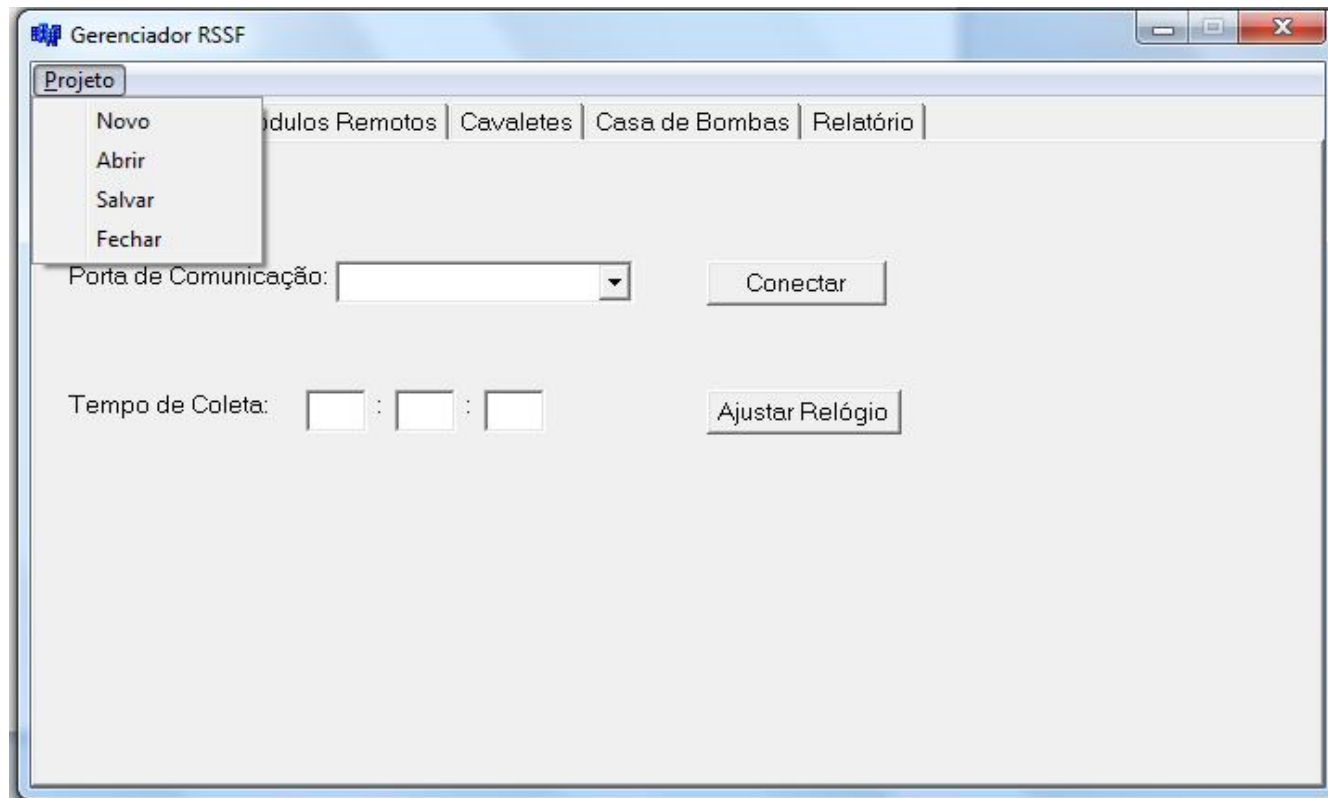


Figura 6. Seleção do menu principal projeto.

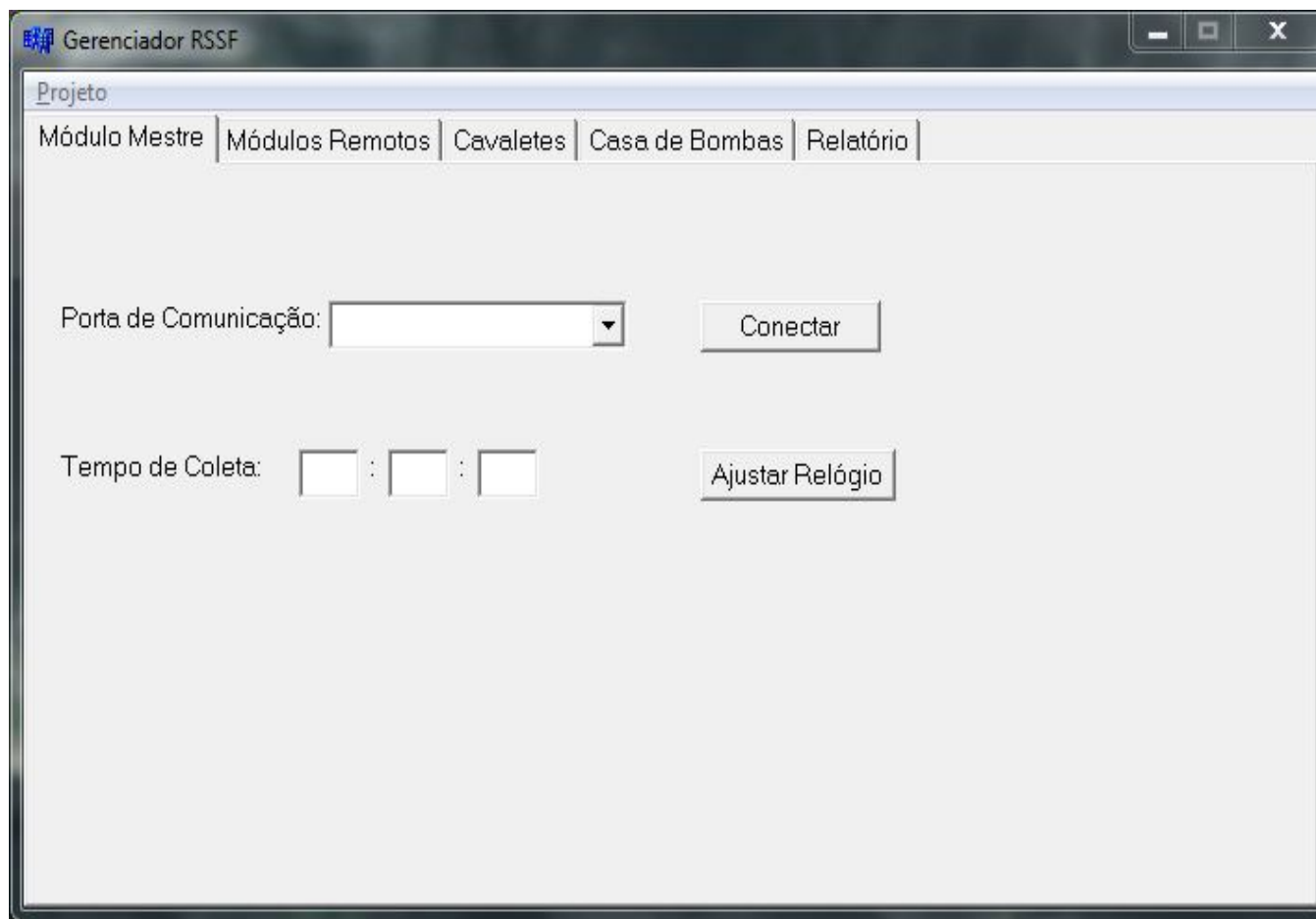


Figura 7. Páginas de controles do Formulário Um-Gerenciador RSSF.

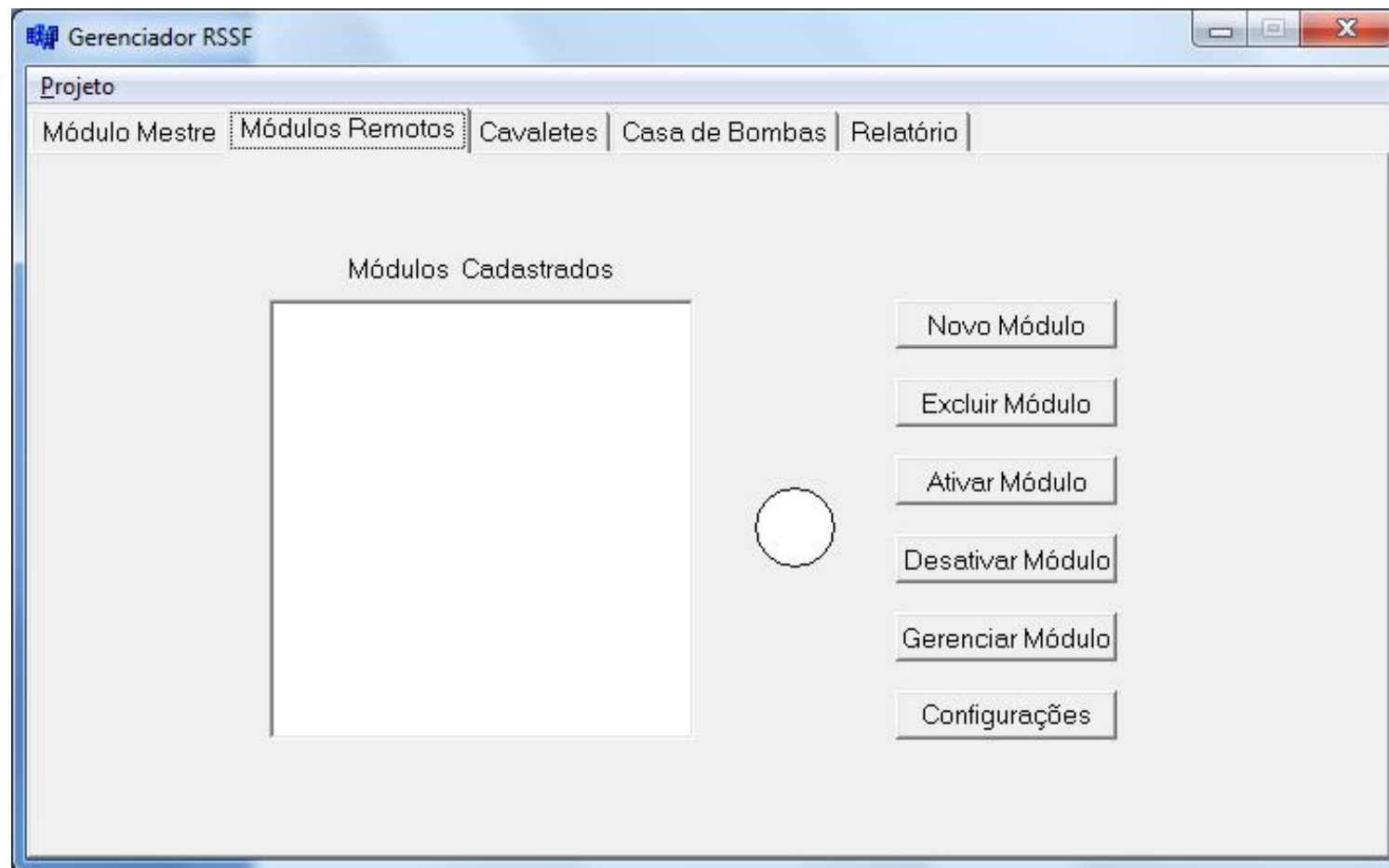


Figura 8. Página de controle dos módulos remotos.

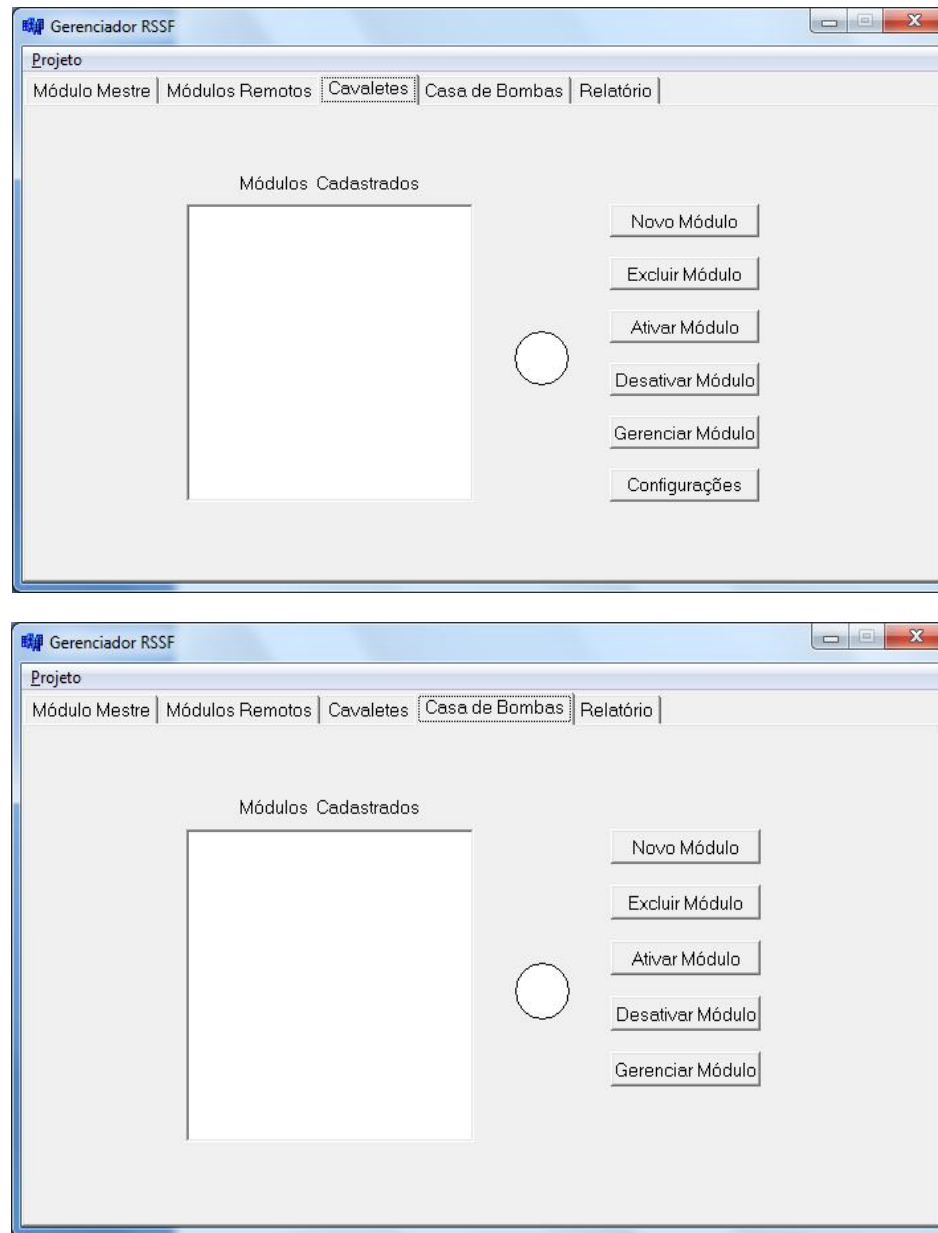


Figura 8. Página de controle dos módulos cavaletes e casas de bombas.

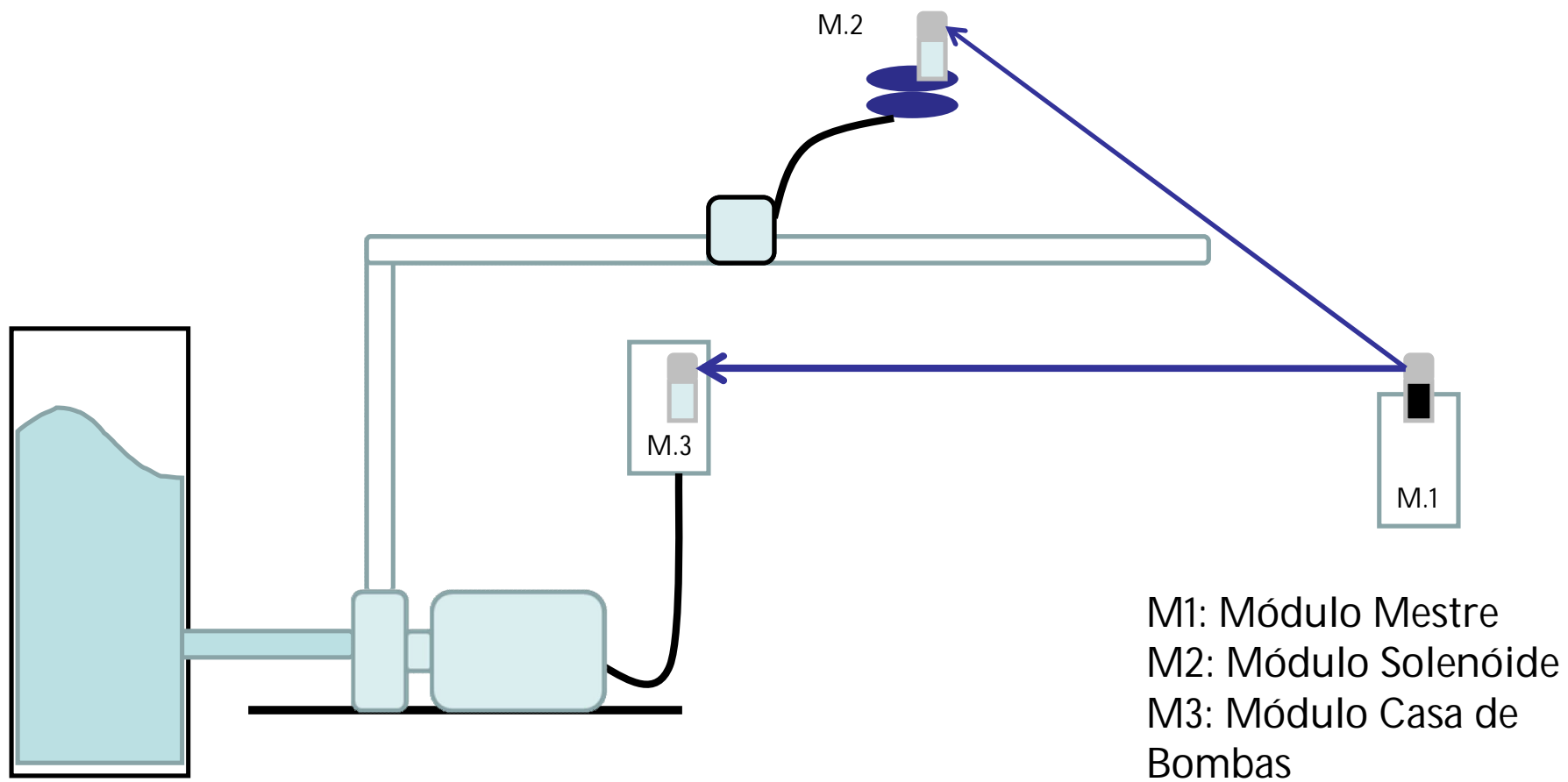


Figura 9. Esquema de funcionamento da bomba hidráulica e da solenóide.

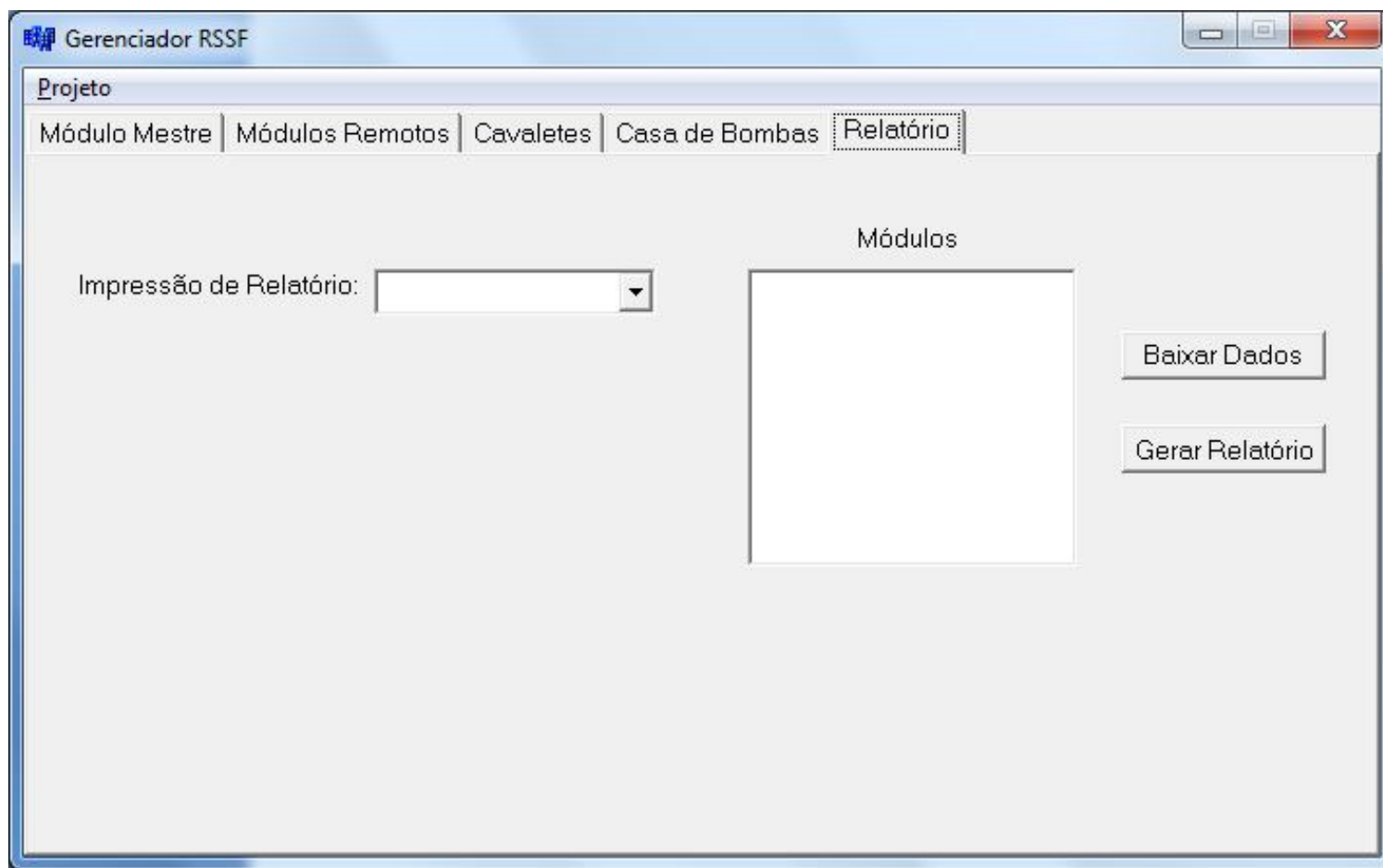


Figura 10. Página de controle para a confecção de relatórios.

Formulário Dois - Configurações: Módulo Remoto.

Configurações: Módulo Remoto

Nome:

Configurações

Definição dos Tempo

Tempo Soneca

Tempo Acordado

Tempo Acordado Estendido

Tempo de Estabilização

Intervalo Automático

Salvar Salvar Novo Excluir Fechar

Figura 11. Formulário de configuração dos módulos remotos.

Formulário Três - Configurações: Cavalete

The image shows a software window titled "Configurações: Cavalete". It contains the following elements:

- Nome:** A text input field.
- Forma de Acionamento:** A group box containing two radio buttons: "Agendamento" and "Automático".
- Gerenciar:** A button located to the right of the "Forma de Acionamento" group box.
- Programação Escolhida:** A group box containing:
 - Forma de Acionamento:** A label with the text "Nenhuma Escolhida."
 - Parâmetros:** A large, empty text area.
- Configurações:** A large, empty rectangular area on the right side of the window.
- Buttons:** At the bottom, there are four buttons: "Salvar", "Salvar Novo", "Excluir", and "Fechar".

Figura 36 - Formulário de configuração dos módulos cavaletes (Rocha Neto, 2009).

Formulário Quatro - Gerenciamento Agendado

The screenshot shows a Windows-style application window titled "Gerenciamento Agendado". At the top, there is a tabbed interface with tabs for the days of the week: Domingo, Segunda, Terça, Quarta, Quinta, Sexta, and Sábado. The main content area is divided into six panels, arranged in a 2x3 grid. Each panel corresponds to one of the four actuators (Cavalete 1, Cavalete 2, Cavalete 3, and Cavalete 4) and is associated with a specific day. Each panel contains the following elements:

- A "Horário" (Time) section with a checkbox labeled "Ativar Horário" and four checkboxes for "Cavalete 1", "Cavalete 2", "Cavalete 3", and "Cavalete 4".
- A "Tempo" (Duration) section with two input fields for hours and minutes, separated by a colon, and a third input field for seconds.

At the bottom of the window, there are two buttons: "Salvar" (Save) and "Fechar" (Close).

Figura 37. Tela para agendamento dos períodos de acionamento dos cavaletes.

Formulário Cinco - Gerenciamento Automático

Gerenciamento Automático.

Curva do Sensor Capacitivo

XF

Dados para Automação

☐ Ativar Programação

☐ Cavalete 1 ☐ Cavalete 2 ☐ Cavalete 3 ☐ Cavalete 4

Umidade Crítica: mm

Umidade Máxima: mm

Lâmina do Sistema: mm/H

Dados para Automação

☐ Ativar Programação

☐ Cavalete 1 ☐ Cavalete 2 ☐ Cavalete 3 ☐ Cavalete 4

Umidade Crítica: mm

Umidade Máxima: mm

Lâmina do Sistema: mm/H

Salvar Fechar

Figura 38. Tela de parâmetros para o cálculo da lâmina de irrigação.

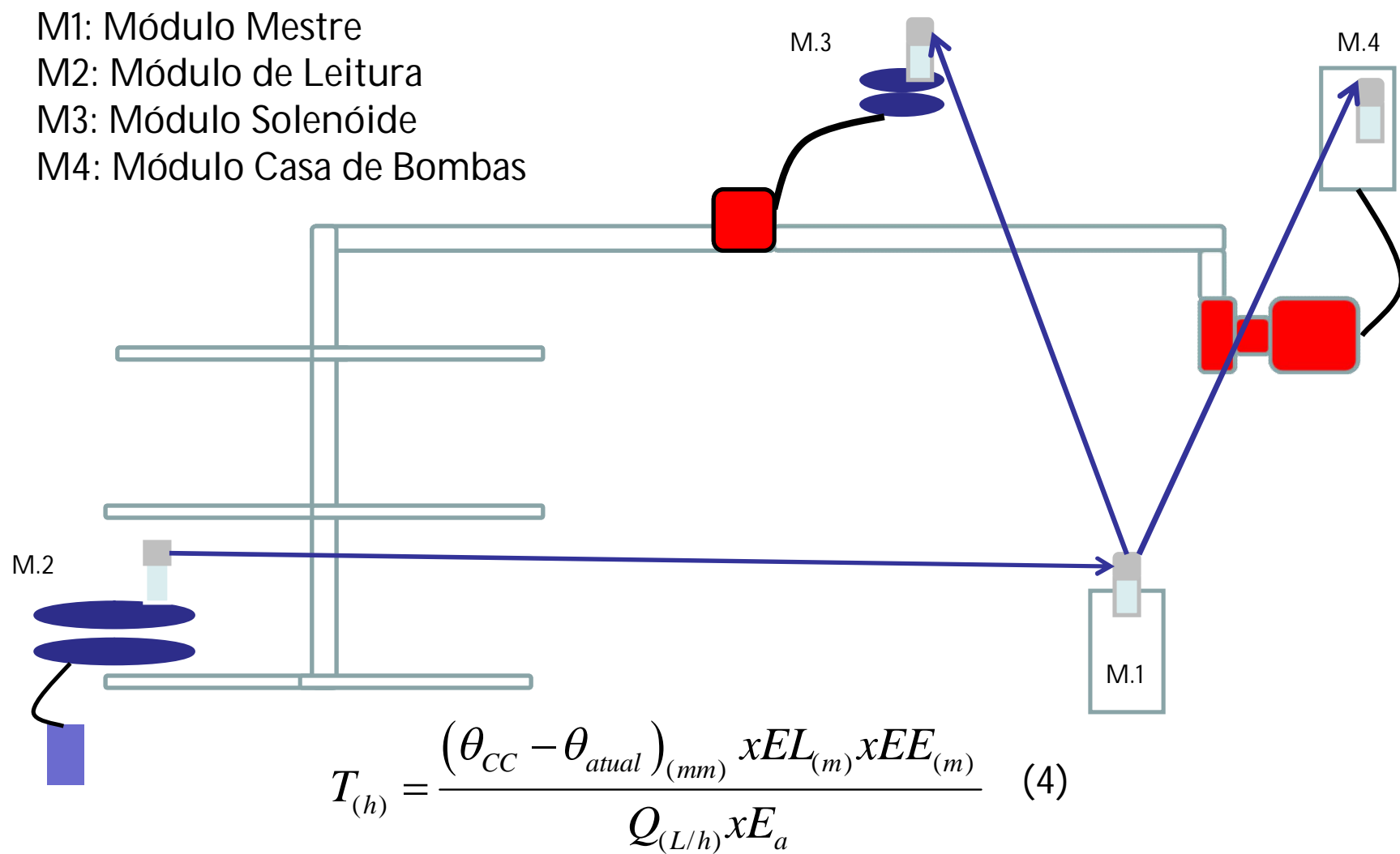


Figura 39. Esquema de funcionamento da bomba hidráulica e da solenóide.

Formulário Seis - Módulo Remoto

Módulo Remoto

Módulo :
[Dropdown Menu]

Configuração:
[Dropdown Menu]

Detalhes da Configuração

Tempo Soneca:	00:00:00
Tempo Acordado:	00:00:00
Tempo A. Estendido:	00:00:00
Tempo Estabilização:	00:00:00
Tempo Automático:	00:00:00

Número MAC: S/N

Estado do Módulo: Módulo não Selecionado

Últimos Dados Coletados

Frequência Sensor 1:	0.0	KHz
Frequência Sensor 2:	0.0	KHz
Frequência Sensor 3:	0.0	KHz
Carga da Bateria:	0.0	Volts
Data da Coleta:	00/00/0000	
Hora da Coleta:	00:00:00	

Salvar Histórico Fechar

Figura 40. Gerenciamento dos módulos remotos.

Formulário Sete – Cavaletes

The screenshot displays the 'Cavaletes' application window. At the top left, the title bar reads 'Cavaletes'. The main interface is divided into several sections. On the left, there are two dropdown menus: 'Módulo:' and 'Configuração:'. To the right of these, the 'Número MAC:' is shown as 'S/N', and the 'Estado do Módulo:' is 'Módulo não Selecionado'. Below the dropdowns, there are four panels for solenoids, labeled 'Solenóide 1' through 'Solenóide 4'. Each panel displays 'Pressão: 0,0 mca' and 'Tempo de Funcionamento: 00:00:00', with 'Ligar' and 'Desligar' buttons. To the right of these panels, there is a section for 'Último Acionamento:' which contains two columns of data for 'Solenóide 1' and 'Solenóide 2', showing 'Data:', 'Hora:', and 'Duração:' fields. At the bottom right, there are three buttons: 'Salvar', 'Histórico', and 'Fechar'.

Solenóide	Pressão (mca)	Tempo de Funcionamento	Último Acionamento Data	Último Acionamento Hora	Último Acionamento Duração
1	0,0	00:00:00	00/00/0000	00:00:00	00:00:00
2	0,0	00:00:00	00/00/0000	00:00:00	00:00:00
3	0,0	00:00:00	00/00/0000	00:00:00	00:00:00
4	0,0	00:00:00	00/00/0000	00:00:00	00:00:00

Figura 41. Gerenciamento dos módulos cavaletes.

Formulário Oito - Casa de Bombas

The screenshot displays a software window titled "Casa de Bombas". At the top, there are fields for "Módulo:" (a dropdown menu), "Número MAC:" (containing "S/N"), and "Estado do Módulo:" (displaying "Módulo não Selecionado"). Below this is a section labeled "Bombas Ativadas:" containing six checkboxes for "Bomba 1" through "Bomba 6", all of which are currently unchecked. The main area of the window is organized into a 2x3 grid of pump control panels. Each panel, labeled "Bomba 1" through "Bomba 6", includes a "Cavalete:" dropdown menu, a "Pressão: 0,0 mca" label, a "Tempo: 00:00:00" label, and two buttons: "Ligar" (On) and "Desligar" (Off). At the bottom right of the window, there are three buttons: "Salvar" (Save), "Histórico" (History), and "Fechar" (Close).

Figura 42. Gerenciamento dos módulos cavaletes.

EXEMPLO DE DADOS

➤ Monitoramento da umidade através da RSSF

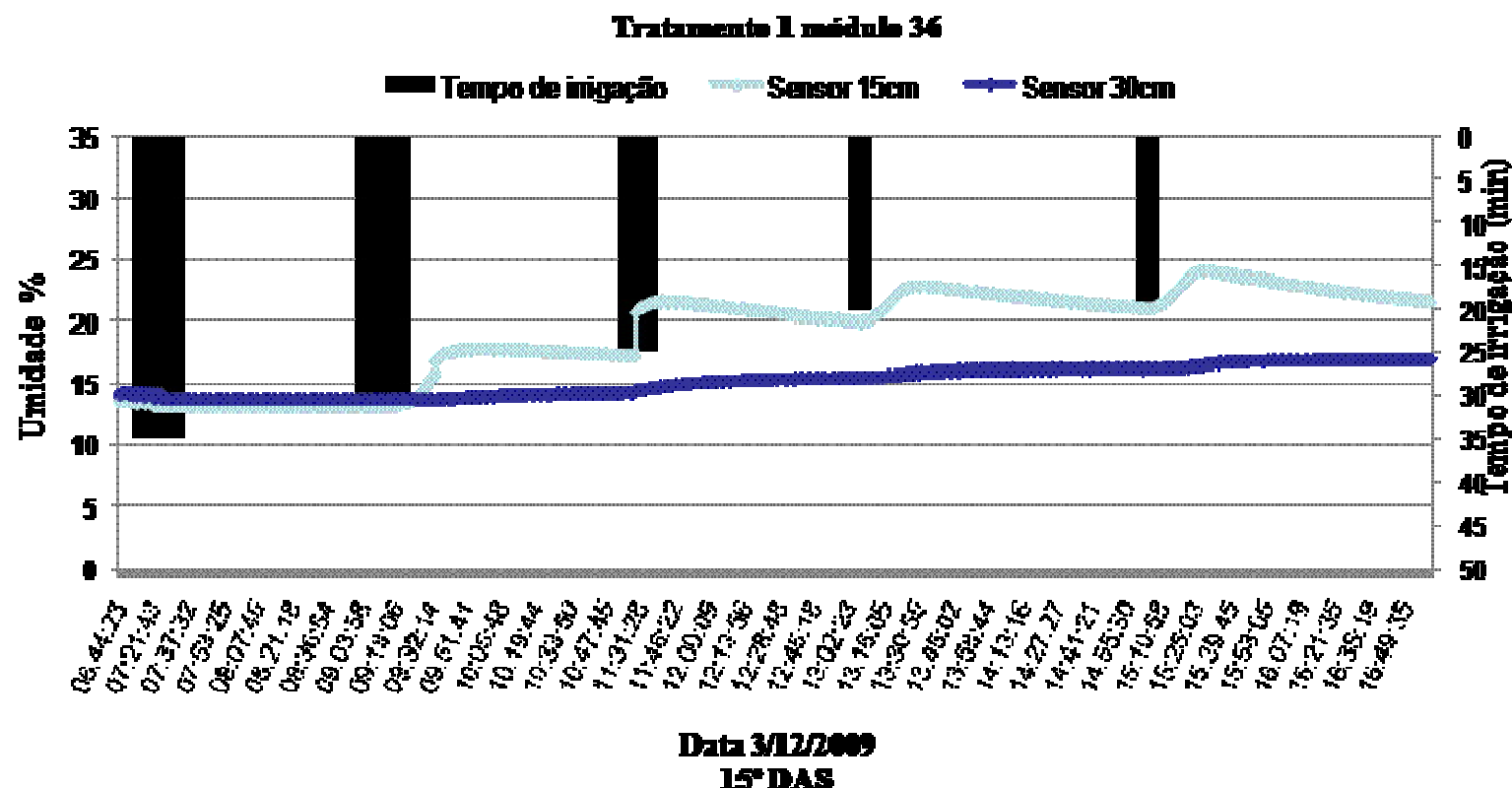


Figura 43 – Variação da umidade volumétrica do solo ao longo do dia pelo módulo 36 durante o manejo (Rebouças, 2010).

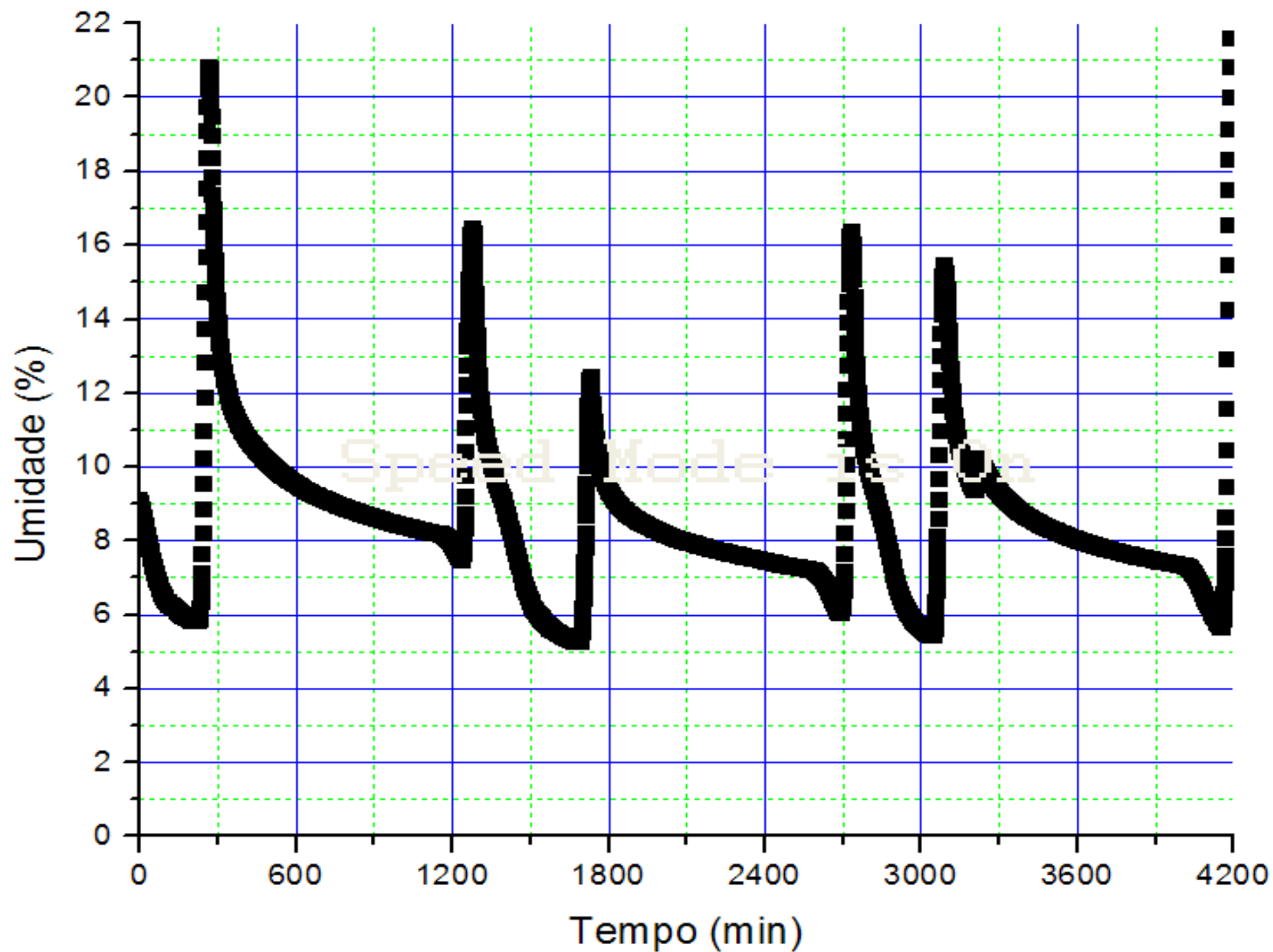


Figura 44. Monitoramento da umidade na camada de 0 a 15cm do solo (Oliveira, 2008).

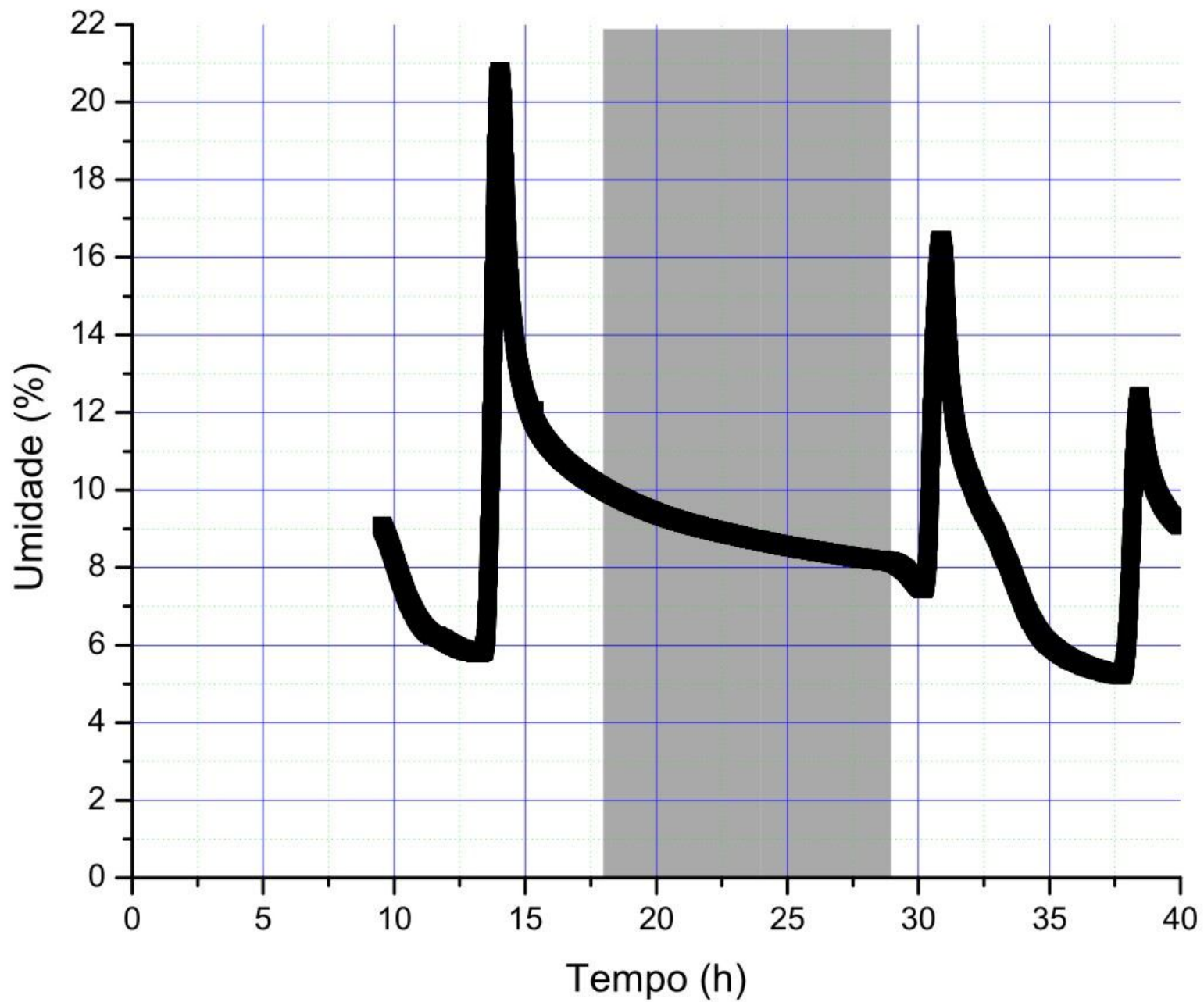


Figura 45. Variação na umidade do solo em função do tempo.

Obrigado !