

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA

VINÍCIUS NEVES SILVA

**PROPOSTAS DE MONTAGENS EXPERIMENTAIS COM ARDUINO PARA O
ESTUDO DE CONTROLE NA ENGENHARIA QUÍMICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

UBERLÂNDIA
2019

VINÍCIUS NEVES SILVA

**PROPOSTAS DE MONTAGENS EXPERIMENTAIS COM ARDUINO PARA O
ESTUDO DE CONTROLE NA ENGENHARIA QUÍMICA**

Monografia de graduação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de graduação em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Luís Cláudio Oliveira Lopes

UBERLÂNDIA
2019

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA MONOGRAFIA DA DISCIPLINA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE **VINÍCIUS NEVES SILVA**
APRESENTADA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, EM 18 DE
JANEIRO DE 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luís Cláudio Oliveira Lopes
Orientador (FEQUI/UFU)

Prof. Dr. Humberto Molinar Henrique
FEQUI/UFU

Prof. Dr. Rubens Gedraite
FEQUI/UFU

“O certo é certo, mesmo que ninguém o faça. O errado é errado, mesmo que todos se enganem sobre ele.”

(G. K. Chesterton)

RESUMO

Nos últimos anos a plataforma Arduino se apresentou como uma ferramenta de grande valia para o desenvolvimento de projetos eletrônicos com baixo custo. Além disso, a grande variedade de sensores e atuadores compatíveis com a plataforma fomenta o desenvolvimento de projetos com as mais variadas aplicações. Tendo em vista a importância da prática experimental nos cursos de graduação em engenharia e a carência de experimentos didáticos que abordem o tópico de controle de processos na grade curricular do curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, este trabalho propõe cinco projetos de montagens experimentais com Arduino para o ensino de controle na Engenharia Química. Primeiramente, são introduzidos conceitos como funcionalidade, construção e histórico do Arduino. Na sequência, são apresentados os sensores e atuadores utilizados nos projetos deste trabalho, assim como instruções para seu funcionamento e conexão com a plataforma. Por fim, os projetos são descritos com a especificação e o dimensionamento dos materiais necessários e também, com uma estimativa de custo.

Palavras-chave: Arduino, Engenharia Química, Controle de Processos, Laboratório.

ABSTRACT

In recent years the Arduino platform has presented itself as a valuable tool for the development of low-cost electronic projects. In addition, the wide range of sensors and actuators compatible with the platform promotes the development of projects with the most varied applications. Considering the importance of the experimental practice in undergraduate courses in engineering and the lack of didactic experiments that address the topic of process control in the curriculum of the Chemical Engineering course of the Federal University of Uberlândia, this work proposes five projects of experimental assemblages with Arduino for the teaching of control in Chemical Engineering. First, concepts such as functionality, construction and history of Arduino are introduced. Next, the sensors and actuators used in the projects of this work, as well as instructions for its operation and connection with the platform are presented. Finally, the projects are described with the specification and sizing of the necessary materials and also, with an estimate of cost.

Keywords: Arduino, Chemical Engineering, Process Control, Laboratory.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Placa Arduino UNO	11
Figura 2. Módulo Relé 5V 4 Canais.....	12
Figura 3. Esquema de ligação de um relé de 1 canal	13
Figura 4. Válvula Solenoide 12VDC	14
Figura 5. Esquema de ligação da válvula solenoide	15
Figura 6. Driver Motor Ponte H L298n.....	16
Figura 7. Esquema de ligação da Ponte H.....	17
Figura 8. Sensor de pressão diferencial MPX5700DP	17
Figura 9. Esquema de ligação do sensor MPX5700DP	18
Figura 10. Mini Bomba de Água RS-385.....	20
Figura 11. Esquema de ligação da mini bomba de água RS-385	20
Figura 12. Sensor de vazão YF-S201b	21
Figura 13. Sensor de temperatura DS18B20	22
Figura 14. Esquema de ligação do sensor de temperatura DS18B20.....	23
Figura 15. Módulo sensor de pH	24
Figura 16. Esquema de ligação do módulo sensor de pH.....	25
Figura 17. Esquema do projeto para controle de vazão.....	26
Figura 18. Diagrama de conexões para a malha de controle de vazão	26
Figura 19. Esquema do projeto para controle de nível.....	28
Figura 20. Diagrama de conexões para a malha de controle de nível	29
Figura 21. Esquema do projeto para controle de temperatura	31
Figura 22. Diagrama de conexões para a malha de controle de temperatura.....	31
Figura 23. Esquema do projeto para controle de concentração	33
Figura 24. Diagrama de conexões para a malha de controle de concentração	33
Figura 25. Esquema do projeto para controle de mistura.....	35
Figura 26. Diagrama de conexões para a malha de controle de mistura	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Especificações do Relé	13
Tabela 2. Especificações da Válvula Solenoide	14
Tabela 3. Especificações do módulo Ponte H	16
Tabela 4. Especificações do MPX5700DP	18
Tabela 5. Especificações da mini bomba de água RS-385	19
Tabela 6. Especificações do YF-S201b	21
Tabela 7. Especificações sensor de temperatura DS18B20	22
Tabela 8. Especificações do módulo sensor de pH.....	24
Tabela 9. Materiais necessários para o projeto do módulo de controle de vazão	27
Tabela 10. Materiais necessários para o projeto do módulo de controle de nível	29
Tabela 11. Materiais necessários para o projeto do módulo de controle de temperatura	32
Tabela 12. Materiais necessários para o projeto do módulo de controle de concentração.....	34
Tabela 13. Materiais necessários para o projeto do módulo de controle de mistura	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Motivação	9
1.2	Objetivo	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
2.1	Arduino.....	10
2.2	Sensores e Atuadores.....	11
2.2.1	Relé	12
2.2.2	Válvula Solenoide.....	14
2.2.3	Ponte H	15
2.2.4	Sensor de Pressão Diferencial	17
2.2.5	Bomba de Água.....	19
2.2.6	Sensor de Vazão	20
2.2.7	Sensor de Temperatura.....	21
2.2.8	Sensor de pH	23
3	PROPOSTAS DE EXPERIMENTOS.....	25
3.1	Controle de vazão	25
3.2	Controle de nível	27
3.3	Controle de temperatura.....	30
3.4	Controle de concentração	32
3.5	Controle de mistura.....	34
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
	REFERÊNCIAS.....	38
	APÊNDICE A – Resumo de sensores compatíveis com Arduino.....	39

1 INTRODUÇÃO

A profissão de engenheiro é uma profissão dedicada a explorar e modificar recursos como energia, matéria e conhecimento para criação de tecnologia. O ensino de engenharia deve preparar os alunos para exercer engenharia, ou seja, lidar com os materiais e fenômenos da natureza (FEISEL e ROSA, 2005).

Nesse contexto, a abordagem laboratorial se torna uma importante forma de ensino para a graduação em engenharia. Colocar em prática a teoria desenvolvida em sala de aula ajuda o aluno a consolidar os conceitos e também o aproxima do exercício da profissão de engenheiro.

Feisel e Rosa (2005, p. 121, tradução nossa) dizem que avanços tecnológicos como o computador digital melhoraram a prática laboratorial. Eles afirmam que: “O computador digital abriu novas possibilidades no laboratório, incluindo simulação, aquisição automática de dados, controle remoto de instrumentos e apresentação e análise rápida de dados”.¹

Com base nessas novas possibilidades advindas da criação do computador digital citadas por Feisel e Rosa (2005) foi possível desenvolver novos tipos de experimentos para o ensino de engenharia.

Todavia, um empecilho para o desenvolvimento de novos experimentos didáticos é o custo de compra e montagem dos equipamentos necessários para criação de um módulo experimental, o que muitas vezes restringe as aplicações em laboratórios didáticos de engenharia.

Por outro lado, a partir do lançamento da plataforma Arduino, em 2005, a criação de projetos eletrônicos ficou mais barata e simples, abrindo o leque de opções para desenvolvimento em diversas áreas, incluindo a de experimentos didáticos. Além disso, a grande variedade de sensores e módulos compatíveis com Arduino estende a gama de possibilidades ainda mais.

1.1 Motivação

O curso de graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia contém em sua grade curricular a disciplina de Laboratório de

¹ “The digital computer has opened new possibilities in the laboratory, including simulation, automated data acquisition, remote control of instruments, and rapid data analysis and presentation”

Engenharia Química para abordagem prática do conhecimento visto de forma teórica em sala de aula. Entretanto, pouco é abordado sobre o tópico de controle de processos.

A plataforma Arduino, assim como os sensores e módulos compatíveis, abre a possibilidade de criação e implementação, a preços acessíveis, de experimentos de controle que possam ser utilizados no laboratório didático.

1.2 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo geral desenvolver propostas de experimentos envolvendo Arduino que possam ser utilizados no ensino de controle para o curso de graduação em Engenharia Química.

Os experimentos serão propostos de forma que possam ser aplicados para os seguintes tipos de controle: controle de nível, vazão, temperatura, concentração e mistura.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Arduino

Segundo Banzi (2009), Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto que consiste em uma placa *input/output* (I/O) e um ambiente de desenvolvimento criado baseado na linguagem *Processing*. Pode ser usado para construção de projetos eletrônicos diversos, como robôs, instrumentos musicais, móveis interativas, impressoras 3D, entre outros tantos exemplos.

Desde sua criação, mais de 150.000 placas Arduino foram comercializadas ao redor do mundo. Como é uma placa de *hardware* livre, vários modelos genéricos foram criados a partir de sua criação. Tais modelos não-oficiais são amplamente difundidos no mercado, o que torna provável que mais de 500 mil placas Arduino, incluindo suas versões genéricas, tenham sido vendidas (MCROBERTS, 2011).

Um dos principais pontos positivos do Arduino é sua facilidade de utilização, que permite que pessoas com os mais variados níveis de conhecimento

sobre prototipagem eletrônica possam utilizar a placa para o desenvolvimento de diferentes tipos de aplicações.

A programação do Arduino é realizada a partir de um ambiente de desenvolvimento integrado chamado *Arduino IDE*, em que o usuário realiza a programação em uma linguagem simples desenvolvida a partir da linguagem C++.

O *hardware* do Arduino consiste, de forma simplificada, em uma placa com um microcontrolador, uma porta para comunicação serial ou USB e alguns pinos analógicos e digitais. Nos módulos experimentais a serem apresentados neste trabalho será utilizada a versão Uno da plataforma Arduino, apresentada na Figura 1.

Figura 1. Placa Arduino UNO



Fonte: Site Arduino Store²

As portas de troca de dados na plataforma podem ser do tipo analógica de entrada de dados (A0 a A5) ou digital de entrada e saída de dados (0 a 13). Além disso, certas portas digitais podem ser reprogramadas para a função analógica de saída de dados (3, 5, 6, 9, 10 e 11), o que é realizado direto no código de programação.

A placa também fornece pinos de alimentação com 5V e 3,3V e alguns pinos de aterramento (GND).

2.2 Sensores e Atuadores

Para realizar a comunicação entre a placa Arduino e o meio externo são necessários sensores e atuadores, dependendo da aplicação um ou outro ou ambos.

² Disponível em: < <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>>. Acesso em: 28 dez. 2018.

Sensores e atuadores são componentes eletrônicos que convertem variáveis físicas em sinais elétricos, ou vice-versa, para comunicação com o microcontrolador.

Banzi (2009, p. 30, tradução nossa) descreve como funciona a lógica de comunicação entre sensores, microcontrolador e atuadores:

Uma vez que os sensores tenham realizado a leitura, o dispositivo tem a informação necessária para decidir como reagir. O processo de tomada de decisão é executado pelo microcontrolador, e a reação é exercida pelos atuadores. Em nossos corpos, por exemplo, músculos recebem sinais elétricos do cérebro e convertem em movimento. No mundo da eletrônica, essas funções podem ser realizadas por uma lâmpada ou um motor elétrico.³

Nas próximas subseções serão tratados os sensores e atuadores que estão presentes nos módulos experimentais desenvolvidos neste trabalho. Uma relação mais ampla de sensores compatíveis com Arduino é descrita no Apêndice A.

2.2.1 Relé

Relé é um interruptor eletromecânico, que funciona quando um campo eletromagnético é criado por uma corrente elétrica que passa por uma bobina, mudando o estado dos contatos elétricos (RELÉ, 2018).

Módulos relés compatíveis com Arduino podem ser encontrados com um ou mais canais, em que cada canal funciona como um interruptor, isoladamente. Na Figura 2 é mostrado um módulo relé com 4 canais.

Figura 2. Módulo Relé 5V 4 Canais



Fonte: Site FilipeFlop⁴

³ Once the sensors have been read, the device has the information needed to decide how to react. The decision-making process is handled by the microcontroller, and the reaction is performed by actuators. In our bodies, for example, muscles receive electric signals from the brain and convert them into a movement. In the electronic world, these functions could be performed by a light or an electric motor.

⁴ Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-rele-5v-4-canais/>>. Acesso em: 28 dez. 2018.

As especificações do relé são mostradas na Tabela 1. Todos os módulos relés usados neste trabalho, independentemente do número de canais, contém essas características.

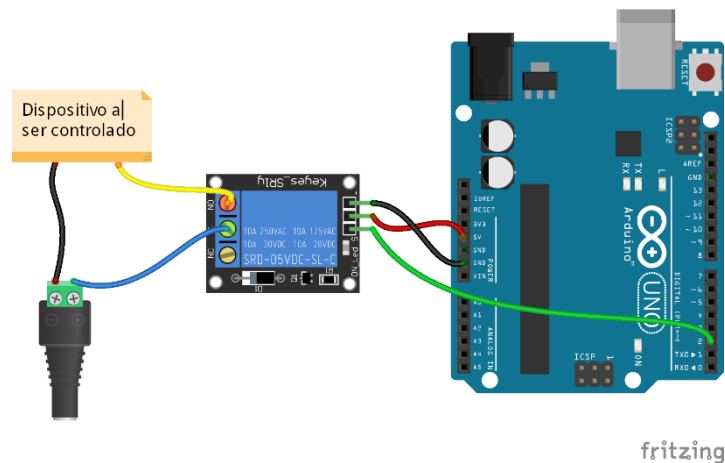
Tabela 1. Especificações do Relé

Especificação	Valor	Unidade
Tensão de operação	5 (DC)	V
Corrente de operação	15 – 20	mA
Tensão de saída	30 (DC - 10A) 250 (AC - 10A)	V
Tempo de resposta	5 – 10	ms

Fonte: Site FilipeFlop (acesso em dez. 2018)

A ligação do relé com o Arduino é realizada conforme mostrado na Figura 3. O borne central é conectado à uma fonte de alimentação e pode ser escolhido entre conectar o dispositivo a ser controlado no borne NA (normalmente aberto) ou no borne NF (normalmente fechado).

Figura 3. Esquema de ligação de um relé de 1 canal



Caso a conexão seja realizada no borne NA, o dispositivo será acionado quando o relé receber sinal do microcontrolador por meio da porta digital do Arduino. Por outro lado, se a conexão for realizada no borne NF, o dispositivo permanecerá ligado até que receba sinal do Arduino para ser desligado.

2.2.2 Válvula Solenoide

A válvula solenoide é um tipo de válvula controlado eletricamente que converte energia elétrica em energia mecânica. Seu componente principal, chamado solenoide, é uma bobina elétrica com um êmbolo no centro. Um campo magnético é criado quando uma corrente elétrica passa pela bobina, movimentando, assim, o êmbolo. Com isso o orifício da válvula é aberto (SILVEIRA, 2018).

O tipo de válvula escolhido para utilização nos módulos deste trabalho é mostrado na Figura 4.

Figura 4. Válvula Solenoide 12VDC



Fonte: Site FilipeFlop⁵

As especificações da válvula são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2. Especificações da Válvula Solenoide

Especificação	Valor	Unidade
Tensão de operação	12	V (DC)
Diâmetro das roscas	0,25	in
Pressão de operação	0,2 – 8	kgf/cm ²
Temperatura máxima do líquido	60	°C
Vida útil	50000 operações	-
Dimensões	85 x 65 x 40	mm
Tipo de terminal	Faston 6,3 x 0,8	mm

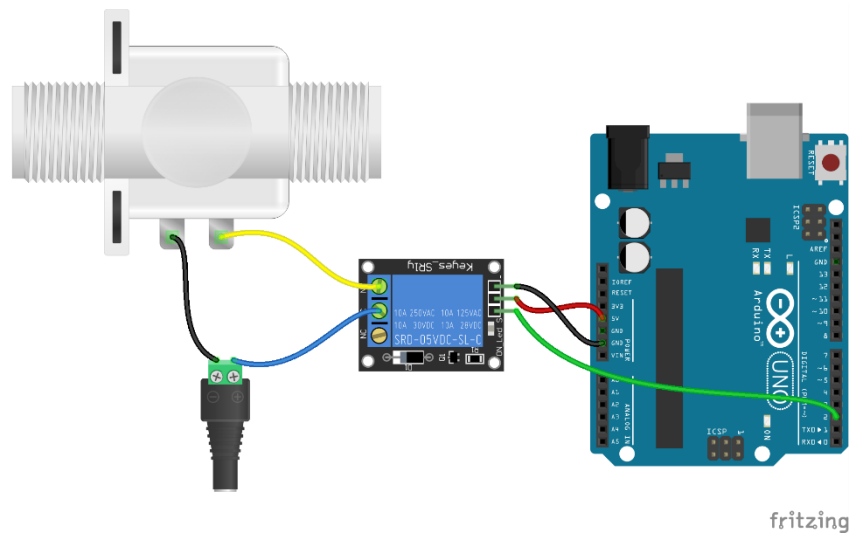
Fonte: Site FilipeFlop (acesso em dez. 2018)

A válvula solenoide se encaixa na categoria de atuadores e sua conexão com o Arduino pode ser realizada utilizando uma fonte externa e um relé. A ligação

⁵ Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/produto/valvula-de-vazao-solenoide-12vdc-180-graus-rosca-14-x-14/>>. Acesso em: 28 dez. 2018.

não pode ser realizada utilizando a alimentação do Arduino, pois a placa só consegue fornecer tensão de até 5V e a válvula opera com tensão de 12V. O esquema para ligação da válvula com a placa é mostrado na Figura 5.

Figura 5. Esquema de ligação da válvula solenoide



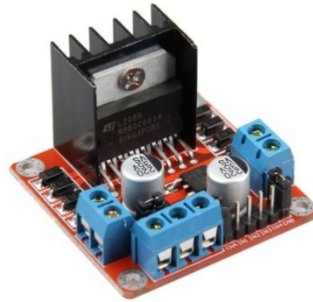
Quando o relé recebe sinal da porta digital do Arduino, a ligação da válvula com a fonte externa acontece, ocasionando na abertura do orifício da válvula. Caso contrário, a ligação não é realizada, e o orifício permanece fechado.

2.2.3 Ponte H

Ponte H é um circuito que permite realizar a inversão da polaridade de uma corrente elétrica direcionada para uma carga (DOS REIS, 2017).

É um dispositivo muito utilizado para controlar a velocidade e o sentido de rotação de motores DC (corrente contínua), podendo manipular até dois motores. Um módulo Ponte H é mostrado na Figura 6.

Caso os dispositivos a serem controlados pelo módulo Ponte H operarem em tensões superiores a 5V, para funcionar, o módulo necessita de uma fonte de alimentação externa.

Figura 6. Driver Motor Ponte H L298n

Fonte: Site FilipeFlop⁶

As especificações do módulo Ponte H usado nos projetos deste trabalho são mostradas na Tabela 3.

Tabela 3. Especificações do módulo Ponte H

Especificação	Valor	Unidade
Tensão de operação	4 – 35 (DC)	V
Corrente de operação máxima	2 (por canal)	A
	4 (máxima)	
Tensão lógica	5	V
Corrente lógica	0 – 36	mA
Temperatura de operação	-20 - +135	°C
Potência máxima	25	W
Dimensões	43 x 43 x 27	mm
Peso	30	g

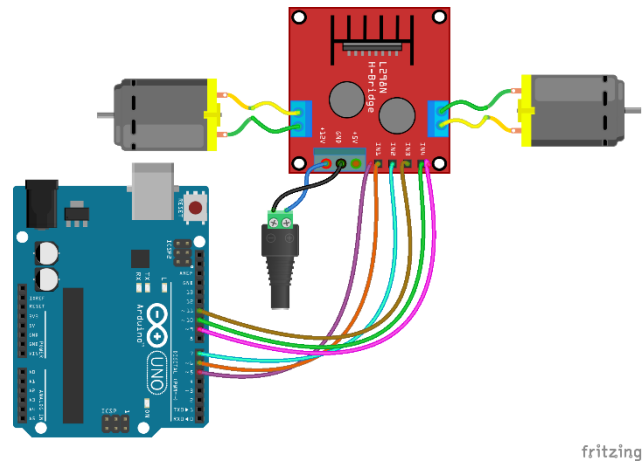
Fonte: Site FilipeFlop (acesso em dez. 2018)

Conectando portas digitais do Arduino a portas lógicas do módulo Ponte H é possível controlar, individualmente, o sentido de rotação dos motores conectados ao módulo. A velocidade de rotação é manipulada por portas digitais reprogramadas para função analógica de saída (as chamadas portas PWM) conectadas, também, a portas lógicas do módulo Ponte H. Um esquema de ligação é mostrado na Figura 7.

Neste trabalho, módulos Ponte H serão usados para controlar a potência de bombas de água, que são dispositivos movidos por motores DC.

⁶ Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/produto/driver-motor-ponte-h-l298n/>>. Acesso em: 28 dez. 2018.

Figura 7. Esquema de ligação da Ponte H



2.2.4 Sensor de Pressão Diferencial

O sensor de pressão diferencial é um tipo de sensor que quantifica a diferença de pressão entre dois pontos. O sensor tem orifícios que, em contato com diferentes meios, é capaz de medir a diferença de pressão entre eles. O dispositivo retorna um sinal elétrico com determinada tensão proporcional à pressão diferencial lida.

Para o desenvolvimento dos módulos deste trabalho será usado o sensor de pressão diferencial MPX5700DP, fabricado pela Motorola e mostrado na Figura 8.

Figura 8. Sensor de pressão diferencial MPX5700DP



Fonte: Site Farnell⁷

As especificações do sensor são mostradas na Tabela 4.

⁷ Disponível em: < <https://pt.farnell.com/nxp/mpx5700dp/ic-pressure-sensor/dp/1555600>>. Acesso em: 28 dez. 2018.

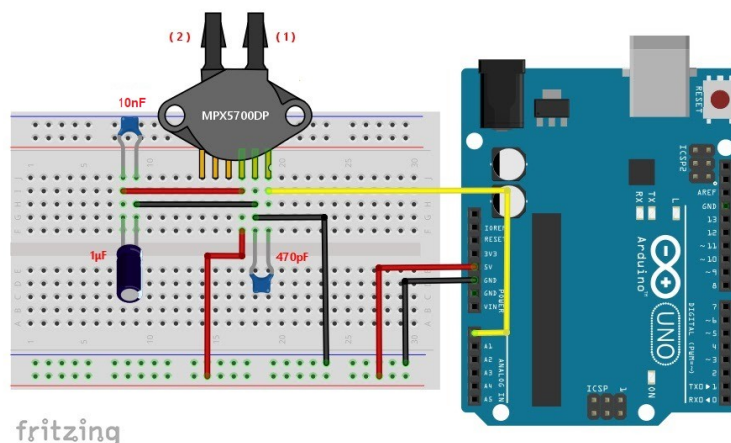
Tabela 4. Especificações do MPX5700DP

Especificação	Valor	Unidade
Tensão de operação	4,75 – 5,25 (DC)	V
Corrente de operação	7 - 10	mA
Faixa de pressão	0 – 700	kPa
Sensibilidade	6,4	mV/kPa
Temperatura de operação	-40 - +125	°C
Dimensões	29 x 37 x 10	mm

Fonte: Site UsinaInfo (acesso em dez. 2018)

Para a ligação do sensor com o Arduino são necessários 3 capacitores de 1 μ F, 470pF e 10nF. A alimentação do dispositivo pode ser feita diretamente pela porta de 5V do Arduino e a saída de dados deve ser conectada a uma porta analógica de leitura da placa. Um esquema da posição dos resistores e conexão com Arduino é mostrado pela Figura 9.

Figura 9. Esquema de ligação do sensor MPX5700DP



Fonte: Site Mercado Livre⁸.

A informação sobre como calcular a pressão diferencial a partir do valor de tensão retornado pelo sensor pode ser encontrada na folha de informações (*datasheet*) do dispositivo⁹.

⁸ Disponível em: < https://http2.mlstatic.com/sensor-transdutor-preso-mpx5700dp-ar-gas-frete-r12190701-D_NQ_NP_972663-MLB25919089260_082017-F.jpg >. Acesso em: 28 dez. 2018.

⁹ Disponível em: < https://www.usinainfo.com.br/index.php?controller=attachment&id_attachment=152 >. Acesso em: 05 jan. 2019.

A aplicação do sensor de pressão diferencial neste trabalho será para o controle de nível de um reservatório, em que o sensor fará o cálculo da pressão de uma coluna de líquido em um reservatório. Tal medida pode ser realizada acoplando uma das extremidades de um tubo em um dos orifícios do sensor e a outra extremidade na base da coluna de líquido do reservatório e o outro orifício do sensor é deixado em contato com a atmosfera.

2.2.5 Bomba de Água

A bomba de água é um dispositivo capaz de adicionar energia à água ou líquidos com características físicas parecidas. Existem diversos tipos desses dispositivos para uso com Arduino que podem ser usados submersos ou não, dependendo do modelo escolhido.

Nos projetos deste trabalho que necessitem de bombas de água será utilizada a mini bomba de água modelo RS-385, mostrado na Figura 10.

As especificações da bomba são mostradas na Tabela 5.

Tabela 5. Especificações da mini bomba de água RS-385

Especificação	Valor	Unidade
Tensão de operação	9 – 15 (DC)	V
Corrente de operação	0,6 – 2	A
Altura de aspiração máxima	2	m
Elevação máxima	3	m
Vazão de água máxima	1,5 – 2	L/m
Diâmetro de entrada e saída	aproximadamente 7,6	mm
Peso	100	g

Fonte: Site UsinaInfo (acesso em dez. 2018)

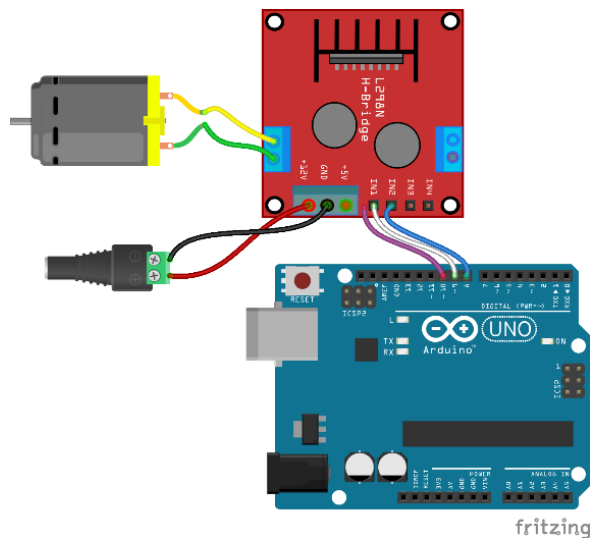
A alimentação da bomba deve ser realizada por uma fonte externa, pois o Arduino só fornece 5V de tensão. Além disso, a velocidade de rotação do motor da bomba pode ser controlada por um módulo Ponte H, assim como a direção de sua rotação. Uma representação da ligação da bomba com Arduino é mostrada na Figura 11.

Figura 10. Mini Bomba de Água RS-385



Fonte: Site Multipeças¹⁰

Figura 11. Esquema de ligação da mini bomba de água RS-385



Este é um elemento atuador importante para os fins deste trabalho, visto que está presente em todos os projetos desenvolvidos.

2.2.6 Sensor de Vazão

O sensor de vazão é um aparelho capaz de medir a vazão de líquidos que passa por seu interior. No que se refere a sensores de vazão compatíveis com Arduino, a leitura é realizada pelo sensor que retorna um sinal elétrico com determinada frequência proporcional à vazão lida.

Para o desenvolvimento dos módulos deste trabalho será usado o sensor de vazão YF-S201b, fabricado pela YIFA the plastics Ltd e mostrado na Figura 12.

¹⁰ Disponível em: < <http://www.multipecas.curitiba.br/loja/produto/mini-bomba-de-agua-para-irrigacao-12v> >. Acesso em: 28 dez. 2018.

Figura 12. Sensor de vazão YF-S201b

Fonte: Site FilipeFlop¹¹

As especificações do sensor são mostradas na Tabela 6.

Tabela 6. Especificações do YF-S201b

Especificação	Valor	Unidade
Tensão de operação	5 – 24	V
Corrente máxima	15 (5V)	mA
Faixa de vazão	1 – 30	L/min
Exatidão	10%	-
Temperatura de operação	-25 - +80	°C
Dimensões	2,5 x 1,4 x 1,4	in

Fonte: Site FilipeFlop (acesso em dez. 2018)

Como o sensor pode ser operado com 5V, a alimentação pode ser realizada diretamente pelo Arduino. A saída de dados é conectada a alguma porta digital da placa para que seja possível o cálculo da vazão.

A informação sobre como calcular a vazão a partir do valor de frequência retornado pelo sensor pode ser encontrada na folha de informações (*datasheet*) do dispositivo¹².

2.2.7 Sensor de Temperatura

Um sensor de temperatura, como o nome indica, é um dispositivo capaz de mensurar a temperatura, respeitando sua faixa de operação, de determinado ambiente.

¹¹ Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-fluxo-de-agua-12-yf-s201/>>. Acesso em: 29 dez. 2018.

¹² Disponível em:< <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2019.

Existem diversos tipos desses sensores que são compatíveis com Arduino, incluindo sensores de temperatura e umidade, termistores, termopares, entre outros. Neste trabalho será utilizado o sensor de temperatura à prova d'água DS18B20, fabricado pela Maxim Integrated Products e mostrado na Figura 13.

Figura 13. Sensor de temperatura DS18B20



Fonte: Site FilipeFlop¹³

As especificações do sensor são mostradas na Tabela 7.

Tabela 7. Especificações sensor de temperatura DS18B20

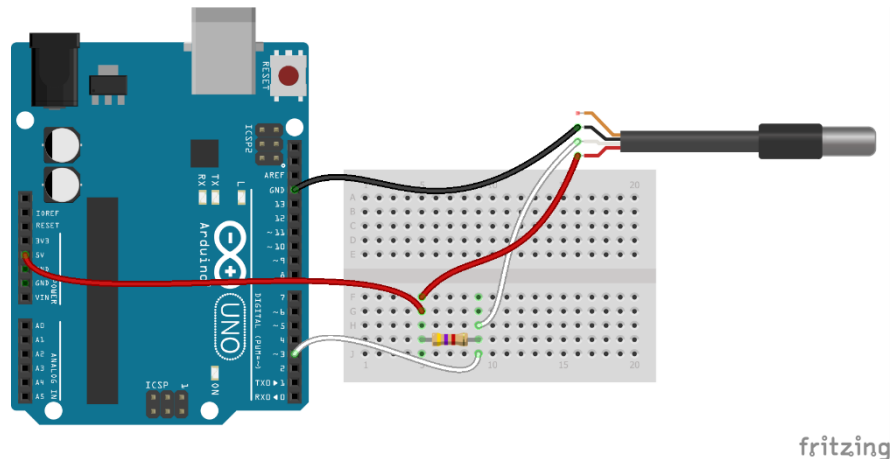
Especificação	Valor	Unidade
Tensão de operação	3 – 5,5	V
Corrente de operação	1 – 1,5	mA
Corrente lógica	5	μA
Faixa de medição	-10 - +85	°C
Precisão	0,5 (-10 a 85°C)	°C
Dimensões da ponta de aço cilíndrica	6 x 50	mm
Comprimento do cabo	100	cm

Fonte: Site FilipeFlop (acesso em dez. 2018)

Para conexão com o Arduino é necessário um resistor de 4,7kΩ, que será ligado em paralelo com a corrente de saída do sensor. A alimentação pode ser realizada diretamente pelo Arduino. Um esquema de ligação é mostrado na Figura 14.

¹³ Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova-dagua/>>. Acesso em: 28 dez. 2018.

Figura 14. Esquema de ligação do sensor de temperatura DS18B20



Esse modelo de sensor tem a vantagem de poder utilizar vários sensores iguais conectados à uma mesma porta do Arduino. Isso é possível graças à tecnologia *OneWire* presente nesses dispositivos que identifica cada sensor por um endereço físico e possibilita a utilização em um mesmo barramento.

A informação sobre como obter a temperatura a partir da leitura do sensor pode ser encontrada na folha de informações (*datasheet*) do dispositivo¹⁴.

2.2.8 Sensor de pH

O sensor de pH é um dispositivo capaz de mensurar o pH de determinado meio. Normalmente os sensores de pH para Arduino encontrados no mercado vêm com uma sonda medidora e um módulo de leitura para facilitar a conexão com a placa.

A quantificação do pH ocorre pela medida da diferença de potencial entre um eletrodo de referência (prata / cloreto de prata) e um eletrodo de vidro sensível ao íon hidrogênio (DCERVANTES, 2017).

A Figura 15 mostra um módulo sensor de pH compatível com Arduino composto pela sonda e módulo de leitura.

¹⁴ Disponível em: < <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf> >. Acesso em: 05 jan. 2019.

Figura 15. Módulo sensor de pH

Fonte: Site Scidle¹⁵

As especificações do sensor usado em um projeto deste trabalho são mostradas na Tabela 8.

Tabela 8. Especificações do módulo sensor de pH

Especificação	Valor	Unidade
Tensão de operação	5 DC	V
Corrente de operação	5 – 10	mA
Faixa de temperatura	0 – 60	°C
Tempo de resposta	5	s
Comprimento do cabo	1	m
Dimensões do módulo de leitura	42 x 32 x 13	mm
Dimensões da sonda cilíndrica	170 x 12,5	mm

Fonte: Site UsinaInfo (acesso em jan. 2019)

A alimentação do módulo pode ser feita pelo próprio Arduino. A saída de dados deve ser conectada à alguma porta de leitura analógica da placa e duas portas de aterramento (GND) serão necessárias. Um esquema de ligações é mostrado pela Figura 16.

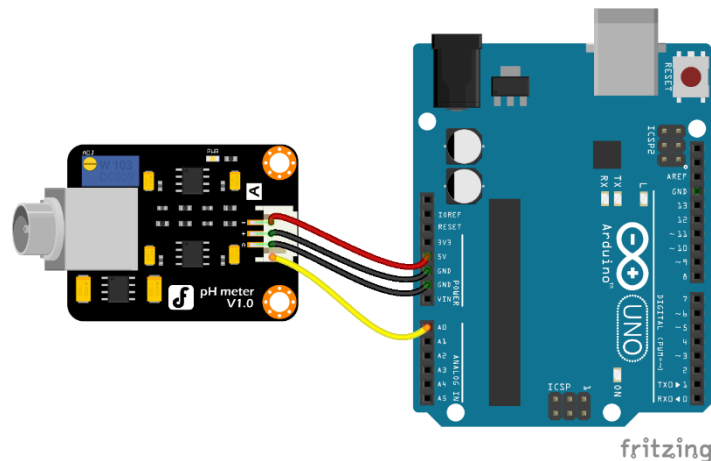
Informações sobre como calibrar o sensor para obter o pH podem ser encontradas na folha de informações (*datasheet*) do dispositivo¹⁶.

¹⁵ Disponível em: < <https://scidle.com/how-to-use-a-ph-sensor-with-arduino/>>. Acesso em: 03 jan 2019.

¹⁶ Disponível em:< https://www.usinainfo.com.br/index.php?controller=attachment&id_attachment=553>. Acesso em: 05 jan. 2019.

Neste trabalho o sensor de pH será utilizado com a finalidade de mensurar a concentração de um ácido em uma solução aquosa numa malha de controle de concentração.

Figura 16. Esquema de ligação do módulo sensor de pH



3 PROPOSTAS DE EXPERIMENTOS

Nesta seção serão apresentados os projetos dos módulos experimentais desenvolvidos com o objetivo de estudo de diferentes tipos de controle utilizando a plataforma Arduino contendo toda a especificação e dimensionamento dos materiais necessários e a estimativa de custo dos projetos.

Foram projetados módulos experimentais para 5 tipos de controle: vazão, nível, temperatura, concentração e mistura.

3.1 Controle de vazão

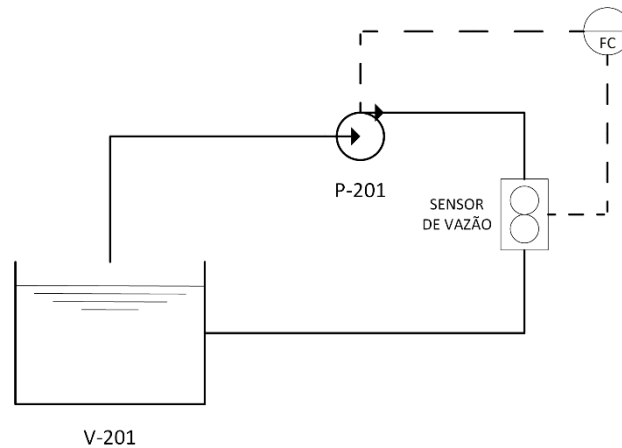
Este módulo experimental tem como objetivo o estudo de uma malha de controle de vazão.

A malha de controle desenvolvida é constituída por um sensor de vazão, uma bomba de água e o Arduino. A lógica do controle é descrita abaixo:

- Água aspirada de um reservatório (V-201) pela bomba (P-201) passa pelo sensor de vazão e retorna ao mesmo reservatório.
- O sensor mede a vazão na linha e envia sinal para o Arduino.
- Este, por sua vez, varia potência da bomba para que a vazão atinja o *setpoint* desejado.

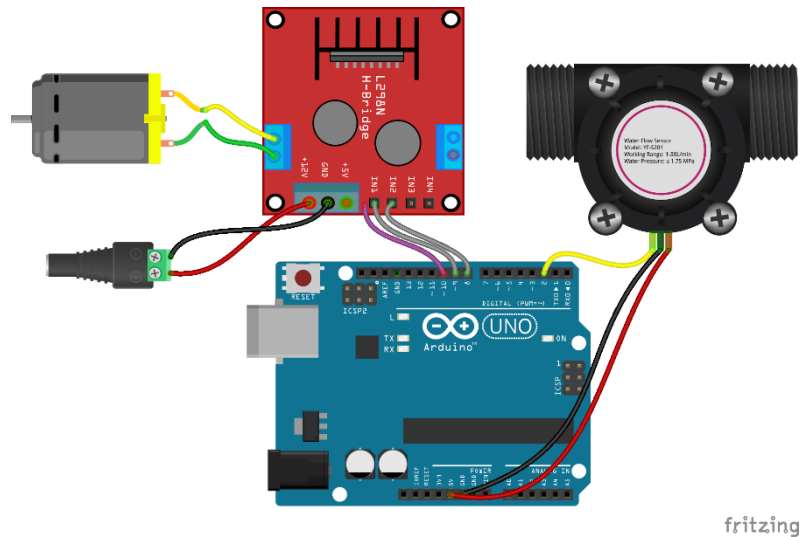
A Figura 17 mostra a representação esquemática deste módulo experimental.

Figura 17. Esquema do projeto para controle de vazão



O diagrama ilustrativo de conexões do circuito elétrico para esta malha de controle é mostrado na Figura 18.

Figura 18. Diagrama de conexões para a malha de controle de vazão



Para o correto funcionamento da bomba de água é necessário um módulo Ponte H para controlar a velocidade de rotação do motor, assim como uma fonte externa para a alimentação.

A fim de possibilitar a construção futura dos módulos experimentais foram realizados a especificação e o dimensionamento dos materiais necessários além de uma estimativa do custo total do módulo.

A Tabela 9 resume o estudo mencionado no parágrafo anterior.

Tabela 9. Materiais necessários para o projeto do módulo de controle de vazão

Material	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço final (R\$)
Adaptador Fêmea 1/2" X Mangueira Engate Rápido Diâmetro 1/4"	2	11,88 ¹⁷	23,76
Arduino Uno R3	1	54,99 ¹⁸	54,99
Driver Motor Ponte H L298n	1	21,90 ¹⁹	21,90
Fonte de Alimentação Chaveada 12VDC 2 ^a	1	28,41 ²⁰	28,41
Kit Jumpers 10cm x120 Unidades	1	22,90 ¹⁹	22,90
Mangueira Cristal 1/4"x1,0mm Transparente com 5 Metros	1	6,00 ²¹	6,00
Mini Bomba de Água para Arduino RS-385	1	32,21 ²⁰	32,21
Módulo Jack P4	1	9,50 ²⁰	9,50
Pote Cilíndrico com Tampa de Silicone Resistente 2L	1	35,96 ¹⁸	35,96
Protoboard 400 pontos	1	13,90 ¹⁹	13,90
Sensor de Fluxo de Água 1/2" YF-S201b	1	37,90 ¹⁹	37,90
		Custo Total	287,53

Fazendo uso do desenho esquemático (Figura 17), do diagrama de ligações (Figura 18) e da tabela materiais (Tabela 9) é possível executar a construção do módulo experimental, o que leva às próximas etapas de desenvolvimento do experimento que são a elaboração do código que será enviado ao Arduino e a calibração dos sensores e atuadores, que não é a finalidade deste trabalho.

3.2 Controle de nível

Este módulo experimental tem como objetivo o estudo de uma malha de controle de nível.

A malha de controle desenvolvida é constituída por um sensor de pressão diferencial, uma válvula solenoide e o Arduino. Duas bombas de água estão

¹⁷ Disponível para compra em: < <https://www.americanas.com.br>>

¹⁸ Disponível para compra em: < <https://www.mercadolivre.com.br>>

¹⁹ Disponível para compra em: < <https://www.filipeflop.com>>

²⁰ Disponível para compra em: < <https://www.usinainfo.com.br>>

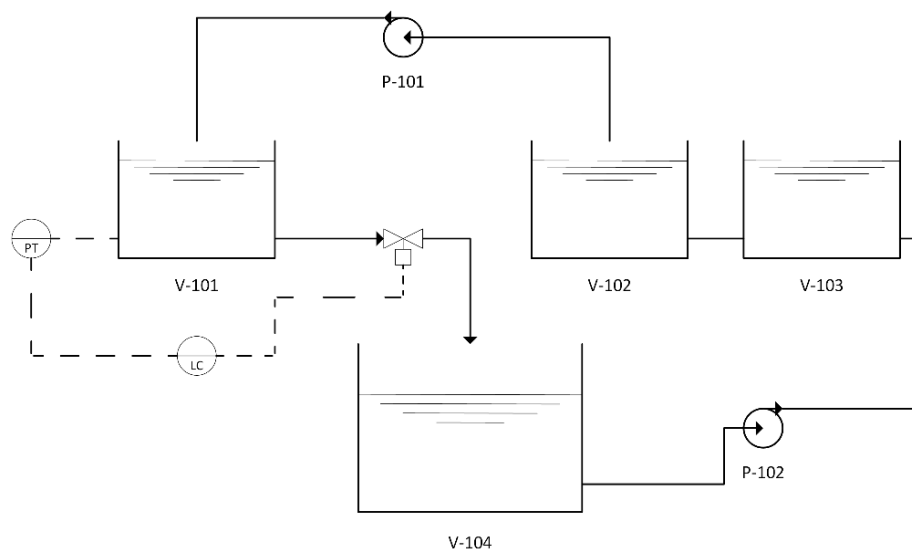
²¹ Disponível para compra em: < <https://www.submarino.com.br>>

presentes no projeto para realizar o fluxo de água no módulo. A lógica do controle é descrita abaixo:

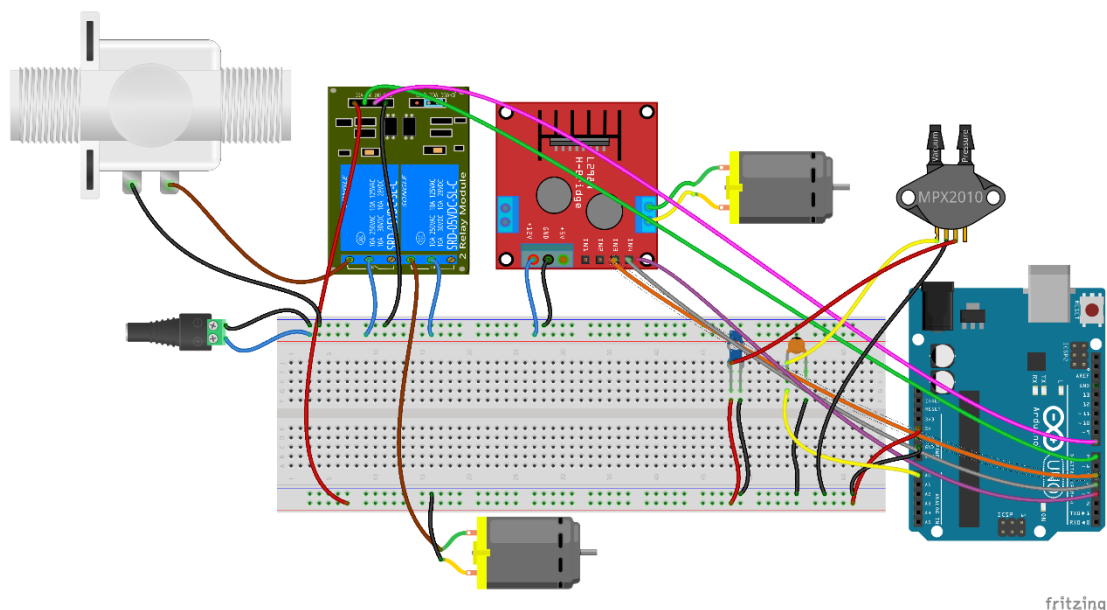
- Água é impulsionada de um reservatório de água duplo (V-102 e V-103) para outro (V-101) por uma bomba de água (P-101), a válvula solenoide é acoplada à saída do reservatório V-101 e direciona o líquido para um quarto tanque (V-104). Caso seja necessário, a segunda bomba (P-102) impulsiona água para o reservatório duplo a fim de evitar que ele se esvazie.
- O sensor de pressão diferencial mede a pressão da coluna de líquido no tanque V-101 e envia sinal para o Arduino.
- Este, por seu turno, calcula o nível do tanque a partir da informação recebida do sensor, compara com o *setpoint* e decide se abre ou fecha a válvula.

A Figura 19 mostra a representação esquemática do módulo experimental.

Figura 19. Esquema do projeto para controle de nível



O diagrama ilustrativo de conexões do circuito elétrico para esta malha de controle é mostrado na Figura 20.

Figura 20. Diagrama de conexões para a malha de controle de nível

Tal como elencado na seção 3.1, foram realizadas a especificação, o dimensionamento e a estimativa de custos dos materiais necessários para construção do módulo experimental, o que é mostrado na Tabela 10.

Tabela 10. Materiais necessários para o projeto do módulo de controle de nível

Material	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço final (R\$)
Arduino UNO R3	1	54,99 ¹⁸	54,99
Balde Graduado 12L	1	24,99 ¹⁷	24,99
Cabo Flat Colorido 1m 20 vias	1	15,90 ¹⁹	15,90
Capacitor Cerâmico 10nF	1	0,05 ²²	0,05
Capacitor Eletrolítico 1uF	1	0,09 ²²	0,09
Conector Faston Fêmea	2	0,90 ²³	1,80
Driver Motor Ponte H L298n	1	21,90 ¹⁹	21,90
Espigão Macho Rosca De ¼" Com Escama De ¼"	2	4,13 ²⁴	8,26
Fonte Chaveada 12V 5A	1	18,51 ²⁵	18,51

²² Disponível para compra em: <www.baudaeletronica.com.br>

²³ Disponível para compra em: <<https://www.robocore.net>>

²⁴ Disponível para compra em: <<https://www.extra.com.br>>

²⁵ Disponível para compra em: <<https://www.tudoforte.com.br>>

Kit Jumpers 10cm x120 Unidades	1	22,90 ¹⁹	22,90
Mangueira Cristal 1/4x1,0mm Transparente com 5 Metros	1	6,00 ²¹	6,00
Mangueira PVC Cristal 1/8"x1,5mm	1	0,90 ²⁶	0,90
Mini Bomba de Água para Arduino RS-385	2	32,21 ²⁰	64,42
Módulo Jack P4	1	9,50 ²⁰	9,50
Módulo Relé 5V 2 Canais	1	12,90 ¹⁹	12,90
Pote Cilíndrico Tampa Silicone Resistente 2L	3	35,96 ¹⁸	107,88
Protoboard 830 Pontos	1	16,90 ¹⁹	16,90
Sensor de Pressão Diferencial - MPX5700DP	1	119,70 ²⁰	119,70
Válvula de vazão solenoide 12VDC 180° rosca 1/4" x 1/4"	1	44,90 ¹⁹	44,90
Custo Total			552,49

Como mencionado na seção anterior, a construção do módulo pode ser executada explorando a Figura 19, Figura 20 e a Tabela 10.

3.3 Controle de temperatura

Este módulo experimental tem como objetivo o estudo de uma malha de controle de temperatura.

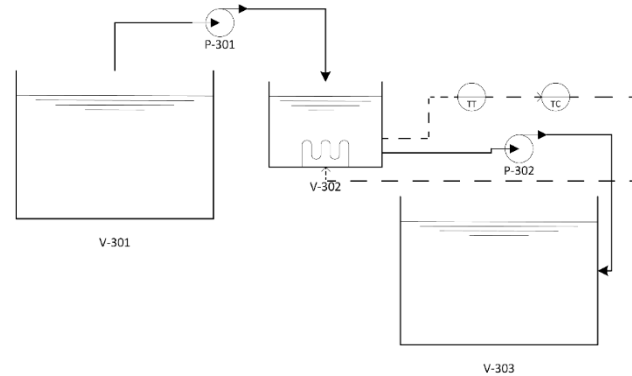
A malha de controle desenvolvida é constituída por um sensor de temperatura, um aquecedor de água do tipo “rabo quente” e o Arduino. Duas bombas de água estão presentes no projeto para realizar o fluxo de água no módulo. A lógica do controle é descrita abaixo:

- Água é impulsionada de um reservatório de água (V-301) para outro (V-302) por uma bomba de água (P-301). Uma segunda bomba (P-302) acoplada à saída do reservatório V-302 direciona o líquido para um terceiro tanque (V-303).
- O sensor de temperatura mede a temperatura do líquido no interior do tanque V-302 e envia sinal para o Arduino.
- Este, por sua vez, compara a temperatura lida pelo sensor com o *setpoint* e decide se liga ou desliga o aquecedor.

²⁶ Disponível para compra em: < <https://www.fg.com.br> >

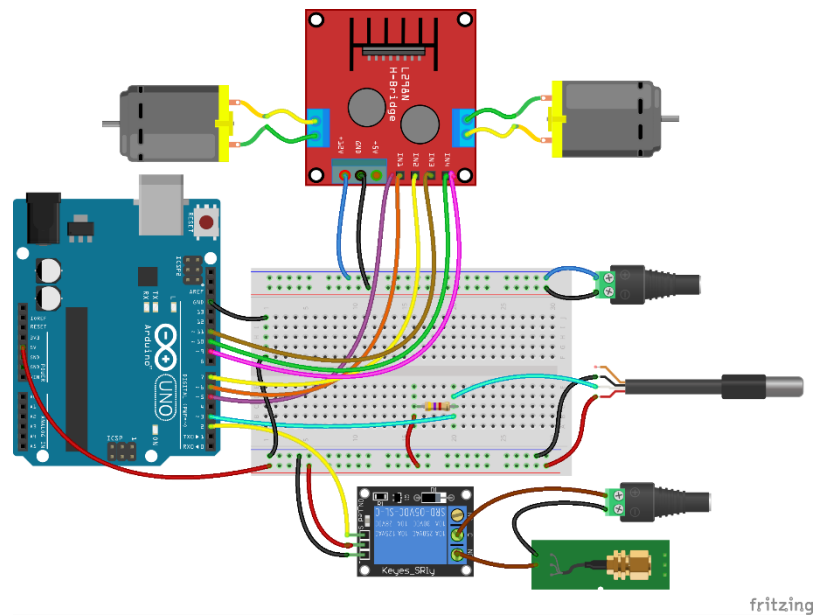
A Figura 21 mostra a representação esquemática do módulo experimental.

Figura 21. Esquema do projeto para controle de temperatura



O diagrama ilustrativo de conexões do circuito elétrico para esta malha de controle é mostrado na Figura 22.

Figura 22. Diagrama de conexões para a malha de controle de temperatura



Um módulo Ponte H é necessário para performance precisa das duas bombas de água. Uma fonte externa de 12V será requerida para alimentação das duas bombas e uma de 220V para funcionamento do aquecedor de água, assim como um resistor para ligação do sensor de temperatura com o Arduino, conforme explicado em 2.2.7 e um módulo relé simples para acionamento do aquecedor.

Da mesma forma que citado nas seções anteriores, foram feitos a especificação, o dimensionamento e a estimativa de custos dos materiais necessários para construção do módulo experimental, o que é mostrado na Tabela 11.

Tabela 11. Materiais necessários para o projeto do módulo de controle de temperatura

Material	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço final (R\$)
Aquecedor Água Rabo Quente 220v	1	17,90 ¹⁷	17,90
Arduino Uno R3	1	54,99 ¹⁸	54,99
Balde Graduado 12L	2	24,99 ¹⁷	49,98
Cabo Flat Colorido 1m 20 vias	1	15,90 ¹⁹	15,90
Driver Motor Ponte H L298n	1	21,90 ¹⁹	21,90
Fonte Chaveada 12V 5A	1	18,51 ²⁵	18,51
Kit Jumpers 10cm x120 Unidades	1	22,90 ¹⁹	22,90
Leiteira Black 0,68L	1	19,90 ¹⁷	19,90
Mangueira Para Instalação ¼" 2,5m	1	12,21 ¹⁷	12,21
Mini Bomba de Água para Arduino RS-385	2	32,21 ²⁰	64,42
Módulo Jack P4	1	9,50 ²⁰	9,50
Módulo Relé 5V 1 Canal	1	8,90 ¹⁹	8,90
Protoboard 400 Pontos	1	13,90 ¹⁹	13,90
Resistor 4,7kΩ 5%	1	0,07 ²²	0,07
Sensor de Temperatura DS18B20	1	18,90 ¹⁹	18,90
Tomada Pino Plug Redondo 10a/250v	1	2,10 ²⁷	2,10
Custo Total			351,98

Conforme citado nas seções anteriores, a construção do módulo pode ser realizada examinando a Figura 21, Figura 22 e a Tabela 11.

3.4 Controle de concentração

Este módulo experimental tem como objetivo o estudo de uma malha de controle de concentração.

A malha de controle desenvolvida é constituída por um sensor de pH, duas bombas de água e o Arduino. A lógica do controle é descrita abaixo:

- Duas bombas de água (P-501 e P-502) impulsionam para um reservatório (V-502) água e solução de ácido acético contidas em outros dois reservatórios independentes (V-501 e V-503), um contendo somente

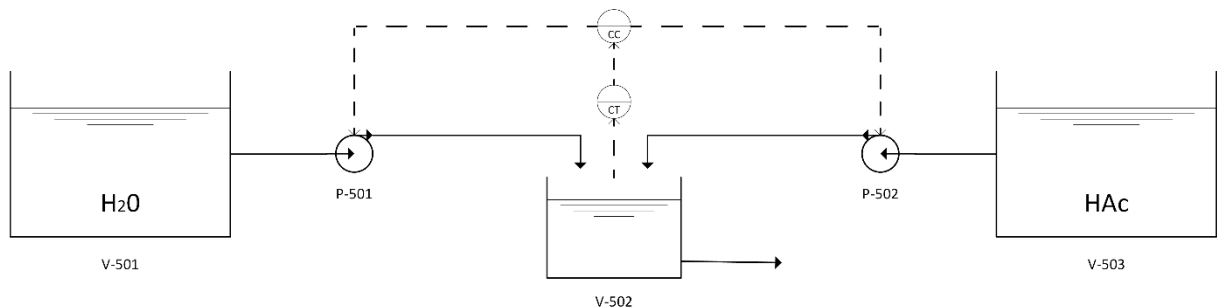
²⁷ Disponível para compra em: < <https://www.magazineluiza.com.br> >

água e outro, solução de ácido acético. A saída do tanque V-502 é direcionada à rede de esgoto ou a um tanque de armazenamento.

- O sensor de pH mede o pH da solução no interior do tanque V-502 e envia o sinal para o Arduino.
- Este, por sua vez, compara o pH lido pelo sensor com o *setpoint*, decide a vazão adequada de água e de solução de ácido acético e altera a potência das bombas.

A Figura 23 mostra a representação esquemática do módulo experimental.

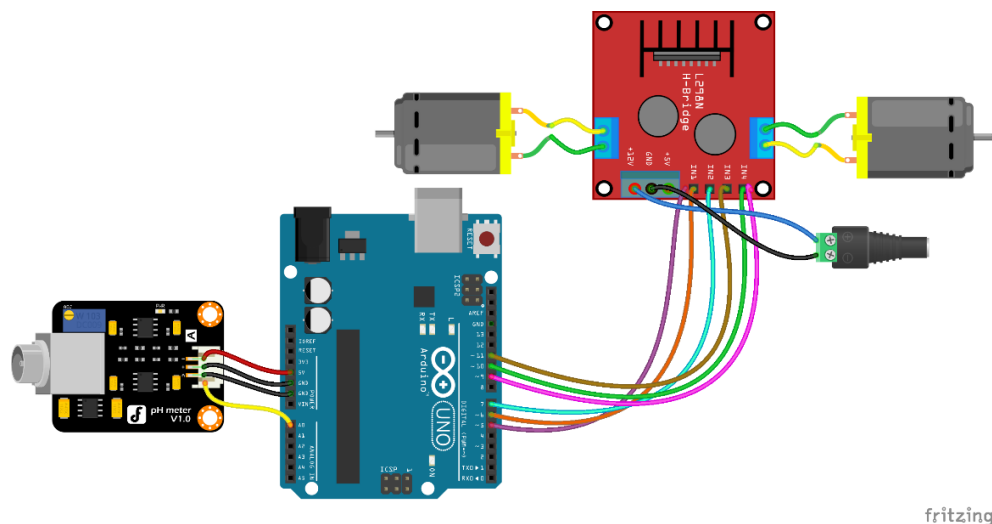
Figura 23. Esquema do projeto para controle de concentração



O diagrama ilustrativo de conexões do circuito elétrico para esta malha de controle é mostrado na Figura 24.

Como em projetos anteriores, um módulo Ponte H e uma fonte de alimentação externa de 12V são necessárias para funcionamento adequado das duas bombas de água.

Figura 24. Diagrama de conexões para a malha de controle de concentração



Assim como citado nas seções anteriores, foram elaborados a especificação, o dimensionamento e a estimativa de custos dos materiais necessários para construção do módulo experimental, o que é mostrado na Tabela 12.

Tabela 12. Materiais necessários para o projeto do módulo de controle de concentração

Material	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço final (R\$)
Arduino Uno R3	1	54,99 ¹⁸	54,99
Balde Graduado 12L	2	24,99 ¹⁷	49,98
Driver Motor Ponte H L298n	1	21,90 ¹⁹	21,90
Fonte Chaveada 12V 5A	1	18,51 ²⁵	18,51
Kit Jumpers 10cm x120 Unidades	1	22,90 ¹⁹	22,90
Mangueira Cristal ¼"x1,0mm Transparente com 5 Metros	1	6,00 ²¹	6,00
Mini Bomba de Água para Arduino RS-385	2	32,21 ²⁰	64,42
Módulo Jack P4	1	9,50 ²⁰	9,50
Pote Hermético com Rosca 1000 mL	1	10,90 ¹⁷	10,90
Protoboard 400 Pontos	1	13,90 ¹⁹	13,90
Sensor de pH Arduino + Módulo de Leitura	1	149,45 ¹⁸	149,45
Custo Total			422,45

De acordo com o apresentado nas seções anteriores, a construção do módulo pode ser realizada explorando a Figura 23, Figura 24 e a Tabela 12.

3.5 Controle de mistura

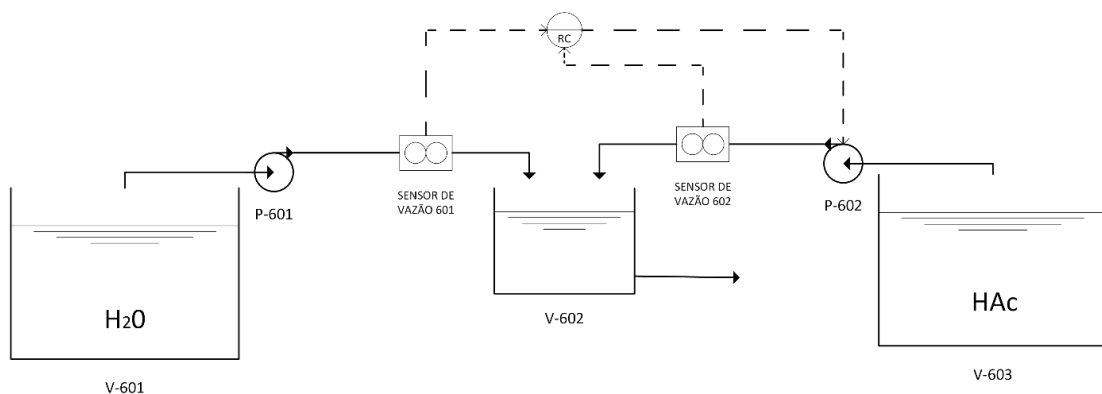
Este módulo experimental tem como objetivo o estudo de uma malha de controle de mistura.

A malha de controle desenvolvida é constituída por dois sensores de vazão, uma bomba de água e o Arduino. Uma bomba de água auxiliar está presente no projeto para realizar o fluxo de água do reservatório para o tanque de mistura. A lógica do controle é descrita abaixo:

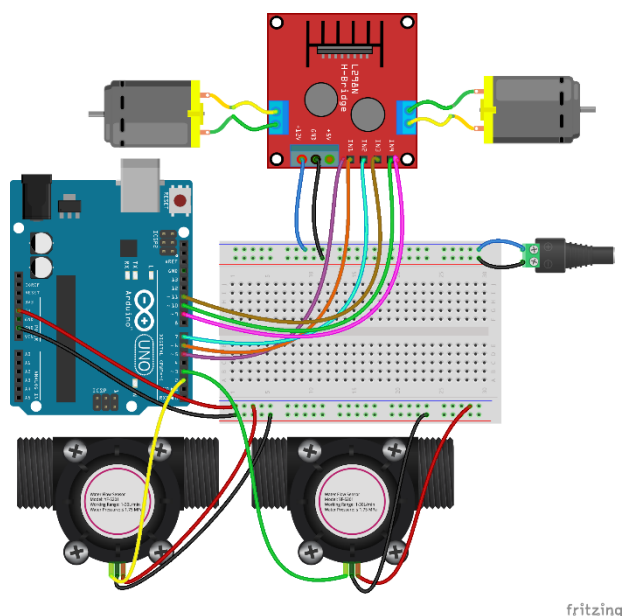
- Duas bombas de água (P-601 e P-602) impulsionam para um reservatório V-602 água e solução de ácido acético contidas em outros dois reservatórios independentes (V-601 e V-603), um contendo somente água e outro, solução de ácido acético. Um sensor de vazão é conectado à jusante de cada bomba. A saída do tanque V-602 é direcionada à rede de esgoto ou a um tanque de armazenamento.
- Os sensores de vazão realizam a leitura da vazão de cada corrente de alimentação do tanque de mistura V-602 e enviam sinais para o Arduino.
- Este, por sua vez, calcula a razão das duas correntes de acordo com as informações lidas pelos sensores, decide a vazão adequada de solução ácido acético para que a razão entre as duas correntes se aproxime do *setpoint* e altera a potência da bomba de alimentação de solução de ácido acético.

A Figura 25 mostra a representação esquemática do módulo experimental.

Figura 25. Esquema do projeto para controle de mistura



O diagrama ilustrativo de conexões do circuito elétrico para esta malha de controle é mostrado na Figura 26.

Figura 26. Diagrama de conexões para a malha de controle de mistura

Conforme elucidado em projetos anteriores, um módulo Ponte H e uma fonte de alimentação externa de 12V são necessárias para funcionamento adequado das duas bombas de água.

Igualmente às seções anteriores, foram realizados a especificação, o dimensionamento e a estimativa de custos dos materiais necessários para construção do módulo experimental, o que é mostrado na Tabela 13.

Tabela 13. Materiais necessários para o projeto do módulo de controle de mistura

Material	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço final (R\$)
Adaptador Fêmea 1/2" x Mangueira Engate Rápido Diâmetro 1/4"	4	11,88 ¹⁷	47,52
Arduino Uno R3	1	54,99 ¹⁸	54,99
Balde Graduado 12L	2	24,99 ¹⁷	49,98
Driver Motor Ponte H L298n	1	21,90 ¹⁹	21,90
Fonte Chaveada 12V 5A	1	18,51 ²⁵	18,51
Kit Jumpers 10cm x 120 Unidades	1	22,90 ¹⁹	22,90
Mangueira Cristal 1/4" x 1,0mm com 5m	1	6,00 ²¹	6,00
Mini Bomba de Água para Arduino RS-385	2	32,21 ²⁰	64,42
Módulo Jack P4	1	9,50 ²⁰	9,50

Módulo Relé 5V 2 Canais	1	12,90 ¹⁹	12,90
Pote Cilíndrico Tampa Silicone Resistente 2L	1	35,96 ¹⁸	35,96
Sensor de Fluxo de Água ½" YF-S201b	2	37,90 ¹⁹	75,80
Custo Total			420,38

Consoante com o apontado nas seções anteriores, a construção do módulo pode ser executada analisando a Figura 25, Figura 26 e a Tabela 13.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo como motivação básica a importância da prática experimental para o ensino de engenharia e a carência de experimentos que abordem o tópico de controle de processos nas aulas práticas do curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, este trabalho de conclusão de curso apresenta a plataforma Arduino como uma boa ferramenta para o desenvolvimento de módulos experimentais didáticos e indica cinco propostas de projetos neste contexto.

Com o intuito de simplificar o entendimento dos projetos, todos os sensores e atuadores utilizados nos projetos foram especificados e seu funcionamento e a forma ideal de conexão com o Arduino foram explicados.

A etapa final do trabalho foi projetar módulos experimentais para cinco tipos distintos de controle, a saber, controle de vazão, nível, temperatura, concentração e mistura. Os projetos foram desenvolvidos e elucidados de forma a conter o layout do sistema, diagrama de conexões eletroeletrônicas, especificação, dimensionamento e estimativa de custo dos materiais.

Em suma, observando a grande abundância de possibilidades de projetos eletrônicos propiciada pela criação do Arduino em conjunto com os sensores e atuadores compatíveis com a plataforma, é possível afirmar que o dispositivo se apresenta como uma alternativa relevante para o desenvolvimento de experimentos didáticos para o ensino de controle de processos. Ademais, os resultados alcançados neste trabalho fornecem ferramentas úteis para a futura implantação de novos experimentos didáticos que contribuam para o aprendizado de controle de processos para os alunos, tanto da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia como de outras unidades acadêmicas.

REFERÊNCIAS

BANZI, M. **Getting Started with Arduino**. 1ª. ed. Sebastopol: O'Reilly, 2009.

DCERVANTES. How to use a pH sensor with Arduino. **Scidle**, 2017. Acesso em: 03 Janeiro 2018.

DOS REIS, F. Como funciona uma Ponte H – Controle direcional de motores DC. **Bóson Treinamentos em Tecnologia**, 2017. Disponível em: <<http://www.bosontreinamentos.com.br/eletronica/curso-de-eletronica/como-funciona-uma-ponte-h-controle-direcional-de-motores-dc/>>. Acesso em: 28 Dezembro 2018.

FEISEL, L. D.; ROSA, A. J. The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education. **Journal of Engineering Education**, Janeiro 2005. 121-130.

MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. 1ª. ed. São Paulo: Novatec Editora, 2011.

RELÉ. **WIKIPEDIA, a enciclopédia livre**, 2018. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Rel%C3%A9>>. Acesso em: 27 Dezembro 2018.

SILVEIRA, C. B. Como Funciona a Válvula Solenóide e Quais São os Tipos Existentes? **Citisystems**, 2018. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/valvula-solenoid/>>. Acesso em: 27 Dezembro 2018.

APÊNDICE A – Resumo de sensores compatíveis com Arduino

Nas tabelas a seguir são mostrados diversos sensores compatíveis com Arduino que podem ser usados para projetos de engenharia.

Tabela A-1. Sensores Barométricos

Nome	Foto	Descrição
Sensor De Pressão e Temperatura Bmp280		Faixa de medição pressão: 300 – 1100hPa Faixa de temperatura: -40 à 85 °C
Sensor de Pressão e Temperatura BMP180		Faixa de leitura de pressão: 300 à 1100hPa Sensor de temperatura embutido: -40 à +85°C
Sensor de Pressão de Ar DIP 40kPa		Faixa de medição: 0-40kPa
Sensor de Pressão Absoluta - MPX5700AP		Faixa de medição: 15kPa a 700kPa
Sensor de Pressão Diferencial - MPX5700DP		Faixa de medição: 0kPa a 700kPa.

Tabela A-2. Sensores de Gás

Nome	Foto	Descrição
Sensor de Gas MQ-2 Inflamável e Fumaça		Detecta concentrações de gases combustíveis e fumaça no ar.
Sensor de Gás MQ-7 Monóxido de Carbono		Detecta o gás Monóxido de Carbono CO.
Sensor de Gás MQ-135 para Gases Tóxicos		Detecta vários tipos de gases tóxicos como amônia, dióxido de carbono, benzeno, óxido nítrico, e também fumaça ou álcool.
Sensor de Gás MQ-3 Álcool		Detecta vapores de álcool e etanol.

Sensor de Gás MQ-4 Metano		Detecta gases inflamáveis como Metano, Propano e Butano.
Sensor de Gás MQ-5 GLP e Gás Natural		Alta sensibilidade para GLP (gás de cozinha) e gás natural, e baixa sensibilidade para álcool e fumaça.
Sensor de Gás MQ-9 Monóxido de Carbono		Detecta gases como monóxido de carbono (CO), metano e propano.
Sensor de Gás MQ-8 Hidrogênio		Detecta hidrogênio (alta sensibilidade) e outros gases como gás de cozinha, álcool e fumaça (baixa sensibilidade).
Sensor de Gás MQ-6 GLP Isobutano Propano		Alta sensibilidade para GLP (gás de cozinha), isobutano e propano, e baixa sensibilidade para álcool e fumaça.

Tabela A-3. Sensores de Temperatura

Nome	Foto	Descrição
Sensor de Luminosidade LDR 5mm		Resistência varia de acordo com a intensidade da luz.
Receptor Infravermelho IR TSOP4838		Receptor IR (infravermelho)
Sensor de Luz LDR (Light Dependent Resistor)		Este sensor foi feito para detectar luz e possui uma saída digital e analógica, que podem ser conectadas diretamente em um microcontrolador como o Arduino.
Módulo Receptor Infravermelho IR KY-022		Receptor IR (infravermelho) com conexões diretas para Arduino.
Sensor de Luz BH1750FVI Lux		Determina a quantidade de luz (medida em lux), que está incidindo sobre o sensor.
Foto Interruptor GP1A57HRJ00F Sparkfun		Chave óptica que funciona com infravermelho.

Sensor de Raio Ultravioleta UV UVM-30A		Detecta a radiação solar UV.
Sensor de Luz TSL2561 Lux Luminosidade		Sensor muito preciso que determina a quantidade de luz (medida em lux), que está incidindo sobre o sensor.

Tabela A-4. Sensores de Movimento e Proximidade

Nome	Foto	Descrição
Sensor de Distância Ultrassônico HC-SR04		Mede distâncias de 2cm a 4m.
Sensor Óptico Reflexivo Fototransistor TCRT5000		Possui acoplado um sensor infravermelho (emissor) e um fototransistor (receptor).
Sensor de Movimento Presença PIR		Detecta o movimento de objetos que estejam em uma área de até 7 metros.
Acelerômetro e Giroscópio 3 Eixos 6 DOF MPU-6050		Contém 3 eixos para o acelerômetro e 3 eixos para o giroscópio, sendo ao todo 6 graus de liberdade.
Sensor de Proximidade Infravermelho		Tem alcance de 3 a 80cm.
Sensor de Vibração SW-420		Muda a saída se a vibração ultrapassar o limite definido.
Acelerômetro 3 Eixos MMA8452		Acelerômetro de 12 bits.
Sensor de Proximidade Indutivo NPN 6-36V		Detecta objetos metálicos a até 4mm de distância e gerar um sinal na saída do sensor.
Sensor de Distância Laser VL53L0X Adafruit		Detecta quanto tempo a luz levou para atingir um objeto e retornar para o sensor. Mede distâncias entre 30 e 1000mm com alto grau de precisão.

Sensor de Gestos e RGB Sparkfun



Oferece medição de luz ambiente, aproximação e sensor de gestos.

Tabela A-5. Sensores de Nível

Nome	Foto	Descrição
Sensor de Nível de Água		Detecta quando o líquido chega ao nível do sensor.
Sensor de Nível de Água horizontal		Detecta quando o líquido chega ao nível do sensor.
Sensor de Nível de Água / Sensor de Profundidade		Detecta a altura que o líquido avançou em sua superfície.
Sensor de Nível de Água com Boia Horizontal		Detecta quando o líquido chega ao nível do sensor.
Sensor de Nível de Água em INOX - Ideal para Água Quente		Detecta quando o líquido chega ao nível do sensor.
Sensor de Nível de Líquidos Infravermelho IR - SN15		Emite um sinal elétrico quando o nível do recipiente atingir o ponto de detecção do sensor.
Sensor de Nível de Líquidos Sem Contato - WS03		Emite um sinal elétrico quando o nível do recipiente atingir o ponto de detecção do sensor.

Tabela A-6. Sensores de Temperatura

Nome	Foto	Descrição
Sensor de Temperatura DS18B20 a Prova D'água		Faixa de medição: -55°C a +125°C
Sensor de Umidade e Temperatura DHT11		Faixa de medição de umidade: 20 a 90% UR Faixa de medição de temperatura: 0° a 50°C

Sensor de Som Grove		Detecta o som ambiente e gera um sinal variável na saída de acordo com a intensidade do som captado.
Sensor de Condutividade para Arduino - P24		Faz a medição da condutividade nas mais diversas superfícies.
Sensor UV Ultravioleta Guva-S12SD Keyes		Detectar o nível de radiação solar UV (ultravioleta).
