

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

FILIPE HERNANI STRELOW

REGEANE SILVA MENDES

**MONITORAMENTO DE GASES POR MEIO DE REDE DE SENSORES
CONTROLADOS COM ARDUINO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2015

FILIFE HERNANI STRELOW

REGANE SILVA MENDES

**MONITORAMENTO DE GASES POR MEIO DE REDE DE SENSORES
CONTROLADOS COM ARDUINO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação,
apresentado como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Ambiental – da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR,

Orientador: Laercio Mantovani Frare

MEDIANEIRA

2015



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Medianeira
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

MONITORAMENTO DE GASES POR MEIO DE REDE DE SENSORES CONTROLADOS COM ARDUINO

por

**FILIPE HERNANI STRELOW
REGEANE SILVA MENDES**

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 16:00 horas do dia 22 de junho de 2015, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. Os candidatos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Laercio Mantovani Frare
Orientador

Prof. Dr. Eduardo Eyng
Membro titular

Prof. Me. Hamilton Pereira da Silva
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

AGRADECIMENTOS

À Deus por nos guiar nas dificuldades, estando presente em todos os momentos da nossa caminhada.

Aos nossos familiares, que sempre nos foram exemplo dedicação e perseverança, construindo nosso caráter e nos concedendo ensinamentos para vida.

Ao nosso orientador, professor Laercio Mantovani Frare pela orientação e conhecimentos transmitidos, pelo tempo dedicado pacientemente a nós e nossas dúvidas, ajudando tantas vezes quanto foram necessárias.

Ao professor, de Ciência da Computação, Hamilton Pereira da Silva pelo auxílio no desenvolvimento do trabalho, nos cedendo equipamentos para a condução da pesquisa e conhecimentos.

Ao professor, de Química, Paulo Rodrigo S. Bittencourt pelo auxílio na construção da célula de medição e nos testes com os gases, fundamental para o nosso trabalho.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela formação acadêmica.

Ao corpo docente que nos proporcionou o aprendizado, e sempre foram solícitos, contribuindo para nossa formação.

Ao Dr. Adilson de Oliveira Jr., Joviano Jackson Kleinert e Dra. Mariana Gomes Germano Silva, que foram compreensivos as nossas necessidades.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

RESUMO

MENDES, Regeane Silva; STRELOW, Filipe Hernani. **Monitoramento de gases por meio de rede de sensores controlados com Arduino**. 2015. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2015.

O desenvolvimento industrial e a dependência de combustíveis fósseis como as principais fontes de energia gerou uma situação de grave crise energética e problemas ambientais. Nesse sentido a necessidade de buscas por novas fontes de energia tornou-se um fato. Gases de interesse energético como o hidrogênio e o biogás vem sendo estudados constantemente, entretanto o custo das análises desses processos são bastante altos. A plataforma arduíno é um microcontrolador que tem sido utilizado nos mais diversos setores e por ser de fonte aberta torna possível a sua programação para desempenhar diferentes papéis. Neste trabalho a plataforma arduíno foi utilizada juntamente com sensores de gases para a detecção de hidrogênio (MQ8), metano (MQ4) e dióxido de carbono (MG811), além de sensores de temperatura (GY65 e LM35) e pressão (GY65), ligados a um computador. Foram obtidas curvas de calibração a partir do *datasheet* de cada equipamento, por meio da qual foi possível obter uma equação de correção dos sensores utilizados. O sensor de hidrogênio apresentou dados não satisfatórios verificando-se uma grande variação destes em relação ao parâmetro R0. Os resultados da concentração de CO₂ obtidos pelo sensor MG811 apresentaram pequenas variações e as concentrações obtidas encontram-se fora da curva de calibração gerada a partir do *datasheet*. O sensor MQ4 não foi submetido a testes com injeção de CH₄ devido a falta deste gás para a realização dos ensaios. Para a aplicação deste método para a análise dos gases é necessário que os sensores apresentem uma medida estável, com precisão e exatidão ao longo do tempo para maior confiabilidade nos resultados.

Palavras-chave: Sensor. Arduino. Biogás.

ABSTRACT

MENDES, Regeane Silva; STRELOW, Filipe Hernani **Monitoring gases through Arduino-controlled sensor network**. 2015. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2015.

Industrial development and dependence on fossil fuels as the main energy sources generated a situation of serious energy crisis and environmental problems. In this sense the need to search for new sources of energy has become a fact. Gas energy interests such as hydrogen and biogas has been studied constantly, however the cost of the analysis of these processes are quite high. The Arduino platform is a microcontroller that has been used in various sectors and for being open source makes it possible to schedule to play different roles. In this work Arduino platform was used along with gas sensors for detecting hydrogen (MQ8), methane (MQ4) and carbon dioxide (MG811), and temperature sensors (LM35 and GY65) and pressure (GY65) connected to a computer. Calibration curves were obtained from the datasheet of each device, whereby it was possible to obtain a sensor of the correction equation used. The hydrogen sensor showed no satisfactory data verifying a wide variation of these in relation to the R0 parameter. The results of CO₂ concentration obtained by the sensor MG811 showed small variations and concentrations are obtained outside the calibration curve generated from the datasheet. The MQ4 sensor was not subjected to tests with CH₄ injection due to absence of gas for conducting the tests. For the application of this method for the analysis of gases is required that the sensors exhibit a stable measurement with precision and accuracy over time to more reliable results.

Keywords. Sensor. Arduino. Biogas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de digestão anaeróbia da matéria orgânica.....	15
Figura 2 - Arduino UNO.....	17
Figura 3- LilyPad Arduino.....	17
Figura 4 - Arduino Nano.....	17
Figura 5 - Arduino Diecimila.....	17
Figura 6 - Mapa de componentes da placa Arduino.....	19
Figura 7 - A célula unitária da estrutura.....	22
Figura 8 - Modelo de adsorção para semicondutor tipo-n para.....	23
Figura 9 - Modelo de barreira de potencial na	24
Figura 10 - Interface do software Arduino.....	29
Figura 11 - Câmara de vidro.....	30
Figura 12 - Câmara de análise dos gases.....	31
Figura 13 - Esquema de ligação dos sensores à placa Arduino.....	33
Figura 14 - Curva de sensibilidade aos gases do sensor MQ-4.....	34
Figura 15 - Curva de sensibilidade aos gases do sensor MQ-8.....	34
Figura 16 - Curva de sensibilidade do sensor.....	34
Figura 17 - Exemplo de leitura do gráfico.....	35
Figura 18 – Razão R_s/R_0 em função da concentração de hidrogênio.....	37
Figura 19 – Razão R_s/R_0 em função da concentração de metano.....	38
Figura 20 – Leitura da concentração de dióxido de metano em função da leitura em mV.....	38
Figura 21- Gráfico de leitura de CO ₂	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVO GERAL	11
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 FONTES ENERGÉTICAS E O BIOGÁS	12
3.2 OBTENÇÃO DE BIOGÁS E HIDROGÊNIO A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	14
3.3 MICROCONTROLADORES	15
3.4 PLATAFORMA ARDUÍNO	16
3.5 ARDUINO UNO.....	17
3.5.1 Alimentação e memória	18
3.5.2 Linguagem do arduino e programação.....	19
3.6 SENSORES.....	20
3.6.1 Sensor semicondutor de óxido metálico.....	20
3.6.2 Dióxido de estanho.....	21
3.6.3 Princípio operacional.....	22
3.6.4 Sensor de hidrogênio.....	24
3.6.5 Sensor de metano	25
3.6.6 Sensor de dióxido de carbono MG811	25
3.6.7 Sensor de temperatura LM35	26
3.6.8 Sensor de pressão e temperatura GY65.....	27
3.7 FATORES QUE INFLUENCIAM O DESEMPENHO DO SENSOR.....	27
4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	29
4.1 MONTAGEM DA PLATAFORMA ARDUINO E INSTALAÇÃO DO SOFTWARE DE COMUNICAÇÃO.....	29
4.2 SISTEMA DE DETECÇÃO DE GASES	30
4.3 MONTAGEM DOS SENSORES E INSTALAÇÃO	32
4.4 CALIBRAÇÃO DOS SENSORES DE GÁS.....	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
6 CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIA	42
APÊNDICE A – Código para leitura dos sensores	47
ANEXO A – Dados técnicos do sensor MQ-4	51

ANEXO B – Dados técnicos do sensor MQ-8	54
ANEXO C – Dados técnicos do sensor MG-811	58

1 INTRODUÇÃO

As fontes de energia utilizadas pelo homem desde os tempos mais antigos já sofreram muitas mudanças. O petróleo tem sido o recurso energético mais utilizado mundialmente, além deste, outros recursos são fontes de energia dentre os quais se pode citar a madeira, o gás natural e o carvão mineral.

Um grande problema atrelado a utilização destes recursos refere-se aos impactos negativos oriundos deles, a queima desses recursos necessária para a geração de energia traz consigo uma diversidade de gases poluentes que são lançados à atmosfera produzindo efeitos adversos, como o efeito estufa e as chuvas ácidas.

O uso de insumos renováveis para geração de energia tem ganhado importância nas últimas décadas, entre essas tecnologias pode-se citar a fermentação anaeróbia a partir de fontes de energia renováveis, que desempenha um papel importante não só na produção de biogás como também no tratamento de resíduos orgânicos que poderiam contribuir para poluição ambiental.

Tradicionalmente, para determinação das concentrações das espécies presentes na mistura gasosa desses reatores são utilizados instrumentos de detecção tais como os cromatógrafos a gás, sendo instrumentos relativamente grandes, caros e de alto custo de manutenção. Ainda existem problemas como o gás sulfúrico gerado no processo que é tóxico e pode danificar algum componente dos equipamentos.

Diante disto a utilização de sensores de gás de estado sólido pode ser uma alternativa para controlar os processos de geração de gases combustíveis, com um custo relativamente baixo comparado aos equipamentos tradicionais de monitoramento e análise de gases, resposta rápida e de simples operação, possibilitando a caracterização do gás gerado.

Neste trabalho foi construído um sistema de monitoramento de hidrogênio e dióxido de carbono meio da utilização sensores semicondutores ligados a uma placa arduino associada a interface de um computador convencional.

2 OBJETIVO GERAL

Montagem de um sistema de monitoramento de gases obtidos a partir do processo de fermentação anaeróbia, fazendo uso de sensores ligados a uma placa Arduino conectada a um computador convencional.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir um sistema fechado para calibração de sensores de gás, temperatura e pressão;
- Elaborar um código compatível com a plataforma arduino para leitura dos sensores.
- Realizar a calibração dos sensores MQ-4 (metano), MQ-8 (hidrogênio) e MG811 (dióxido de carbono).
- Obter as curvas de calibração dos sensores
- Obter parâmetros para realizar leituras de resposta direta dos sensores pela plataforma arduino.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 FONTES ENERGÉTICAS E O BIOGÁS

O amplo desenvolvimento industrial e a grande dependência de combustíveis fósseis como as principais fontes de energia gerou uma situação de grave crise energética e problemas ambientais, sendo respectivamente o esgotamento dos combustíveis fósseis e as emissões de diversos tipos de poluentes para a atmosfera. Atrelado aos problemas ambientais ocasionados pela combustão de combustíveis fósseis tem-se a emissão de gases tais como CO₂, SO₂, NO_x e outros poluentes, que causam o aquecimento global e chuva ácida (NI et al, 2006).

A principal fonte de energia no mundo é proveniente dos combustíveis fósseis, cerca de 80% dessa demanda (DAS; VEZIROGLU, 2001). O aumento na taxa de demanda de energia juntamente com o esgotamento das fontes de combustíveis fósseis existentes implica em mudanças climáticas tornando evidente a necessidade de pesquisar e utilizar diferentes fontes alternativas de energia (HASYIM et al, 2011). Frente a este problema o biogás, hidrogênio e demais gases originados em processos menos poluentes, se apresentam como uma fonte promissora de energia visto que eles tem capacidade para substituir os combustíveis provenientes de outras fontes tanto em questões energéticas quanto ambientais tendo que o produto final da combustão destes elementos são menos impactantes do que os combustíveis fósseis por exemplo.

O biogás também não está facilmente disponível na natureza como os combustíveis fósseis, porém este pode ser produzido a partir de matérias renováveis como a biomassa, sendo ele produzido por meio de conversão biológica da matéria orgânica pela ação microbiana.

O hidrogênio é o elemento presente em maior quantidade no universo representando uma quantidade de cerca de três quartos de toda a matéria, sendo que na atmosfera é contida aproximadamente 0,07% de hidrogênio ao tempo que na superfície terrestre contém cerca de 0,14% desse mesmo elemento (DAS; VEZIROGLU, 2001). Ao se transformar em vapor este produto é capaz de produzir 2.570 cal.m⁻³, ao converte-se a água este mesmo produto o calor gerado aumenta chegando a 3.052 cal.m⁻³ (SUZUKI, 1982). O hidrogênio possui um elevado teor de energia um valor equivalente a 142 MJ.kg⁻¹ que comparado a outra fonte de energia, é

por exemplo cerca de 3 vezes maior do que o teor energético do óleo de 42 MJ.kg^{-1} (SEOL et al, 2011).

Embora o biogás e o hidrogênio representem fontes de energia limpa, há ainda a necessidade de se desenvolver e aprimorar as técnicas para sua utilização, dificuldades em relação a redução de custos para a produção, formas de armazenamento, transporte e modificações necessárias para sua utilização final ainda são barreiras a serem quebradas para a implantação desses novos combustíveis no mercado (MEHER KOTAY; DAS, 2008).

As formas mais amplamente utilizadas para a obtenção de hidrogênio, por exemplo, são técnicas como reforma de gás natural, hidrólise da água, foto-fermentação, biofotólise, utilizando para isso calor, energia elétrica ou luminosa que por vezes tornam a obtenção do hidrogênio inviável. Diante desses problemas uma outra forma de se obter esse produto e também o biogás é a partir de biomassa por processo de fermentação por microrganismos que apresenta vantagens em relação a custos de produção frente aos demais processos conhecidos, além disso não requer aquecimento e pode ser realizado em pressão ambiente (DAS; VEZIROGLU, 2001).

A geração desses gases a partir de biomassa tem recebido atenção, os produtos energéticos de interesse podem ser produzidos por meio de microrganismos em atividade anaeróbica utilizando como substrato resíduos orgânicos os quais são transformados em ácidos orgânicos no decorrer das etapas de digestão, mais especificamente na acidogênese gerando o hidrogênio como produto, na sequência deste processo também ocorre a etapa de metanogênese que é a última etapa da degradação da matéria onde é obtido o biogás (KAPDAN; KARGI, 2006). A vantagem de se utilizar resíduos orgânicos como substrato torna esse modelo de obtenção de gases energéticos uma fonte promissora de energia renovável, reduzem os impactos causados pelos resíduos e são economicamente interessantes (LATA et al, 2007).

Os processos biológicos geradores de biogás e hidrogênio podem se dividir em dependentes de luz e os independentes de luz, o primeiro sendo a biofotólise e fotofermentação, já o segundo que será utilizado neste estudo é a fermentação escura que independe de luz (MEHER KOTAY; DAS, 2008).

A fermentação escura (*dark fermentation*) tem vantagens em relação a fotofermentação dentre elas pode se citar que a fermentação escura é mais rápida do que a primeira, apresenta taxas mais altas de produção do que a segunda, tem a vantagem de poder utilizar uma ampla gama de substratos como resíduos orgânicos e águas residuárias, ricos em

carboidratos, não necessita de luz produzindo tanto durante o dia como no período noturno (OH et al, 2013).

A produção dos gases a partir de processos fermentativos sofrem influência de diversos fatores como a configuração do reator, o tempo de retenção hidráulica, carga orgânica, pH, temperatura, potencial de oxidação-redução, composição do substrato e nutrientes no meio que já foram demonstrados em outros trabalhos como de (NOIKE; MIZUNO, 2000; LOGAN et al, 2002; OH et al, 2004).

3.2 OBTENÇÃO DE BIOGÁS E HIDROGÊNIO A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Os principais passos da digestão anaeróbia são a hidrólise de proteínas, lípidios e hidratos de carbono, em seguida a fermentação de aminoácidos e açúcares na sequência ocorre a oxidação anaeróbia de ácidos graxos de cadeia longa e álcoois, posteriormente tem-se a oxidação anaeróbia de ácidos graxos voláteis, conversão de CO_2 e H_2 em ácido acético, conversão do acético em CH_4 e por último conversão do H_2 em CH_4 (OLIVEIRA; HIRAGASHI, 2006). Este processo pode ser observado na Figura 1.

De forma simplificada, este processo pode ser descrito como:

- Hidrólise (etapa 1)
- Acidogênese (etapas 2 e 3)
- Acetogênese (etapas 4 e 5)
- Metanogênese (etapas 6 e 7)

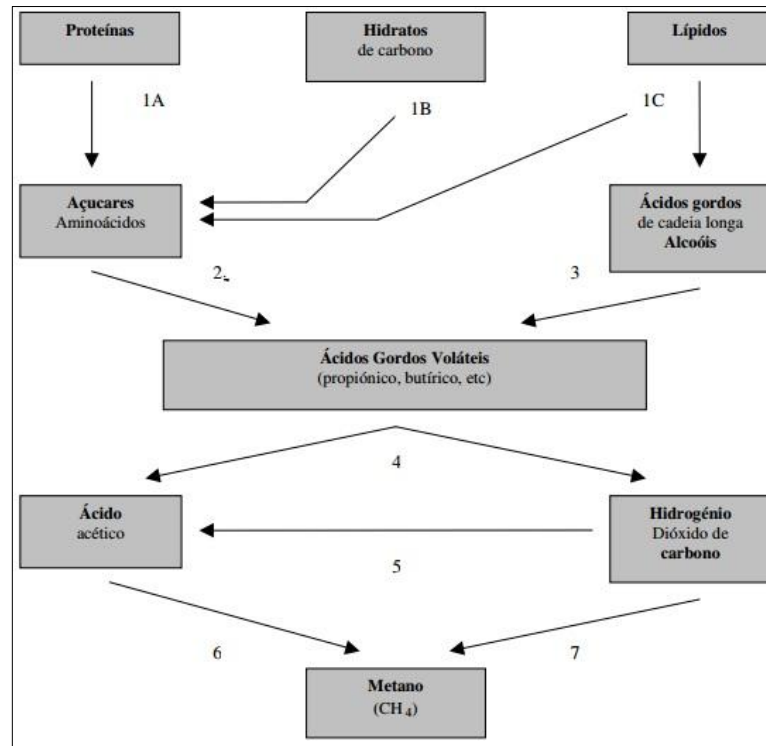


Figura 1 - Processo de digestão anaeróbia da matéria orgânica.
Fonte: Oliveira e Hiragashi (2006).

3.3 MICROCONTROLADORES

Os microcontroladores surgiram na década de 70, e estão presentes em grande parte dos equipamentos eletrônicos utilizados com as mais diversas utilidades (MARTINS, 2005).

De acordo com Tooly (2007), um microcontrolador pode ser entendido como um computador com apenas um chip com o objetivo de controlar, monitorar algum equipamento, motor, sensor entre outros ou mesmo enviar informações destes para um computador.

Esses dispositivos podem ser definidos como circuito integrado programável com estrutura de microcomputador, entretanto com arquitetura RISC (*Reduced Instruction Set Computing*), ou seja, um conjunto de instrução para computação reduzida. Dentre outras vantagens uma das principais está ligada ao reduzido consumo de energia (HOEPERS, 2012). Também Silveira (2013) descreve microcontrolador como um sistema mínimo que inclui uma CPU, memória e circuitos de entrada e saída, tudo montado num único circuito integrado, que pode ter de 8 a até mais de 100 pinos.

Quando comparados microprocessadores e microcontroladores tem-se que o segundo é mais limitado, com estrutura e funcionamento mais simples, com menor frequência de clock e espaço na memória endereçada (MOREIRA; PORTELA; SILVA, 2013).

O uso de microcontroladores tem crescido rapidamente, este apresenta inúmeros benefícios bem como o baixo custo, linguagem facilitada e simplicidade no funcionamento o que torna possível a sua utilização mesmo para usuários menos experientes que os utilizam para desenvolver novos projetos com ferramentas mais simples.

Segundo Denardin (2008), a composição de um microcontrolador é bastante semelhante a um computador comum. As partes integrantes são:

- Unidade Central de Processamento (CPU)
- Sistema de Clock que tem a função de sequenciar as atividades da CPU.
- Memória, utilizada para armazenar instruções e manipular dados.
- Entradas e Saídas
- Programa (Firmware) que define o objetivo ao sistema.

3.4 PLATAFORMA ARDUÍNO

Arduíno, como é chamado no Brasil, foi desenvolvido no Instituto de Interatividade e Design que é uma escola de Artes visuais na cidade de Ivrea na Itália, a partir de uma ideia dos professores de Computação Física, David Cuartielles e Massimo Banzi (SILVEIRA, 2013). O principal objetivo era ser uma plataforma de prototipagem eletrônica com um custo razoavelmente baixo em relação as demais plataformas existentes até o momento e com manuseio simples, onde qualquer pessoa, mesmo sem nenhum conhecimento prévio em eletrônica ou programação avançada pudesse vir a desenvolver projetos e ambientes interativos (PINTO, 2011).

O microcontrolador Arduíno é composto basicamente por um hardware, que é a parte física deste, onde estão dispostas entradas e saídas e um software que é um ambiente de desenvolvimento por meio do qual a programação do sistema é feita para o funcionamento de um determinado projeto, fazendo uso da linguagem do arduino.

A plataforma Arduíno possui diversas utilidades e os projetos criados utilizando este microcontrolador, permitem com o uso do software e hardware que compõem o sistema,

acessar o mundo físico, servindo como ferramenta nos mais diferentes campos como exemplo o monitoramento ambiental, controle de processos entre outros.

Desde a criação do Arduino, até os dias de hoje, o número de usuários cresceu consideravelmente. Segundo o site oficial, mais de 150.000 placas arduino oficiais foram vendidas, não incluso a este valor as demais placas clones criadas tomando como base a placa arduino. A plataforma em questão, tanto o hardware como o software são de fonte aberta, ou seja, qualquer pessoa pode utilizar os códigos, esquemas ou até os projetos seja qual for a finalidade, viabilizando a criação de inúmeras placas clone, contanto que não se utilize o termo “Arduino” para nomear tal clone. (ROBERTS, 2011).

Hoepers (2012), em seu trabalho cita alguns dos modelos de placas Arduino já criados, como pode ser observado nas Figuras 2, 3, 4 e 5:



Figura 2 - Arduino UNO.
Fonte: Arduino (2015).

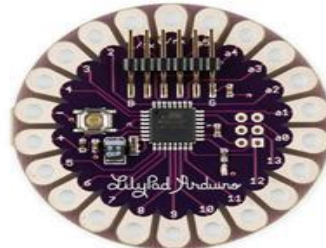


Figura 3- LilyPad Arduino.
Fonte: Arduino (2015).

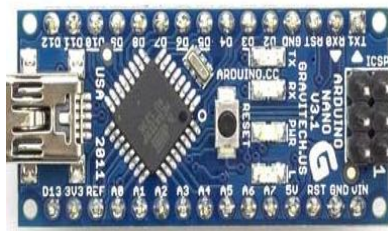


Figura 4 - Arduino Nano.
Fonte: Arduino (2015).



Figura 5 - Arduino Diecimila.
Fonte: Arduino (2015).

3.5 ARDUINO UNO

O Arduino UNO é um microcontrolador baseado em um processador ATmega 328, com 14 de entrada e saída digitais, 6 entradas analógicas, um ressoador cerâmico de 16 MHz, conexão USB, uma tomada de energia, uma cabeceira ICSP (In-Circuit Serial programming) e

um botão de reset, compondo dessa maneira todos os componentes necessários para o suporte do microcontrolador. (ARDUINO, 2015)

O nome “UNO”, que significa um em italiano é desta forma nomeado para marcar a criação do Arduino 1.0, o primeiro desta série e o modelo mais atual dentre as placas dessa plataforma com USB.

O primeiro Arduino foi baseado no circuito básico com um microcontrolador AVR ATmega8 da empresa americana Atmel Corporation no ano de 2005 numa escola de artes interativas e design na Itália (SILVEIRA, 2013).

3.5.1 Alimentação e memória

A alimentação da placa Arduino pode ser feita por meio de uma conexão USB ou utilizando uma fonte externa de alimentação. Para fazer uso de uma fonte externa pode-se utilizar um adaptador com conversor de corrente alternada para corrente contínua ou ainda pode-se ligar a placa a uma bateria.

Para que seja feita a utilização de uma fonte externa de energia é recomendado que seja inserida uma tensão entre 7 e 12 volts. Caso seja fornecida uma tensão entre 6 e 20 volts a placa ainda funcionará, no entanto tensão abaixo de 7 V o pino de 5 V poderá não atingir essa tensão e deixar a placa instável, já no caso de ser ligada a placa a uma tensão superior a 12 V a mesma pode superaquecer e danificar.

A memória da placa é a ATmega 328 com 32 KB sendo que desses 32 KB, 0,5 são utilizados para gerenciar a inicialização da placa.

Os 14 pinos digitais que o Arduino UNO conta pode ser destinado ao uso de entrada ou saída, eles operam com uma tensão de 5 V, sendo capaz de fornecer ou receber 40 mA cada pino, ainda possuem internamente um resistor de 20-50 KOhms.

As partes descritas anteriormente que compõe a alimentação, entradas e saídas, memória e demais pinos digitais e analógicos da placa Arduino UNO que será a placa utilizada para o desenvolvimento do projeto podem ser observadas na Figura 6.

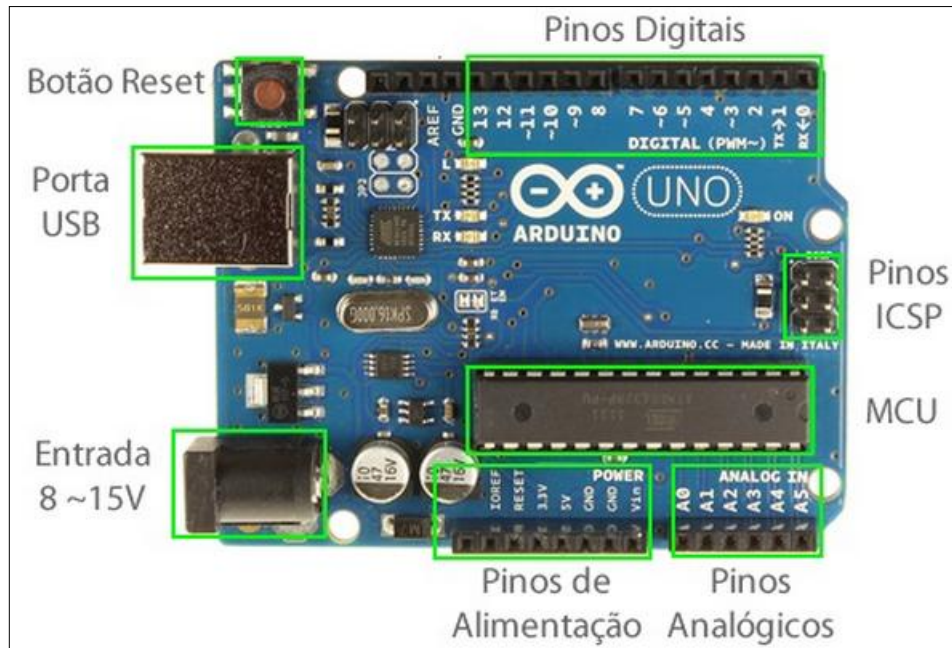


Figura 6 - Mapa de componentes da placa Arduino.
Fonte: Experimentos com o Arduino (2013).

3.5.2 Linguagem do arduino e programação

A comunicação entre a placa Arduino e o computador é feita por meio de uma interface do próprio Arduino no computador. Para o controle da placa é necessário que seja criada a programação do sistema. O programa nada mais é do que um conjunto de instruções que serão realizadas pela placa, no caso do Arduino a linguagem utilizada para escrever o programa é a linguagem C.

Os códigos são desenvolvidos como já falado em uma interface do computador, este local é chamado de IDE (Integrated Development Enviroment) ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado dentro do aplicativo do próprio Arduino, que deve ser instalado previamente no computador.

Na programação do Arduino existem duas funções básicas que são as funções “void setup ()” que é executado toda vez que o Arduino é ligado ou reiniciado e a função “void loop ()” que realiza uma rotina de repetição no microcontrolador, por exemplo a leitura contínua de um sensor. (GIOPPO et al., 2009).

3.6 SENSORES

São dispositivos que convertem uma grandeza física, de qualquer espécie, em outro sinal que possa ser transmitido a um elemento indicador, para que o mesmo apresente o valor da grandeza que está sendo medida ou que seja inteligível para o elemento de comparação de um sistema de controle (FUENTES, 2005).

A transformação e conversão de sinal podem acontecer de forma direta ou indireta. Quando estes operam indiretamente os sensores modificam as propriedades iniciais como a resistência, capacitância ou a indutância quando expostos a determinada grandeza, já quando operam diretamente, os sensores transformam uma determinada forma de energia em outra, são comumente chamados de transdutores (DONATO, 2013).

Atualmente em virtude da versatilidade e baixo custo dos sensores cresceu o seu emprego rapidamente nos mais diversos campos. Entre as aplicações que os sensores possuem Loureiro et al (2003), citam a utilização destes em controle em ambientes industriais, monitorar o tráfego de veículos, pessoas, na medicina para monitorar órgãos ou detectar substâncias perigosas, detecção de vazamentos de gases, controle de temperatura e umidade.

Segundo Fuentes (2013), existem dois tipos de sensores, que são os sensores discretos e analógicos e são assim separados em razão da natureza do sinal de saída. No primeiro tipo de sensor o sinal quantificado indica a existência ou não de um evento assim sendo este sensor deve assumir os valores zero ou um ou uma combinação destes. Já no segundo caso, os sensores analógicos sinal cuja informação pode assumir qualquer valor dentro de uma faixa.

3.6.1 Sensor semicondutor de óxido metálico

Os sensores de gases que utilizam material semicondutor de óxido metálico, como o SnO_2 , ZnO e TiO_2 , detectam gases a partir de alterações em sua condutividade elétrica devido a redução de gases existentes no ar, sendo que a condutividade na presença do gás pode aumentar ou reduzir dependendo do tipo de óxido utilizado no sensor (MOREIRA, 2014).

Estes sensores são adequados para detecção de gases combustíveis em baixos níveis de concentração por causa da sua sensibilidade, estabilidade e robustez, ganhando importância

em diversos campos, tais como o monitoramento ambiental, controle de processos e prevenção de desastres (ILLYASKUTTY, et al., 2015).

As principais vantagens de utilizar esses sensores são o baixo custo de aquisição, facilidade de quantificação do sinal e o tamanho reduzido em comparação com os métodos de detecção alternativos, tais como a cromatografia a gás e a espectrometria no infravermelho (YEA et al., 1999; KOHLER et al., 1999).

O desempenho do sensor pode ser controlado por fatores independentes, dentre eles, a função de receptor e a função do transdutor. A função do receptor diz respeito a capacidade da superfície do óxido de interagir com o gás de interesse, na qual, as propriedades químicas do oxigênio na superfície do óxido são responsáveis por esta interação. A função do transdutor refere-se a capacidade de converter o sinal causado pela interação química da superfície do óxido em sinais elétricos (YAMAZOE, 2005).

3.6.2 Dióxido de estanho

O óxido de estanho tem sido um material muito utilizado por suas várias propriedades químicas e eletrônicas, sendo este um semicondutor do tipo *n*, ou seja, são portadores de carga, com as partículas participando da condução elétrica.

Um semicondutor puro monocristalino perfeito é isolante elétrico no zero absoluto ($T=0\text{K}$), na qual suas propriedades elétricas surgem principalmente pela existência de defeitos na rede cristalina, de impurezas, de desvio de estequiometria e das excitações térmicas. O SnO_2 é um bom isolante elétrico a baixas temperaturas, entorno de 4 K, e condutor para temperaturas acima de 130 K (MACIEL, 2004).

Nos semicondutores há uma região de energia proibida (3,5 eV) entre a banda de valência e a banda de condução (E_{gap}), com isso é necessário uma energia E maior que a energia de E_{gap} para que seja possível ativar um elétron para banda de condução (JUNIOR, 2014).

A forma mais importante de ocorrência natural SnO_2 é a cassiterita, uma fase de SnO_2 com a estrutura de rutilo tetragonal, na qual sua célula unitária é composta por 6 átomos, sendo 2 átomos de estanho e 4 átomos de oxigênio, cada átomo de oxigênio se liga a três átomos de estanho e cada átomo de estanho a seis de oxigênio, arranjos octaédricamente, como pode ser observado na Figura 9 (DAS; JAYARAMAN, 2014).

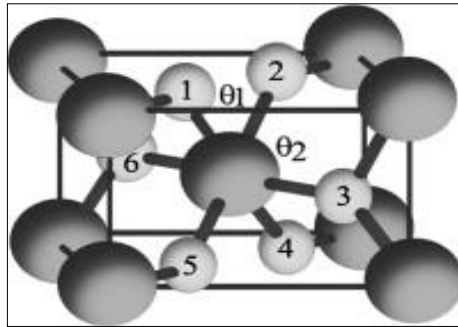


Figura 7 - A célula unitária da estrutura da cassiterite.

Fonte: Das e Jayaraman (2014).

3.6.3 Princípio operacional

Em 1950 Taguchi patenteou e comercializou um dispositivo semicondutor a base de SnO_2 capaz de detectar baixas concentrações de combustíveis e gases redutores utilizando um simples circuito elétrico, com três terminais, os polos negativo, positivo e sinal e uma resistência do tipo NTC (Negative Temperature Coefficient) é alimentada em paralelo a estes terminais gerando o aquecimento do óxido metálico (MOREIRA, 2014).

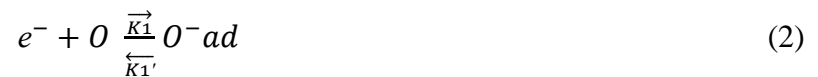
Esses dispositivos são constituídos, tipicamente, de um filme de óxido de metal aplicado sob um material de substrato isolante entre dois eletrodos, sendo o Al_2O_3 muitas vezes o substrato escolhido devido a sua resistência elétrica, estabilidade térmica e a capacidade de diversos óxidos de metal aderir a ele (HÜBERT et al., 2011).

Durante a operação do sensor a película é aquecida, promovendo assim a reação com o gás redutor ou oxidante (por exemplo: H_2 , CO , CH_4 e fumaça), servindo também para remoção da água formada durante a reação. A sensibilidade dos dispositivos é geralmente determinada como a razão entre a condutividade da amostra medida em uma atmosfera contendo gás alvo medido em ar puro (AROUTIOUNIAN, 2007).

De modo geral, em uma camada de óxido de estanho do tipo n a resposta do sensor pode ser descrita pelos seguintes efeitos de superfície:

(i) Os elétrons da banda de condução são arrastados para a superfície por moléculas de oxigênio adsorvidas a partir da fase gasosa formando os estado de superfície O_2^- ou O^- , essas duas espécies carregadas detectadas em superfícies de óxido de uma forma simplificada

podem ser descritas pelos seguintes passos de reação segundo as equações 1 e 2. Este processo está relacionado com uma redução da condutividade eletrônica na superfície resultante próxima a camada de depleção de elétrons (KOHLENER et al., 1999).



Onde K_1 e K_1' são respectivamente as taxas de reações diretas e reversas.

O^{2-} é também uma possível espécie de superfície, mas por causa de seus orbitais atômicos cheios não é paramagnético e assim não é detectada pelo sensor (BATZILL; DIEBOLD, 2005).

(ii) Diferentes espécies de gases podem adsorver na superfície e reagir com os estados de superfícies aniônicos de oxigênio. Este passo da reação está ligada com a oxidação da molécula, a aniquilação do estado de superfície do oxigênio (O_2^- , O^-) o aumento da condutância devido a transferência de elétrons da banda de condutância e a dessorção dos produtos reacionais (KOHLENER, et al., 1999).

O modelo relacionado a operação do sensor pode ser exemplificado na Figura 8, que apresenta grãos individuais de um semicondutor do tipo-n sob contato elétrico.

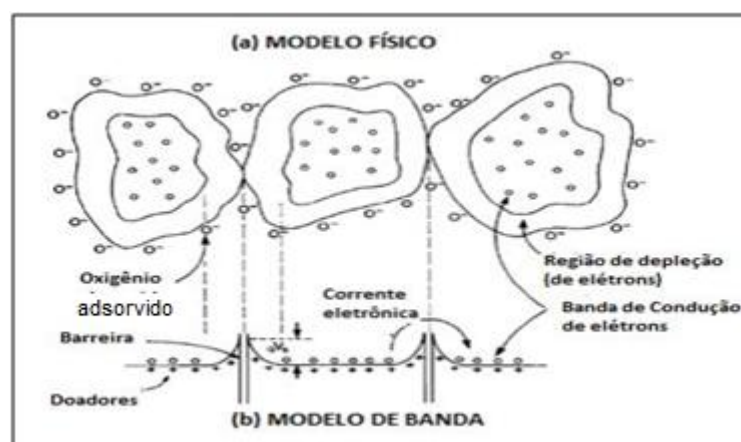


Figura 8 - Modelo de adsorção para semicondutor tipo-n para sensores de gás. (a) Modelo físico de três grãos em contato mostra a região de depleção em contato intergranular. (b) Modelo de banda correspondente a Fig. 8a.

Fonte: Morrison (1987).

Com o modelo de adsorção, Figura 8, representando a reação de decremento da condutividade na ausência de gases contaminantes, segundo as equações 1 e 2.

O aumento da condutividade pela presença de gases contaminantes, que atuam como agentes antioxidantes pode ser observado na Figura 9.

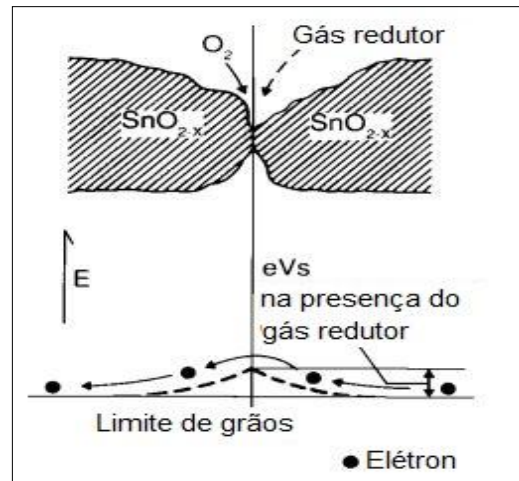


Figura 9 - Modelo de barreira de potencial na presença de gases contaminantes.
Fonte: General Information for TGS Sensors (2005).

A equação que representa a sensibilidade do sensor aos gases de interesse pode ser descrita na sequencia, equação 3:

$$R_s = A[C]^{-\varepsilon} \quad (3)$$

Sendo, R_s a resistência do sensor, A uma constante, $[C]$ a concentração de um dado gás e ε o coeficiente de ajuste da curva.

3.6.4 Sensor de hidrogênio

Basicamente as reações de superfície envolvem dois passos, como já citado anteriormente, na qual primeiramente o oxigênio adsorvido na superfície do oxido metálico, Equação 4.



Na sequência o hidrogênio reage com o oxigênio adsorvido, esta reação pode ser expressa na Equação 5.

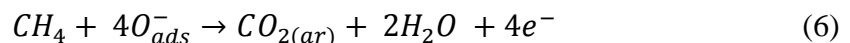


Os elétrons são doados para a banda de condução, e com isso a resistência desse tipo de óxido decresce na presença do hidrogênio, portanto a magnitude da resistência muda, sendo esta mudança relacionada com a concentração de hidrogênio (HÜBERT, et al., 2011).

O sensor MQ-8 apresenta alta sensibilidade para hidrogênio e pequena sensibilidade ao álcool e GLP. O sensor é composto por tubo de cerâmica de Al_2O_3 , camada de óxido de estanho (SnO_2), o eletrodo de medição e aquecedor são fixados em uma camada feita por uma rede de plástico e aço inoxidável (HANWEI ELECTRONICS, 2015).

3.6.5 Sensor de metano

Quando a superfície do óxido é exposta a molécula de metano (gás redutor), este reage com o oxigênio adsorvido quimicamente nos limites dos grãos. Como resultado, portadores de carga negativa são adicionados à massa, segundo a Equação 6.

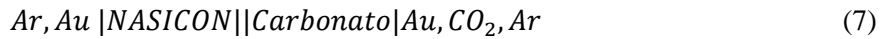


O sensor MQ-4 possui alta sensibilidade ao metano e ao gás natural, com pouca sensibilidade ao álcool e fumo. O sensor é composto por tubo de cerâmica de Al_2O_3 , camada de óxido de estanho (SnO_2), o eletrodo de medição e aquecedor são fixados em uma camada feita por uma rede de plástico e aço inoxidável (HANWEI ELECTRONICS, 2015).

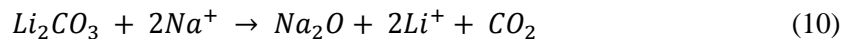
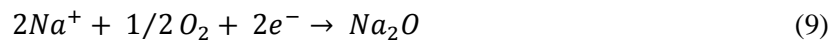
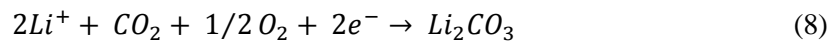
3.6.6 Sensor de dióxido de carbono MG811

A célula eletroquímica do sensor de dióxido de carbono tem sua estrutura formada por um eletrodo de detecção (AU) em contato tanto com o NASICON ($Na_{1+x}Zr_2Si_xP_{3-x}O_{12}$) e

carbonato poroso, gerando a seguinte interface de detecção de gás, equação (7) (YAMAZOE et al., 1996):



O dióxido de carbono se difunde facilmente para a camada porosa, ocasionando uma rápida adsorção ou dessorção do CO_2 sobre o local reativo, no qual é gerada uma diferença de potencial proporcional a concentração de CO_2 , equações (8), (9) e (10) (MORIO et al., 2009):



Como o sensor possui um filamento de aquecimento para elevar sua temperatura, depois de entrar em equilíbrio térmico, o sensor se aproxima a uma célula ideal, onde seus terminais produzem uma diferença de potencial (mV) proporcional à concentração de CO_2 (RUSSEL, 1994).

3.6.7 Sensor de temperatura LM35

De acordo com a Texas Instruments (2015), o sensor de temperatura LM 35 assim como os demais sensores desta série, é composto por um circuito integrado onde uma tensão de saída cresce proporcionalmente à temperatura lida. Este sensor já efetua e emite a leitura de temperatura em graus Celsius, não é necessário para a utilização deste equipamento que seja realizada nenhuma calibração externa para obter uma precisão nas respostas de $\pm 0,25^\circ C$.

Este dispositivo é alimentado com uma corrente de 60 mA, ligado a uma tensão de 5 V. O equipamento possui um baixo aquecimento não interferindo desta forma nas condições do ambiente que está inserido. O sensor LM35 possui uma faixa de leitura de -55 a $150^\circ C$. A série de sensores de temperatura LM35 possui ainda outros modelos com maiores precisões, no entanto o LM35 apresenta boas respostas e um baixo custo sendo uma boa opção para utilização em projetos como este (TEXAS INSTRUMENTS, 2015).

3.6.8 Sensor de pressão e temperatura GY65

O sensor GY-65 é um sensor de pressão digital, com baixo consumo de energia e eletrônica de baixa tensão. Sua tecnologia é baseada em um sistema piezo-resistivo, um conversor analógico para digital, uma unidade de controle do tipo E²PROM e uma interface serial I²C. O I²C permite um sistema de fácil integração com um microcontrolador (BOSH, 2008).

O módulo funciona a uma tensão de 1,8 à 3,6 volts, possui uma memória (E²PROM) de 176 bit, sendo que destes de 16 a 19 bits são para dados de pressão (UP) e 16 bits de dados de temperatura (UT). Depois de um tempo de conversão, o valor do resultado (UP ou UT, respectivamente) pode ser lido através da interface I²C (BOSH, 2008).

O microcontrolador envia uma sequência de partida para iniciar uma medição de pressão ou temperatura. A faixa de leitura para pressão é de 300 – 1100 hPa, e a temperatura de operação é de -40 à +85 (Arduino e Cia, 2015).

3.7 FATORES QUE INFLUENCIAM O DESEMPENHO DO SENSOR

A temperatura afeta a sensibilidade do sensor, de modo que a matriz do sensor opera a elevadas temperaturas a fim de aumentar a reatividade das superfícies dos semicondutores e com isso a concentração de locais vazios de oxigênio na matriz fica em equilíbrio termodinâmico com a pressão do oxigênio externa.

Os processos físico-químicos podem conduzir para a modificação de diversos parâmetros do dispositivo de detecção como, a exemplo, a cobertura do sensor por produtos de decomposição, como o CO₂, H₂O, o que ocasiona a perda gradual da sensibilidade à temperatura de operação. Uma mudança periódica do sensor de temperatura remove todas as espécies adsorvidas e contaminantes orgânicos não queimados na superfície. A oxidação de hidrocarbonetos geralmente decorre através de intermediários parcialmente oxidados (AROUTIOUNIAN, 2007).

Se a temperatura do sensor é variada relativamente rápida em comparação com o tempo de resposta química, a condutância do sensor varia no que diz respeito à temperatura, com uma lei exponencial característica de óxidos metálicos semicondutores. Como resultado,

o perfil de resposta de condutância teria apenas uma dependência trivial sobre o ambiente químico. Quando a temperatura de operação varia de forma suficientemente lenta em comparação com o tempo de resposta química, o sensor fornece uma série de respostas químicas de estado quase-estacionário, o que conduz a padrões de resposta condutância transientes (ILLYASKUTTY, 2015).

Para se determinar o tempo de resposta do sensor a temperatura em que o sensor possui maior sensibilidade é fixada, e realiza-se a medida com um gás de interesse em intervalos de tempo pré definidos, geralmente 30 segundos, medindo a resistência do material. Deste modo, o tempo de resposta representa a variação de 85% na resistência do material em uma atmosfera do gás de interesse (MACIEL, 2004).

4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Nesta etapa do projeto, são apresentados os materiais necessários para o desenvolvimento dos experimentos, as fases e procedimentos da montagem dos equipamentos e programação dos aparatos de modo a atingir os objetivos propostos neste trabalho.

4.1 MONTAGEM DA PLATAFORMA ARDUINO E INSTALAÇÃO DO SOFTWARE DE COMUNICAÇÃO

A determinação das tarefas que a placa Arduino foi programada no software da própria plataforma Arduino, sendo este mesmo software compatível com qualquer outro modelo de placa arduino ou seus clones. Este software se encontra gratuitamente disponível no site da oficial do Arduino¹. Posteriormente este programa foi instalado no computador seguindo os passos e recomendações do fabricante.

A interface do software utilizado para a programação da placa é bastante simples como pode ser observado na Figura 10.

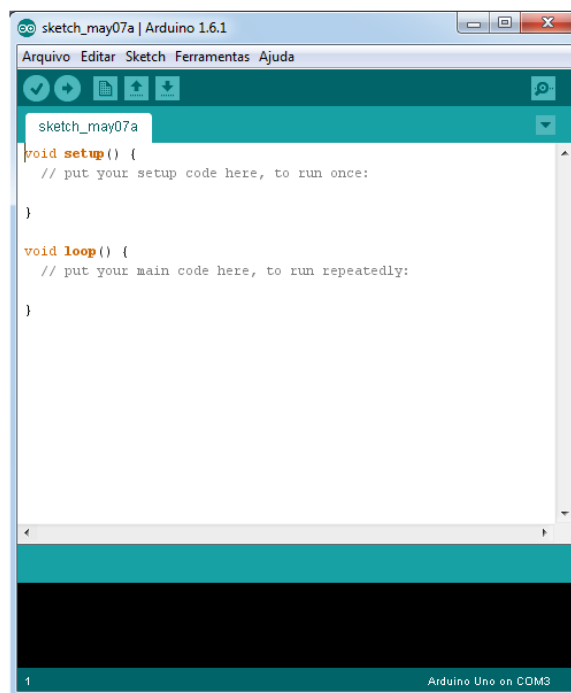


Figura 10 - Interface do software Arduino.

Na parte superior se localizam as opções Arquivo, Editar, Sketch, Ferramentas e Ajuda onde é possível entre outras funções salvar, abrir, carregar, imprimir, verificar, corrigir, saber a respeito do Arduino ou obter ajuda. Logo abaixo se localizam as setas para Verificar, Carregar, abrir novo ambiente e salvar um projeto respectivamente. O espaço abaixo das setas é utilizado para escrever o programa a ser carregado na placa Arduino e por meio da seta localizada no canto superior direito sinalizada por uma lupa é possível monitorar as respostas provenientes da placa arduino.

Diferente de outras placas antigamente utilizadas, a placa já vem com os seus componentes e circuitos soldados na mesma, prontos para serem ligados a um computador ou outra fonte de energia.

Neste trabalho, tanto a alimentação quanto a comunicação para transferência de informações entre a placa Arduino Uno e o software instalado no computador é realizado por meio de um cabo USB conectado ao computador.

4.2 SISTEMA DE DETECÇÃO DE GASES

Foram montados dois sistemas para detecção dos gases, sendo que o primeiro sistema proposto pode ser observado na Figura 11. Este foi montado a partir de uma câmara de vidro, com volume interno de, aproximadamente, 746 cm^3 , vedada com silicone e adesivo instantâneo a base de resina epóxi. Na câmara foram colocadas duas válvulas solenoides, sendo a primeira para conexão com o ar sintético e a segunda para a injeção do gás a ser analisado.



Figura 11 - Câmara de vidro.

O segundo sistema para a leitura de gases foi utilizado, elaborado com os seguintes materiais:

- Kitassato, com volume interno de 1,050 L;
- Válvula de esfera;
- Braçadeira de 1/2";
- Adesivo instantâneo a base de resina epóxi;

O sistema de análise de gases pode ser visto na Figura 12.



Figura 12 - Câmara de análise dos gases.

Os sensores de gás MQ-4 (CH_4), MQ-8 (H_2) e MG-811 (CO_2), o sensor GY-65 (temperatura e pressão) e o sensor de temperatura (LM35) foram dispostos no interior da câmara e ligados por meio de uma protoboard ao sistema Arduino.

4.3 MONTAGEM DOS SENSORES E INSTALAÇÃO

Os componentes eletrônicos (sensores) foram adquiridos já com seus pinos de conexão adaptados em um módulo para facilitar as ligações com a protoboard, conseqüentemente com o Arduíno.

A etapa de instalação dos sensores seguiu as configurações descritas no *datasheet* de cada sensor. Os terminais do módulo dos sensores foram ligados à protoboard para suprir a demanda de energia dos hardwares, é necessário uma tensão de 5 Volts, além de um fio para a comunicação com a plataforma Arduino nos pinos analógicos e uma conexão neutra no pino GND.

A tensão fornecida para ligar os sensores MQ4, MQ8, MG811 e LM35 foi fornecida através de uma tomada 127 V onde foi conectado um adaptador com redutor de tensão para 12 V, esta tensão foi ligada na protoboard diretamente a um redutor de tensão que por sua vez reduz a tensão intermediária de 12 V para 5 V que é a necessária para ligar os sensores. A placa Arduino teve sua alimentação diretamente pela conexão do cabo USB no computador. Este sistema foi ligado desta forma, com duas fontes de energia, para evitar a sobrecarga da placa Arduino.

Os sensores MQ4, MQ8, MG811, GY65 e LM35 foram dispostos na câmara. As ligações desses hardwares foram realizadas de acordo com as especificações técnicas de cada um.

O sensor GY65 diferente dos demais sensores foi ligado a uma tensão de 3,3 V, diretamente na placa Arduino.

Todos os sensores da câmara tiveram seus pinos de comunicação ligados aos pinos digitais da placa Arduino, os circuitos auxiliares utilizados para montagem do sistema foram fios do tipo macho e fêmea. Na figura 13 observa-se o esquema de conexão dos componentes eletrônicos utilizados neste trabalho.

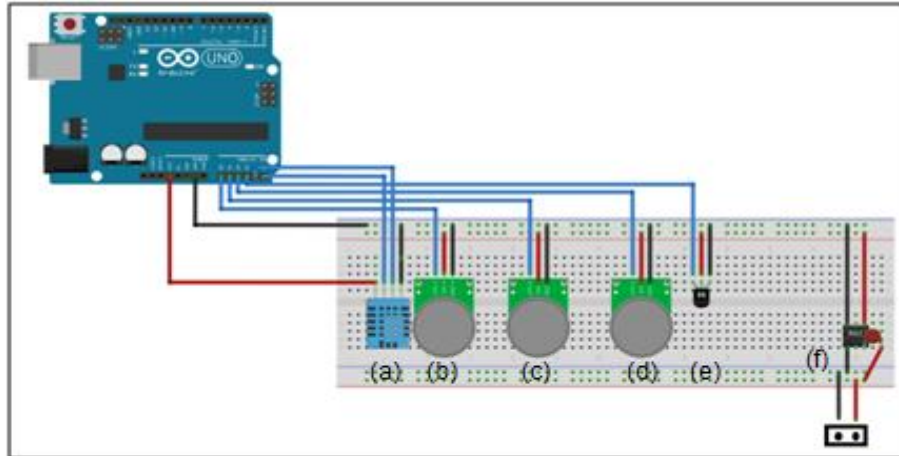


Figura 13 - Esquema de ligação dos sensores à placa Arduino, sendo (a) GY-65, (b) MQ-8, (c) MQ-4, (d) MG-811, (e) LM-35 e (f) Redutor de tensão.

4.4 CALIBRAÇÃO DOS SENSORES DE GÁS E CÁLCULO PARA OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DE LEITURA

Para o procedimento de verificação dos sensores foram utilizados os seguintes gases de interesse, Hidrogênio (H_2) e ar sintético para detecção dos respectivos gases, hidrogênio e dióxido de carbono.

Para o cálculo da resistência do sensor de óxido de estanho sob exposição à diferentes concentração dos gases (R_L) a equação genérica 11 foi utilizada:

$$R_S = (R_L * [V_C - V_{RL}])/V_{RL} \quad (11)$$

Sendo R_L dado pelo *datasheet* do sensor, a V_{RL} é a voltagem de resposta do leitor do sensor e V_C é a voltagem da alimentação.

A V_{RL} é obtida por meio da equação 12, sendo $AngR$ a leitura do pino analógico na qual o sensor esta conectado:

$$V_{RL} = 5 * (AngR)/1024 \quad (12)$$

A leitura do sensor de CO_2 (MG-811) é realizada a partir da voltagem fornecida pelo sensor (V_{CO_2}), segundo a equação (13):

$$V_{CO_2} = VS_{CO_2} * (5/1024) * 100 \quad (13)$$

Sendo VS_{CO_2} , o valor do sensor de CO_2 obtido da leitura da porta analógica, 100 é o fator de conversão de unidades.

A equação característica da sensibilidade do sensor foi obtida do gráfico de sensibilidade do equipamento fornecido pelo *datasheet* do sensor, o modelo deste gráfico pode ser observado nas figuras que seguem (Fig. 14, 15 e 16).

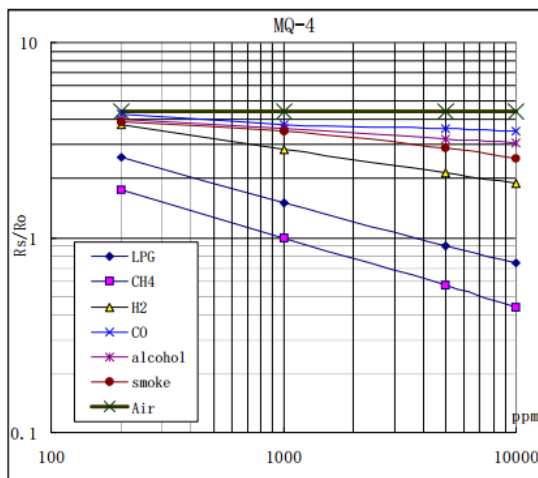


Figura 14 - Curva de sensibilidade aos gases do sensor MQ-4.
Fonte: Hanwei Electronics MQ-4 (2015).

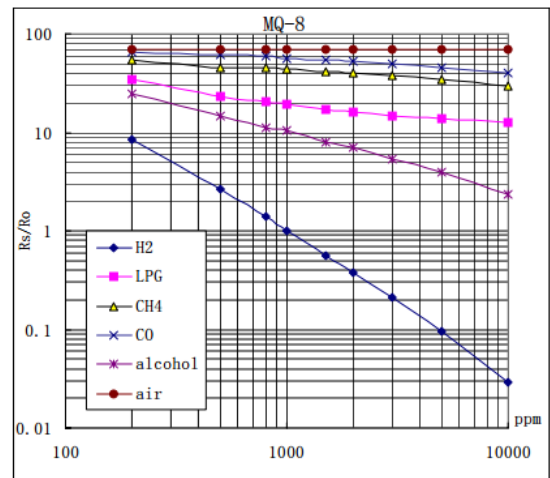


Figura 15 - Curva de sensibilidade aos gases do sensor MQ-8.
Fonte: Hanwei Electronics MQ-8 (2015).

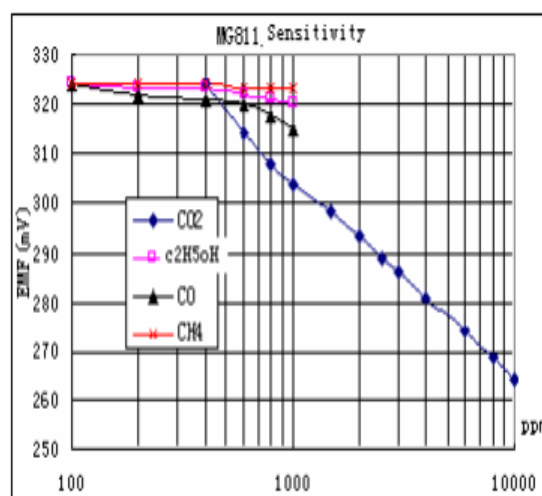


Figura 16 - Curva de sensibilidade do sensor MG-811.
Fonte: Hanwei Electronics, MG-811 (2015).

As leituras dos gráficos foram efetuadas com o auxílio de um escalímetro, seguindo a Equação 14.

$$x = Li \cdot 10^{\frac{a}{b}} \quad (14)$$

Na qual x é o valor correspondente a concentração em ppm ou a resposta em relação a corrente, Li é o valor da leitura no ponto inicial do intervalo de interesse, a é a medida do ponto inicial da leitura ao ponto x e b é a medida da distância do intervalo de leitura, como pode ser observado no exemplo da Figura 17.

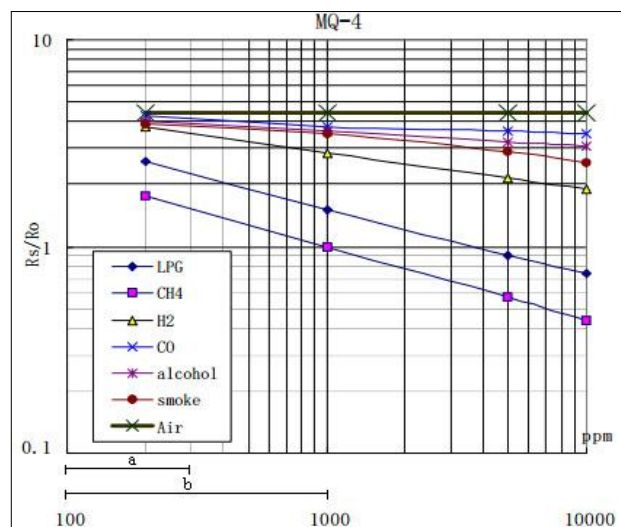


Figura 17 - Exemplo de leitura do gráfico.

Fonte: Adaptado de Hanwei Electronics MQ-4 (2015).

O sistema foi conectado à energia por, aproximadamente, 24 horas para estabilização dos sensores e aquecimento das resistências, e então os gases foram adicionados para verificar o funcionamento dos sensores e obter os parâmetros dos sensores que necessitam ser calibrados.

Para a obtenção dos parâmetros R_0 do sensor MQ8 foram injetados, no sistema, diferentes concentrações de hidrogênio de modo a obter a leitura do sensor e por ela obter os valores de R_S e R_0 . Primeiramente foi injetado no sistema uma quantidade de ar sintético (pressão inicial) e, posteriormente, foi injetado uma pressão de hidrogênio. Este procedimento foi realizado em cinco repetições. Com isso foi possível encontrar o número de mols de hidrogênio e número de mols total da mistura e a fração molar, conseqüentemente a concentração em (partes por milhão) do hidrogênio.

A equação 15 utilizada para obtenção do número de mols foi:

$$P * V = n * R * T \quad (15)$$

Onde P é a pressão do sistema, V é o volume do Kitassato (0,00105 m³), n é o número de mols, R é a constante dos gases (8,314 m³.Pa.mol⁻¹.k⁻¹) e T é a temperatura do sistema (K).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. DETERMINAÇÃO DAS CURVAS DE R_s/R_0 EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DOS GASES

Para os gases em estudo, foram obtidas as equações da razão de R_s/R_0 em função da concentração da espécie para o H_2 e CH_4 . Para o CO_2 o sensor fornecia diretamente a conversão da voltagem lida pelo pino analógico, podendo obter-se o valor da concentração do gás.

Na Figura 18 tem-se a curva obtida de calibração do sensor MQ8 gerada pela análise do *datasheet* do gás hidrogênio, na temperatura de 20°C e 65% de umidade relativa.

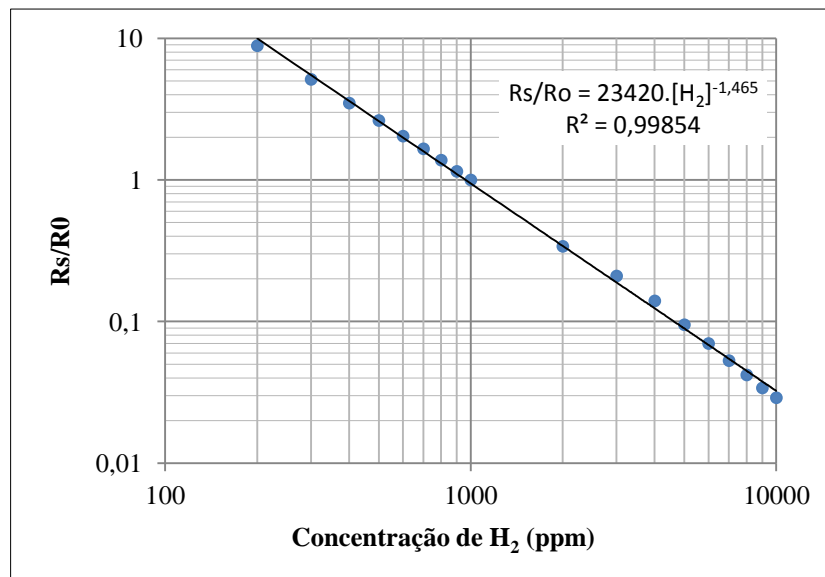


Figura 18 – Razão R_s/R_0 em função da concentração de hidrogênio.

Por meio dos dados obtidos, obteve-se a equação pela qual é realizada a leitura da resposta dada pelo sensor no momento do funcionamento, dada em sinais de tensão e transformados para os parâmetros R_0 e R_s a partir dos quais são calculadas as concentrações do gás analisado.

A curva da sensibilidade do sensor MQ-4 para o gás metano, obtida pelo mesmo método de análise do gráfico do *datasheet* está apresentada na Figura 19, sob a condição de

temperatura de 20°C e 65% de umidade relativa. Neste caso a equação obtida no gráfico também é utilizada para transformação, do sinal obtido pelo sensor, para uma resposta em concentração do gás em estudo.

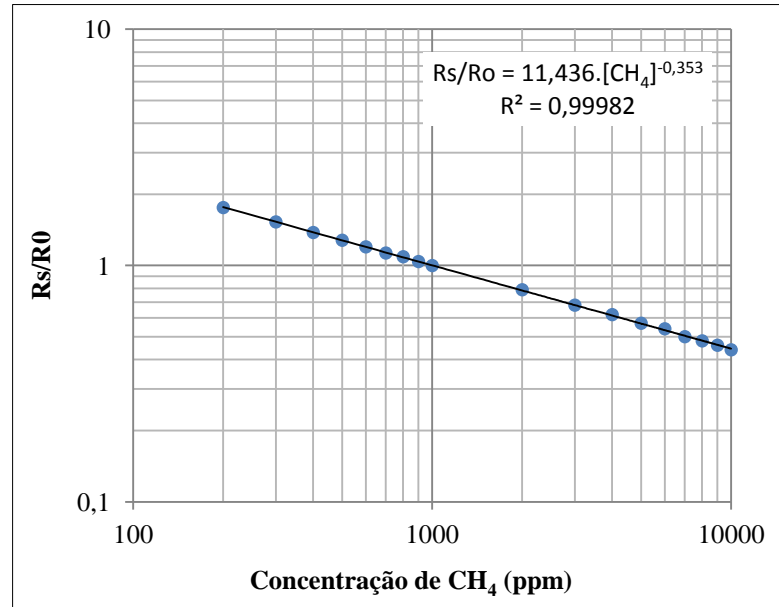


Figura 19 – Razão Rs/Ro em função da concentração de metano.

A curva da sensibilidade do sensor MG-811 para dióxido de carbono está apresentada na Figura 20, sob a condição de temperatura de 20°C e 65% de umidade relativa. A resposta apresentada por este sensor durante a leitura é dada em mV, a partir deste dado é possível realizar a leitura direta da concentração de CO₂ no gráfico por meio da equação gerada na curva de sensibilidade do sensor. Esta curva foi obtida a partir do gráfico disposto no *datasheet* do equipamento, sendo a leitura no eixo das ordenadas, linear.

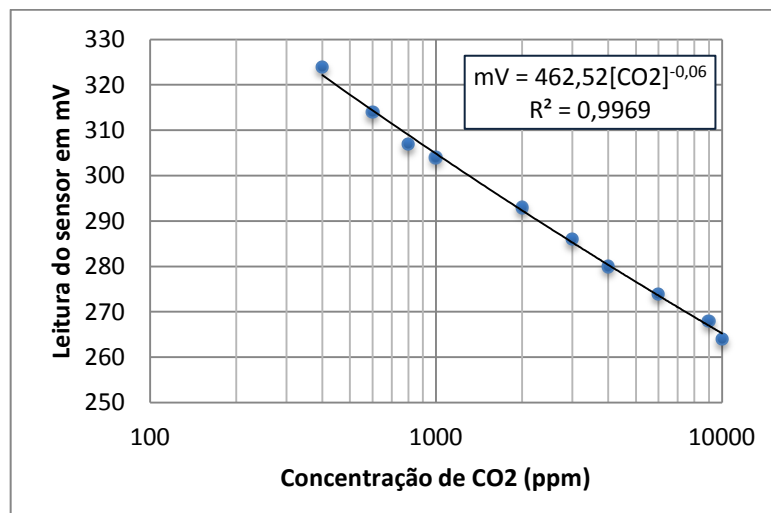


Figura 20 – Leitura da concentração de dióxido de metano em função da leitura em mV.

Nos testes realizados com o sensor MQ8, as diferentes pressões de ar sintético e hidrogênio foram utilizadas para calcular o parâmetro R_s e com este obter o R_0 para este sensor. No Quadro 1 pode-se observar os valores das pressões de ar sintético e hidrogênio.

Pressão de Ar sintético (ppm)	154.490	160.472	145.676	136.044	126.837
Pressão de Hidrogênio (ppm)	157.525	167.358	163.255	167.469	134.581
Temperatura (°C)	26,2	28,7	31,5	38,6	36,4
Peso Molar (H_2) (g)	2	2	2	2	2
Peso Molar (Ar) (g)	28	28	28	28	28
mols de hidrogênio (nH_2)	0,00128	0,00288	0,00729	0,01273	0,00316
mols de ar (nAr)	0,06518	0,06714	0,06039	0,05511	0,05175
$nH/(nH_2 + nAr)$	0,01927	0,04115	0,10768	0,18765	0,05754
Concentração de H_2 (ppm)	19.266,8	41.145,3	107.678,2	187.646,7	57.541,6
Leitura do sensor (mV)	450	702	634	559	631
R_s	12,73	4,57	6,14	8,30	6,21
R_0	1029,4	1123,5	6170,8	18834,9	2494,8

Quadro 1- Dados para obtenção dos valores de R_s e R_0 do sensor MQ-8 (H_2).

A partir dos dados de pressão de ar sintético e pressão de hidrogênio foi calculado pela equação 16, o número de mols de hidrogênio injetado e o número de mols total do sistema, sendo obtida a concentração de hidrogênio no recipiente. Com este valor da concentração e a resposta dada pelo sensor em mV foi possível calcular com a equação 13 o valor de R_s , posteriormente com a equação da curva de calibração do sensor MQ8 obteve-se o valor de R_0 .

A temperatura e a pressão do sistema foram aferidas por meio do sensor GY-65 no momento da amostragem.

Foi possível observar nos valores de R_0 uma grande variação, não sendo estes dados satisfatórios para a aplicação nos cálculos de concentração das leituras do sensor. Alguns fatores podem ter ocasionado esta dispersão dos valores, bem como a precisão da amostragem do hidrogênio, a sensibilidade do sensor ou mesmo a instabilidade deste.

Os períodos de leitura nos testes com o gás hidrogênio com o sensor MQ8 foram curtos devido a alta difusão deste gás e a possibilidade de haver vazamento no sistema de análise.

A medida de dióxido de carbono foi aferida com o sensor MG811 e o gás utilizado para esta medida foi ar sintético. O tempo de medição foi 60 segundos e a resposta dada pelo

sensor em mV foi diretamente convertida em concentração de CO₂ pela equação obtida no *datasheet* deste equipamento. Na Figura 21 pode-se observar a concentração de CO₂ no período de 60 segundos.

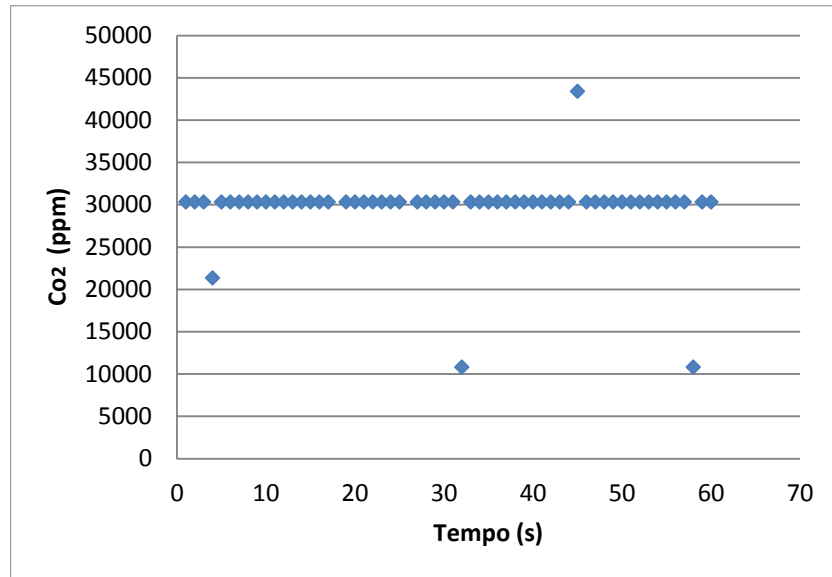


Figura 21- Gráfico de leitura de CO₂.

No período observado não houve grandes variações nas leituras do dióxido de carbono, os valores das concentrações acima do valor apresentado pela curva de calibração não sendo aplicáveis, visto que o valor médio de CO₂ no ar é entorno de 3.000 ppm. A temperatura no período de leitura foi aferido pelo sensor GY-65.

6 CONCLUSÃO

Os estudos realizados tiveram como objetivo a construção de um sistema de análise de gases provenientes de um reator anaeróbico, por meio de sensores de CH₄, H₂ e CO₂ ligados a uma placa Arduino Uno para detectar a presença e a concentração destes, permitindo a análise de mistura destes gases com um custo inferior ao de equipamentos clássicos como um cromatógrafo a gás.

As curvas obtidas pelos *datasheets* dos sensores geraram equações de sensibilidade dos sensores aos gases com um bom ajuste sendo utilizadas para a determinação das concentrações.

As análises do sensor de hidrogênio a diferentes concentrações tiveram como resultados parâmetros para os cálculos de concentração, sendo que os dados não foram satisfatórios verificando-se uma grande variação destes em relação ao parâmetro R0.

As leituras do sensor de dióxido de carbono apresentaram pequenas variações, e as concentrações obtidas encontram-se fora da curva de calibração gerada a partir do *datasheet*.

Com relação ao sensor de detecção de metano MQ4, não foram realizados testes de leitura devido a falta de gás padrão de CH₄ para a aferição desse equipamento.

Para a aplicação deste método para a análise dos gases é necessário que os sensores apresentem uma medida estável, com precisão e exatidão ao longo do tempo para maior confiabilidade nos resultados. Neste sentido a utilização de uma câmara com fluxo contínuo de amostra de gás bem como a utilização de mais sensores para a verificação de erros pela limitação dos equipamentos são medidas que podem auxiliar na obtenção de bons resultados.

REFERÊNCIA

ARDUINO. **Arduíno Uno**. Disponível em: <<http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno> >. Acesso em 12 de abril de 2015.

AROUTIOUNIAN, Vladimir. Metal oxide hydrogen, oxygen, and carbon monoxide sensors for hydrogen setups and cells. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 32, n. 9, p. 1145-1158, 2007.

Arduino e cia. **Sensor GY-65**. Disponível em: <<http://www.arduinoocia.com.br/2013/06/sensor-de-temperatura-e-pessao-bmp085.html>>. Acesso em 23 de maio de 2015.

BATZILL, Matthias; DIEBOLD, Ulrike. The surface and materials science of tin oxide. **Progress in surface science**, v. 79, n. 2, p. 47-154, 2005.

BOSH., **Datasheet BMP085 Digital pressure sensor**. Disponível em: <http://www.adafruit.com/datasheets/BMP085_DataSheet_Rev.1.0_01July2008.pdf>. Acesso em 23 de maio de 2015.

DAS, Debabrata; VEZIROĞLU, T. Nejat. Hydrogen production by biological processes: a survey of literature. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 26, n. 1, p. 13-28, 2001.

DAS, Soumen; JAYARAMAN, V. SnO 2: A comprehensive review on structures and gas sensors. **Progress in Materials Science**, v. 66, p. 112-255, 2014.

DENARDIN, Gustavo Weber. **Microcontroladores**. Apostila. Disponível em: <http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/eduardo_henrique/materiais/apostila_micro_do_Gustavo_Weber.pdf > . Acesso em 05 de abril de 2015.

DONATO, Claudinei de Jesus. **SENSORES: Interpretando o Ambiente**: Cascavel, 2013. 25 slides, color.

FUENTES, Rodrigo Cardozo. **Apostila de Automação Industrial**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2005. 31 p.

GENERAL INFORMATION FOR TGS SENSOR. Figaro an ISO9001/14001 Company – Revised 6/2003, 12p. 2003.

GIOPPO, Lucas Longen; HIGASKINO, Marcelo Massao Kataoka; COSTA, Ricardo Fantin da. **ROBÔ SEGUIDOR DE LINHA**. 2009. 36 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia da Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

HANWEI ELECTRONICS .**Technical Data MG-811 gas sensor**. Disponível em https://www.futurlec.com/CO2_Sensor.shtml. Acesso em 20 de abril de 2015.

HANWEI ELECTRONICS .**Technical Data MQ-4 gas sensor**. Disponível em <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-4.pdf>>. Acesso em 20 de abril de 2015.

HANWEI ELECTRONICS .**Technical Data MQ-8 gas sensor**. Disponível em <<http://www.cooking-hacks.com/skin/frontend/default/cooking/pdf/MQ-8.pdf>>. Acesso em: 20 de abril de 2015.

HASYIM, Rafiani et al. Extreme-thermophilic biohydrogen production by an anaerobic heat treated digested sewage sludge culture. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 36, n. 14, p. 8727-8734, 2011.

HOEPERS, Rodrigo. **Veículo Autônomo Usando Arduino**. 2012. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência da Computação, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2012.

HÜBERT, Thomas et al. Hydrogen sensors—a review. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 157, n. 2, p. 329-352, 2011.

ILLYASKUTTY, Navas et al. Thermally modulated multi sensor arrays of SnO₂/additive/electrode combinations for enhanced gas identification. **Sensors and Actuators B: Chemical**, 2015

JUNIOR, Emilson Ribeiro Viana. **Propriedades Elétricas e Fotoelétricas de Nanofitas de SnO₂**. 2014.

KAPDAN, Ilgi Karapinar; KARGI, Fikret. Bio-hydrogen production from waste materials. **Enzyme and microbial technology**, v. 38, n. 5, p. 569-582, 2006.

KOHLER, Heinz et al. New applications of tin oxide gas sensors: I. Molecular identification by cyclic variation of the working temperature and numerical analysis of the signals. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 61, n. 1, p. 163-169, 1999

LATA, D. B. et al. Effect of light on generation of hydrogen by *Halobacterium halobium* NCIM 2852. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 32, n. 15, p. 3293-3300, 2007.

LOGAN, Bruce E. et al. Biological hydrogen production measured in batch anaerobic respirometers. **Environmental science & technology**, v. 36, n. 11, p. 2530-2535, 2002.

LOUREIRO, Antonio A.f.; NOGUEIRA, Jose Marcos S.; RUIZ, Linnyer Beatrys. **Redes de Sensores Sem Fio**. In: XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES, 11., 2003, Natal. Artigo. Natal, 2003. p. 179 - 225.

MACIEL, Adeilton Pereira. **Dióxido de estanho nanoestruturado dopado com terras raras como catalisador e sensor de gases**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR). Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia.

MARTINS, Nardênio Almeida. **Sistemas Microcontrolados**. São Paulo: Novatec, 2005. 263 p.

MEHER KOTAY, Shireen; DAS, Debabrata. Biohydrogen as a renewable energy resource-prospects and potentials. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 33, n. 1, p. 258-263, 2008.

MIKE, Tooley. **Circuitos Eletrônicos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

MOREIRA, Raphael Garcia. Sensoriamento de misturas de H₂, CH₄ e CO por meio de uma matriz de quimioresistores. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MORIO, Masataka et al. Effect of macrostructural control of an auxiliary layer on the CO₂ sensing properties of NASICON-based gas sensors. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 139, n. 2, p. 563-569, 2009.

MORRISON, S. Roy. Selectivity in semiconductor gas sensors. **Sensors and actuators**, v. 12, n. 4, p. 425-440, 1987.

NI, Meng et al. An overview of hydrogen production from biomass. **Fuel processing technology**, v. 87, n. 5, p. 461-472, 2006.

NOIKE, T.; MIZUNO, O. Hydrogen fermentation of organic municipal wastes. **Water Science & Technology**, v. 42, n. 12, p. 155-162, 2000.

OH, Sang-Eun et al. Biological hydrogen production using a membrane bioreactor. **Biotechnology and bioengineering**, v. 87, n. 1, p. 119-127, 2004.

OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de; HIGARASHI, Martha Mayumi. **Geração E Utilização De Biogás Em Unidades De Produção De Suínos**. Concórdia –SC , 2006. 42 p.

PINTO, Marcos de Castro. **Aplicação De Arquitetura Pedagógica Em Curso De Robótica Educacional Com Hardware Livre**. 2011. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Informática, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

PORTELA, A.; MOREIRA, A. S.; SILVA, R. **Uso da Plataforma Arduino no Desenvolvimento de Soluções Tecnológicas para Pesquisas de Dados Atmosféricos na Amazônia**. *Perspectiva Amazônica*, v. 05, p. 119-126, 2013.

ROBERTS, Michael Mc. **Arduino básico**. São Paulo: Novatec, 2011. 456 p.

RUSSEL, J.B. **A equação de Nersnt-Química Geral**. 2. Ed. São Paulo: Makron books e McGraw Hill, 1994. V. 2 cap. 18, p 905-908.

SEOL, Eunhee et al. Sustained hydrogen production from formate using immobilized recombinant *Escherichia coli* SH5. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 36, n. 14, p. 8681-8686, 2011.

SILVEIRA, João Alexandre da. **Experimentos com o Arduino**. 2. ed. São Paulo: Ensino Profissional, 2013.

SUZUKI, Y. On hydrogen as fuel gas. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 7, n. 3, p. 227-230, 1982.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors**. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>> Acesso em: 15 de maio de 2015.

WETCHAKUN, K. et al. Semiconducting metal oxides as sensors for environmentally hazardous gases. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 160, n. 1, p. 580-591, 2011.

YAMAZOE, Noboru et al. Gas sensing interfaces of solid electrolyte based carbon dioxide sensors attached with metal carbonate. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 34, n. 1, p. 361-366, 1996.

YAMAZOE, Noboru. Toward innovations of gas sensor technology. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 108, n. 1, p. 2-14, 2005

YEA, Byeongdeok et al. Improvement of concentration-estimation algorithm for inflammable gases utilizing fuzzy rule-based neural networks. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 56, n. 1, p. 181-188, 1999

APÊNDICE A – Código para leitura dos sensores

```
//codigo para sensores de gas para calculo

//sensor de pressao
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_BMP085.h>

float sensor_t;
// Conectar pino Vcc do BMP085 ao pino 3.3v do Arduino(NAO UTILIZAR 5.0V !)
// Conectar pino GND do módulo ao GND do Arduino
// Conectar o pino SCL do módulo ao pino analógico 5 do Arduino
// Conectar o pino SDA do módulo ao pino analógico 4 do Arduino
// Pino EOC (End of conversion) não utilizado
// Pino XCLR é um pino de reset, também não é utilizado

Adafruit_BMP085 bmp;

//variaveis para o sensor LM35
int temp;
float tempf;
int tempPin=3; //pino analogico A3 para conectar o sensor de temperatura em 3,3 V

//variaveis para os sensores
int ValorSensorHidrogenio; // nome da variavel para o sensor de hidrogenio MQ8
int ValorSensorCO2; // nome da variavel para o sensor de dióxido de carbono MG811
int ValorSensorMetano; // nome da variavel para o sensor de Metano MQ4

//variaveis para o sensor de metano
int RLMQ4;
```

```

float RSMQ4;
float ROMQ4;
float RazaoRSR0MQ4;
float ConcMetano;

//variaveis para o sensor de hidrogenio
int RLMQ8;
float RSMQ8;
float ROMQ8;
float RazaoRSR0MQ8;
float ConcHidrogenio;

//variaveis para o sensor de dióxido de carbono
float VoltagemCO2;
float ConcCO2;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  if (!bmp.begin()) {
    Serial.println("Could not find a valid BMP085 sensor, check wiring!");
    while (1) {}
  }

  analogReference(INTERNAL);
}

void loop()
{
  //*****codigo para a leitura do sensor de hidrogenio *****
  ValorSensorHidrogenio = analogRead(0); //realiza a leitura do valor registrado pelo
  sensor na porta analogica A0
  //inserir o valor de RL para o sensor de hidrogenio

```



```

RLMQ8 = 10; // 10 kohm --> obtido do datasheet
RSMQ8=RLMQ8*(1023-ValorSensorHidrogenio)/(ValorSensorHidrogenio);
//R0MQ8 = xxxx;
//RazaoRSR0MQ8 = RSMQ8/R0MQ8;
//ConcHidrogenio = pow((23420/RazaoRSR0MA8),0.682593857);

//imprime no monitor o valor registrado para Rs
Serial.print("RS do Hidrogenio : ");
Serial.print(ValorSensorHidrogenio);
Serial.println();

//*****codigo para a leitura do sensor de dióxido de carbono *****
ValorSensorCO2 = analogRead(1); //realiza a leitura do valor registrado pelo sensor na
porta analogica A1
VoltagemCO2 = ValorSensorCO2*(5.0/1024.0)*100.0;
ConcCO2 = pow((42.6252/VoltagemCO2),16.667);

//imprime no monitor o valor registrado
Serial.print("Voltagem do CO2 : ");
Serial.print(VoltagemCO2);
Serial.print("mV");
Serial.println();
Serial.print("Conc de CO2 : ");
Serial.print(ConcCO2);
Serial.print(" ppm");
Serial.println();

//*****codigo para a leitura do sensor de Metano *****
ValorSensorMetano = analogRead(2); //realiza a leitura do valor registrado pelo sensor
na porta analogica A2
//inserir o valor de RL para o sensor de Metano

```

```

RLMQ4 = 20; // 20 kohm --> obtido do datasheet
RSMQ4=RLMQ4*(1023-ValorSensorMetano)/(ValorSensorMetano);
//R0MQ4 = xxxx;
//RazaoRSR0MQ4 = RSMQ4/R0MQ4;
//ConcMetano = pow((11.436/RazaoRSR0MQ4),2.83286119);

//imprime no monitor o valor registrado
Serial.print("RS do Metano : ");
Serial.print(RSMQ4);
Serial.println();

//*****leitura da temperatura com LM35
temp=analogRead(tempPin);
tempf= (float)temp*0.48828125; //a constante é obtida por (voltagem*100/1024)
Serial.print("Temperatura=");
Serial.print(tempf/9.31);
Serial.print(" Celsius");
Serial.println();

//*****leitura da pressao interna com GY-65
Serial.print("Temperatura_GY65 = ");
Serial.print(bmp.readTemperature());
Serial.println(" *C");

Serial.print("Pressao = ");
Serial.print(bmp.readPressure());
Serial.println(" Pa");
Serial.println();

delay(1000); // espera 1000ms (1s) para a proxima leitura
}

```

ANEXO A – Dados técnicos do sensor MQ-4

TECHNICAL DATA MQ-4 GAS SENSOR**FEATURES**

- * High sensitivity to CH₄, Natural gas.
- * Small sensitivity to alcohol, smoke.
- * Fast response.
- * Stable and long life
- * Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in gas leakage detecting equipments in family and industry, are suitable for detecting of CH₄, Natural gas, LNG, avoid the noise of alcohol and cooking fumes and cigarette smoke.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _H	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
P _L	Load resistance	20KΩ	
R _H	Heater resistance	33Ω±5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than 750mw	

B. Environment condition

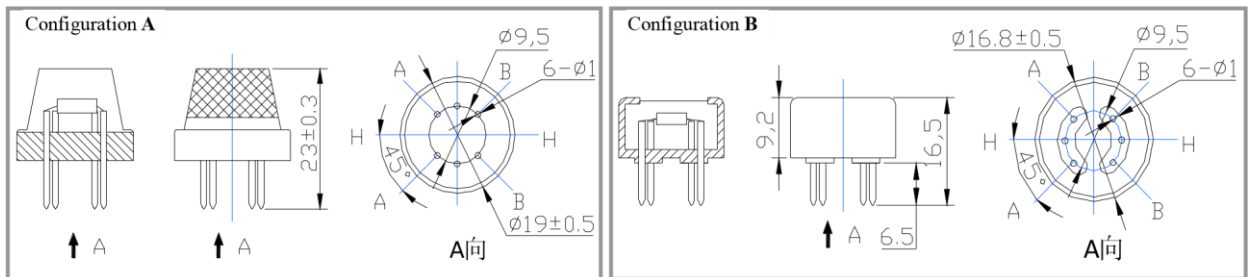
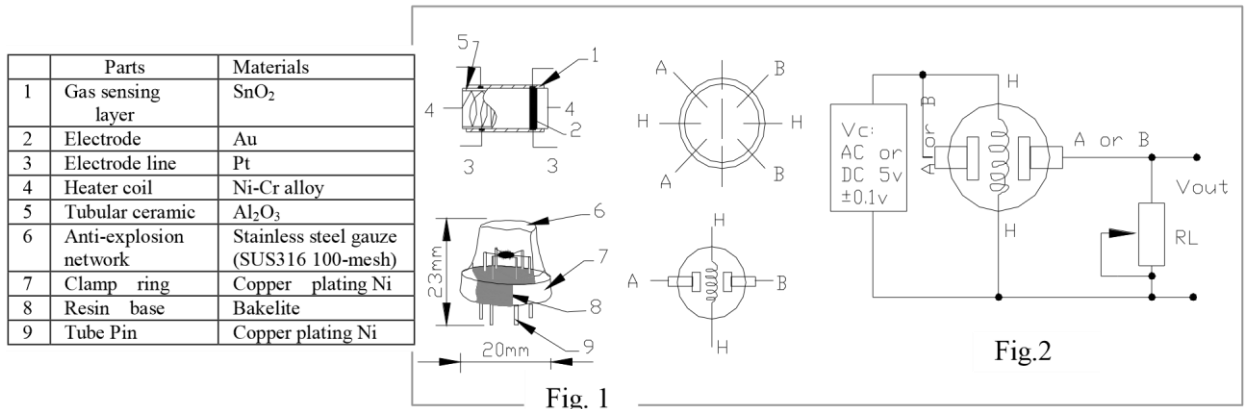
Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T _{ao}	Using Tem	-10°C -50°C	
T _{as}	Storage Tem	-20°C -70°C	
R _H	Related humidity	less than 95%Rh	
O ₂	Oxygen concentration	21% (standard condition) Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R _s	Sensing Resistance	10KΩ- 60KΩ (1000ppm CH ₄)	Detecting concentration scope : 200-10000ppm CH ₄ , natural gas
α (1000ppm/ 5000ppm)	Concentration slope rate	≤0.6	

CH ₄)		
Standard detecting condition	Temp: 20°C±2°C Vc:5V±0.1 Humidity: 65%±5% Vh: 5V±0.1	
Preheat time	Over 24 hour	

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

Structure and configuration of MQ-4 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro AL₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-4 have 6 pin, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

E. Sensitivity characteristic curve

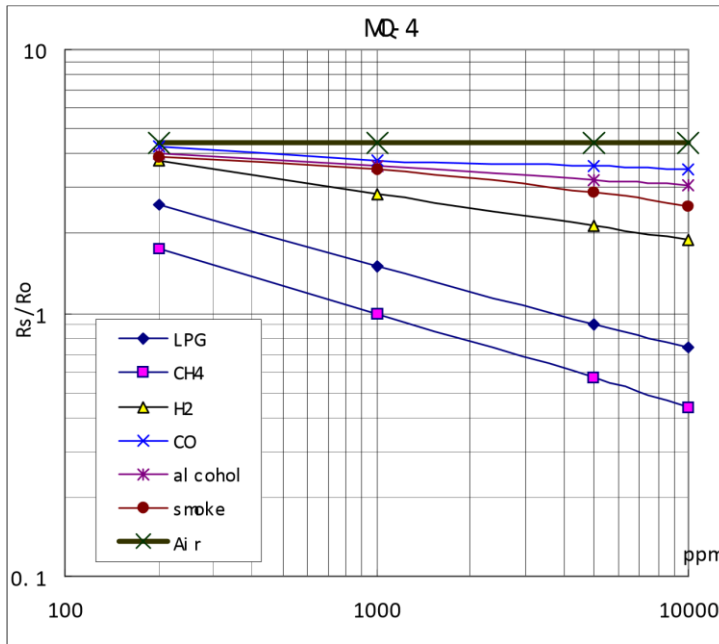


Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-4 for several gases. in their: Temp: 20°C, Humidity: 65%, O₂ concentration 21% RL=20k Ω
 Ro: sensor resistance at 1000ppm of CH₄ in the clean air.
 Rs:sensor resistance at various concentrations of gases.

Fig.3- Sensitivity characteristics of the MQ-4

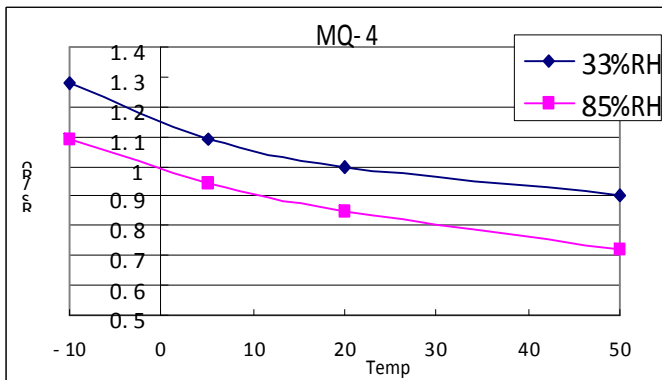


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-4 on temperature and humidity.
 Ro: sensor resistance at 1000ppm of CH₄ in air at 33%RH and 20 degree.
 Rs: sensor resistance at 1000ppm of CH₄ in air at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-4 is difference to various kinds and various concentration gases. So, when using this components, sensitivity adjustment is very necessary. We recommend that you calibrate the detector for 5000ppm of CH₄ concentration in air and use value of Load resistance (R_L) about 20KΩ(10KΩ to 47KΩ).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

ANEXO B – Dados técnicos do sensor MQ-8

TECHNICAL DATA MQ-8 GAS SENSOR**FEATURES**

- * High sensitivity to Hydrogen (H₂)
- * Small sensitivity to alcohol, LPG, cooking fumes
- * Stable and long life

APPLICATION

They are used in gas leakage detecting equipments in family and industry, are suitable for detecting of Hydrogen (H₂), avoid the noise of alcohol and cooking fumes, LPG,CO.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _H	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
P _L	Load resistance	10KΩ	
R _H	Heater resistance	31±5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than 800mW	

B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T _{ao}	Using Tem	-10°C-50°C	
T _{as}	Storage Tem	-20°C-70°C	
R _H	Related humidity	less than 95%Rh	
O ₂	Oxygen concentration	21% (standard condition) Oxygen	minimum value

		concentration can affect sensitivity	is over 2%
--	--	--------------------------------------	------------

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Ramark 2
Rs	Sensing Resistance	10KΩ- 60KΩ (1000ppm H ₂)	Detecting concentration scope: 100-10000ppm Hydrogen (H ₂)
α (1000ppm/500ppmH ₂)	Concentration slope rate	≤0.6	
Standard detecting condition	Temp: 20°C±2°C Humidity: 65%±5%	Vc:5V±0.1 Vh: 5V±0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

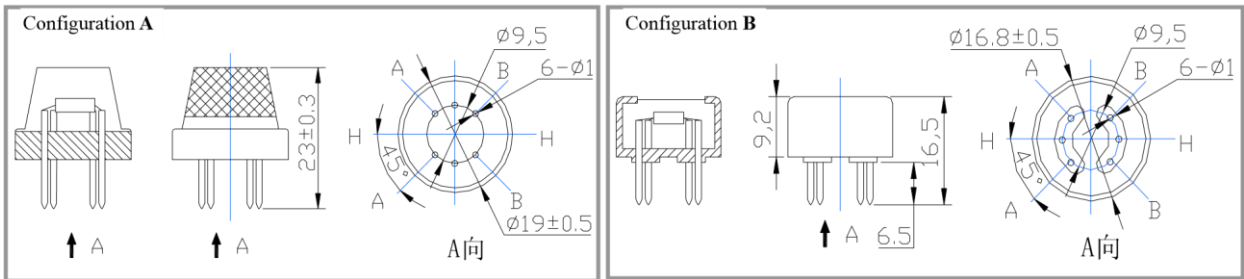
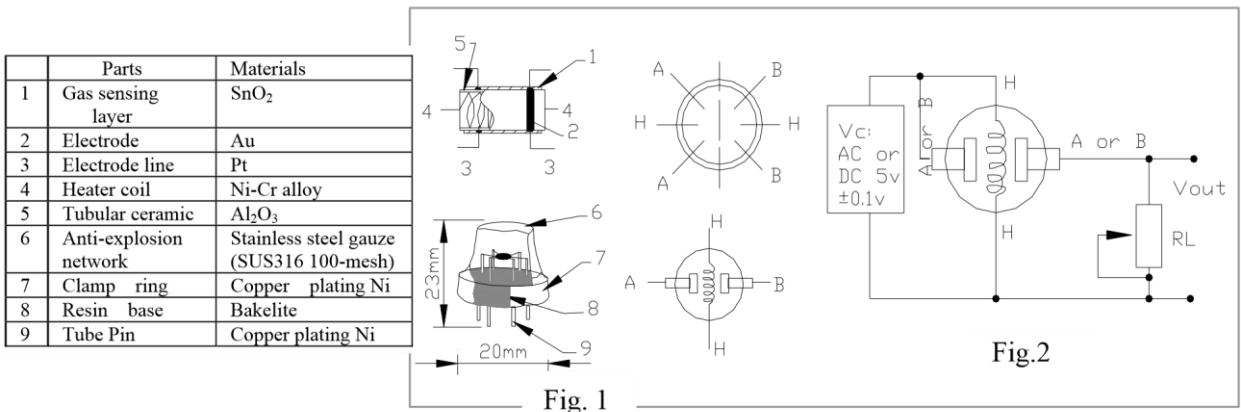


Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-8

Structure and configuration of MQ-8 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer,

measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-8 have 6 pin, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

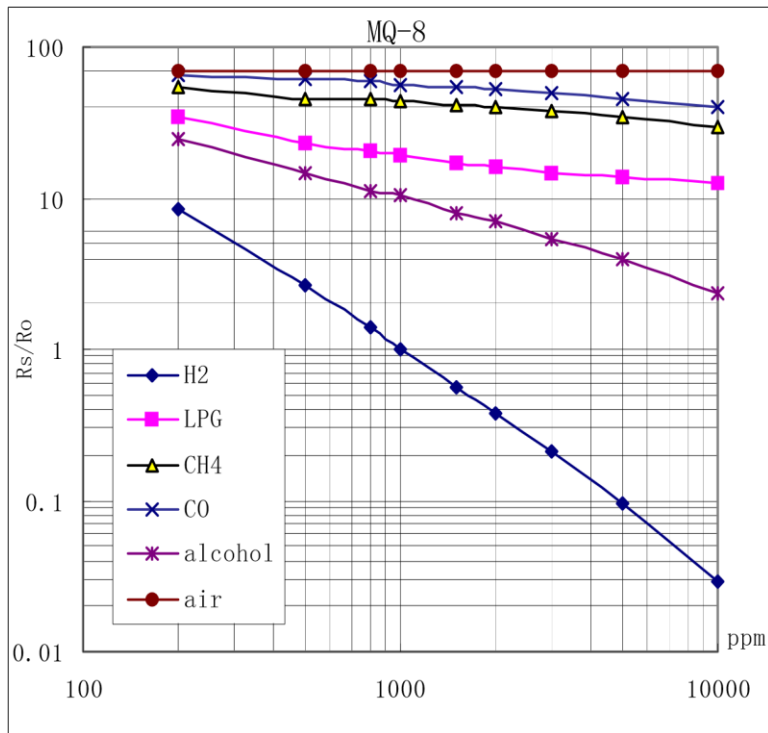
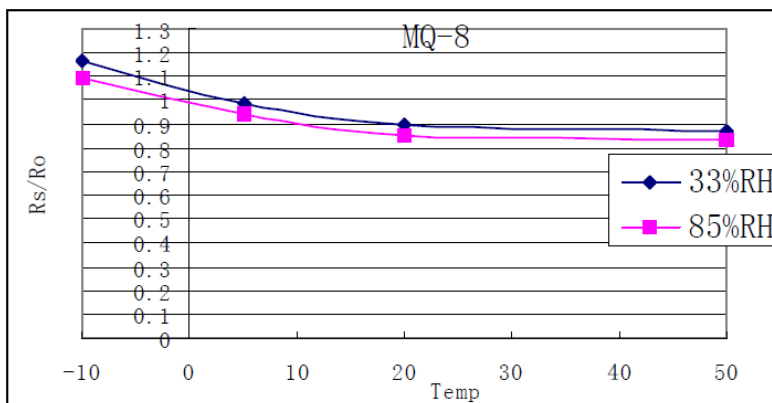


Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-8 for several gases.

in their: Temp: 20°C,
Humidity: 65%,
O₂ concentration 21%
RL=10k Ω

Ro: sensor resistance at 1000ppm H₂ in the clean air.
Rs: sensor resistance at various concentrations of gases.

Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-8 on temperature and humidity.



Ro: sensor resistance at 1000ppm of H₂ in air at 33%RH and 20 degree.

Rs: sensor resistance at 1000ppm of H₂ in air at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-8 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 1000ppm H₂ concentration in air and use value of Load resistance (R_L) about 10 K Ω (5K Ω to 33 K Ω).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

ANEXO C – Dados técnicos do sensor MG-811

MG811 - CO2 Sensor

Features

- Good sensitivity and selectivity to CO₂;
- Low humidity and temperature dependency;
- Long stability and reproducibility;

Application

- Air Quality Control;
- Ferment Process Control;
- Room Temperature CO₂ concentration Detection.



Structure and Testing Circuit

Sensor Structure and Testing Circuit as Figure, It composed by solid electrolyte layer (1) , Gold electrodes (2) , Platinum Lead (3) , Heater (4) , Porcelain Tube (5) , 100m double-layer steels net (6) , Nickel and copper plated ring (7) , Bakelite (8), Nickel and copper plated pin (9) .

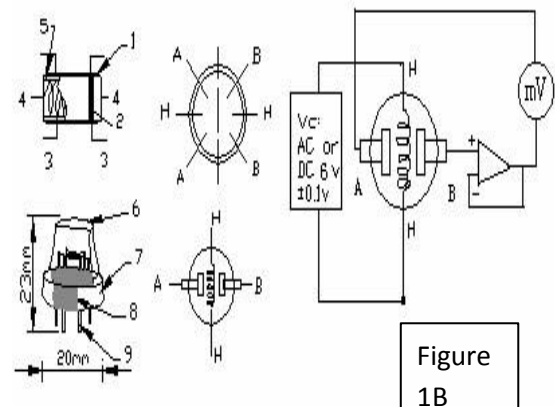
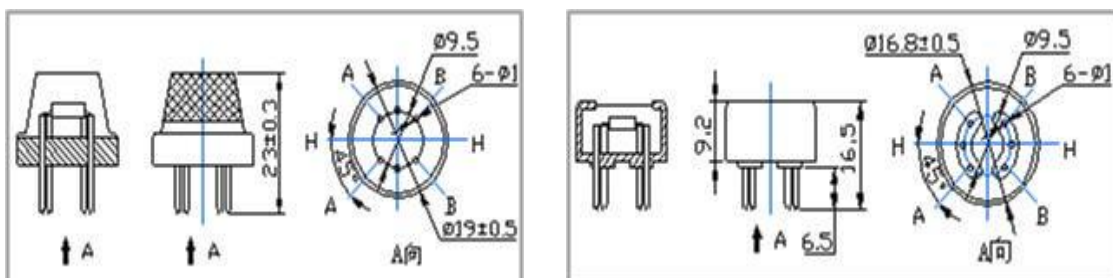
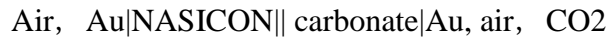


Figure 1A

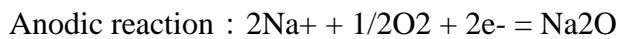


Working Principle

Sensor adopt solid electrolyte cell Principle, It is composed by the following solid cells :



When the sensor exposed to CO₂, the following electrodes reaction occurs :



The Electromotive force (EMF) result from the above electrode reaction, accord with according to Nernst's equation: :

$$\text{EMF} = E_c - (R \times T) / (2F) \ln (P(\text{CO}_2))$$

$P(\text{CO}_2)$ —CO₂--- partial Pressure E_c —Constant Volume R —Gas Constant
volume T — Absolute Temperature (K) F —Faraday constant

From Figure 1B, Sensor Heating voltage supplied from other circuit , When its surface temperature is high enough , the sensor equals to a cell, its two sides would output voltage signal ,and its result accord with Nernst' s equati on。 In sensor testing, the impedance of amplifier should be within 100—1000GΩ , Its testing current should be control below 1pA.

Specifications :

Symbol	Parameter Name	Technical	Remarks
V _H	Heating Voltage	6.0±0.1 V	AC or DC
R _H	Heating Resistor	30.0±5%Ω	Room Temperature
I _H	Heating Current	@200mA	
P _H	Heating Power	@1200mW	
Tao	Operating	-20—50	

	Temperature		
Tas	Storage Temperature	-20—70	
EM F	Output	30—50mV	350—10000ppmCO2

Sensitivity :

Figure 2 Shows gas sensor sensitivity curve. :

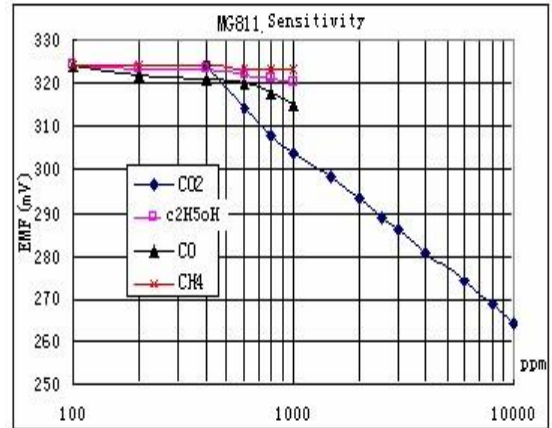
Conditions:

Tem : 28°C、

RH : 65%、

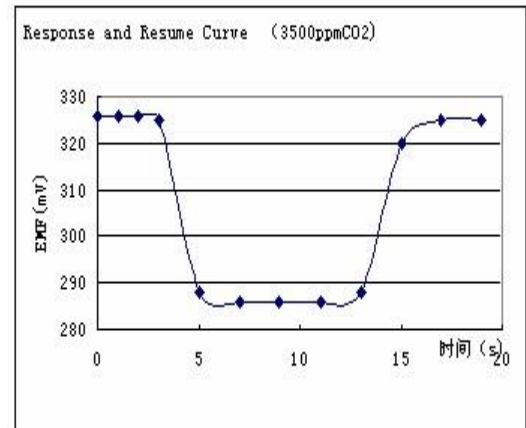
Oxygen : 21%

EMF: sensor EMF under different gas and concentration .



Response and Resume Characteristic :

Figure 3 shows Solid electrolyte sensor response and resume characteristics.



Temperature and Humidity Dependency :

