

Projeto de Microprocessadores e Microcontroladores Misturador Magnético para o Laboratório de Química da FGA

Josué Bezerra Bonfim Filho, Abhay Caran Das Baraky Dias

Resumo—De acordo com os requisitos necessários para o aprendizado sobre relações de balanceamento de equações químicas através de dados de titulação, este artigo tem o objetivo de desenhar um produto cuja função principal é auxiliar os estudantes da disciplina de Química Experimental a evitar acidentes. O documento explicita o projeto de software e hardware do sistema automatizado de mistura, controle de válvula e detecção do ponto de equivalência entre concentração de ácidos e bases. A ferramenta usa o microcontrolador MSP430FR2433 da fabricante Texas Instruments e sensores e periféricos de fabricantes variadas.

Keywords—sensor, microcontrolador, MSP430, display, titulação, misturador, detecção, cor.

I. INTRODUÇÃO

A UnB Gama oferece 5 cursos de graduação, os quais são Engenharia Automotiva, Engenharia Aeroespacial, Engenharia Eletrônica, Engenharia de Energia e Engenharia de Software[10]. Os alunos que ingressam na universidade cursam disciplinas que são comuns a todos até o 3º semestre. Dentre as disciplinas comuns, a Química Geral Teórica e Experimental se preocupa em entregar uma abordagem geral dos princípios da Química e suas aplicações, usando exemplos de compostos orgânicos e inorgânicos[9]. Para que o objetivo seja alcançado, os estudantes são submetidos a uma série de experimentos e testes teóricos.

O experimento de "Balanceamento de uma equação química por meio de dados de titulação" tem como objetivo determinar a concentração exata de soluções aquosas de bases fortes e ácidos fracos. Para isso, os estudantes devem titular a solução presente na bureta com a solução no erlenmeyer através do gotejamento controlado por uma válvula, até que a solução do erlenmeyer mude de cor por conta do indicador ácido-base fenolftaleína. Assim, o experimento exige dos estudantes agilidade e coordenação motora para agitar o erlenmeyer e abrir a válvula da bureta[7].

Encorajados pelo corpo docente da UnB Gama, o projeto da disciplina de Microprocessadores e Microcontroladores visa a construção de um produto que realize a abertura da válvula que será feita por um motor de passo, a mistura das soluções, a qual será feita por um misturador magnético[8] e a detecção da mudança de cor por um sensor para realizar a parada do gotejamento. A fim de controlar o processo, será usado um microcontrolador MSP430FR2433.

II. DESENVOLVIMENTO

A. Justificativa e Benefícios

Existe uma dificuldade entre os estudantes da Disciplina de Química Geral Experimental na UnB Gama de realizar o experimento de "Balanceamento de Equações Químicas através de dados de Titulação" devido ao fato que o mesmo exige destreza com o manuseio das vidrarias do laboratório. A falta de habilidade resulta na demora da realização do experimento com repetições, o extravio de material útil e até quebra das vidrarias. Outro aspecto pontual que o laboratório da faculdade enfrenta trata-se da pequena quantidade de equipamentos que implica na limitação da quantidade de pessoas realizando o experimento e dessa maneira a repetição ou erro ao realizar uma execução pode atrapalhar o andamento da aula.

Em conversas com os professores e técnicos, vendo a dificuldade dos estudantes e a falta de recursos para a compra de material para os laboratórios na FGA, o produto será destinado ao uso experimental. Em pesquisas de mercado, o preço de um misturador magnético chega a R\$1300,00.

O maior benefício que o produto traz é a facilidade do uso no ambiente laboratorial, o preço final do produto e sobre tudo a inovação da parada do gotejamento instantaneamente conforme a solução muda de cor. Este equipamento pode reduzir o período da aula e permitir que mais alunos completem o experimento sem demais complicações.

B. Revisão Bibliográfica

1) Experimento - Balanceamento de Equações Químicas Através de Dados de Titulação: A titulometria, ou titulação é um método de análise quantitativa que determina a concentração de uma solução[7]. Dosar uma solução é determinar a sua quantidade por intermédio de outra solução de concentração conhecida. Assim, a titulação ácido-base se torna uma importante ferramenta para análises laboratoriais e é dividida em:

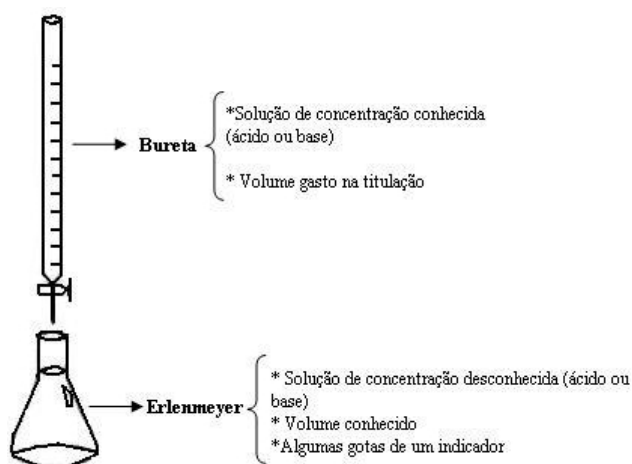
- **Acidimetria:** determinação da concentração de um ácido.
- **Alcalimetria:** determinação da concentração de uma base.

Existem também as substâncias que mudam de cor na presença de ácidos e bases, os quais são os **indicadores ácido-base**. [7] Os indicadores mais usados em laboratórios e as cores dos pontos de viragem estão descritos na tabela I:

Os equipamentos usados habitualmente em uma titulação são uma **bureta** e um **erlenmeyer**, representados na figura 1.

Tabela I. TABELA DOS INDICADORES DE TITULAÇÃO

Indicador	Meio Ácido	Meio Básico
Tornassol	róseo	azul
Fenolftaleína	incolor	vermelho
Alaranjado de metila	vermelho	amarelo
Azul de bromotimol	amarelo	azul

Figura 1. Esquemático de Titulação - Bureta e Erlenmeyer - Fonte <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/titulacao.htm>

Ao abrir a torneira da bureta, começa a reação entre ácido e base no erlenmeyer. A titulação termina quando é evidenciada a mudança de cor da solução do erlenmeyer. A coloração obtida dependerá do tipo de indicador usado.

Os estudantes da UnB Gama realizam o experimento de acordo com a metodologia a seguir:

- Pipetar 1mL de vinagre com pipeta volumétrica em um erlenmeyer de 250mL;
- Adicionar 50mL de água destilada com a proveta;
- Acrescentar 3 gotas de solução indicadora de fenolftaleína;
- Titular com a solução preparada anteriormente de NaOH 0,05M até o aparecimento de uma coloração levemente rosa;
- Anotar o volume gasto;
- Realizar a duplicata.

A partir das instruções acima, os estudantes, juntamente com todo o conhecimento teórico, podem calcular a concentração da solução presente no erlenmeyer.

2) **Agitadores Magnéticos - "Magnetic Stirrer"**: Um agitador magnético é um aparelho de laboratório destinado a agitar soluções por meio de uma pequena barra magnética movida por um campo magnético rotativo. Os agitadores magnéticos são utilizados para agitar líquidos ou soluções por longos períodos de tempo. São muito utilizados em trabalho laboratoriais, mas não podem ser utilizados com líquidos muito viscosos ou se a mistura reacional for heterogênea com grande quantidade de sólidos dispersos[5].

O magnetismo é o fenômeno de atração ou repulsão entre ímãs ou materiais ferromagnéticos e é um dos principais fundamentos para que os agitadores magnéticos funcionem. A partir

desta atração é possível mover objetos através de superfícies e barreiras que não contenham materiais ferromagnéticos.

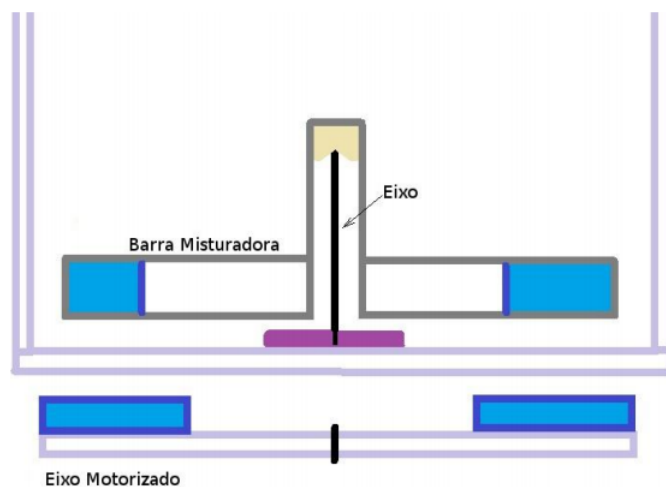


Figura 2. Esquemático de funcionamento interno do agitador magnético.

De acordo com a figura 2, o eixo motorizado possui 2 ímãs em suas pontas. Acima dele, existe uma superfície não magnetizada que separa o eixo da barra magnetizada, que por sua vez, é uma barra feita de material inerte com materiais ferromagnetizados nas pontas. (fonte: misturador magnetico)

3) **Sistema de Detecção Eletrônica de Cores**: Os sistemas de detecção eletrônica de cores são aqueles que utilizam sensores de cor para tomar decisões de maneira autônoma. São sistemas de ampla aplicação na indústria[8]. O sensor de cor consegue detectar fielmente diferenças sutis de cor que geralmente são difíceis de captar com sensores convencionais. Como eles geralmente se baseiam no padrão RGB (Red, Green e Blue), a detecção é pouco afetada por vibrações ou variação de posição.

Os sistemas podem ser usados para separação de objetos por cor, verificação de cor da tampa, etiquetas mal colocadas, detecção de cor para tomada de decisão, detecção de junção em aerossóis ou latas, detecção de presença ou ausência de impressão, detecção de graxa em rolamentos de esfera, verificação de montagem correta, entre outras.

4) **Motor de Passo**: Um motor de passo é um tipo de motor elétrico usado quando algo tem que ser posicionado com precisão e ou rotacionado em um ângulo exato e que convém ao nosso projeto pois a abertura da válvula é pequena e não necessita de grande torque para a perfeita operação. Nesse tipo de motor a rotação do balancete é controlada por uma série de campos eletromagnéticos que são ativados e desativados eletronicamente. Além disso, é utilizado PWM para o controle da velocidade do motor e do tipo de movimento que eles efetuam, que relaciona consumo de energia, intensidade do Torque, velocidade e precisão.

Existem dois tipos de motores de passo: unipolares e bipolares. Em um motor unipolar, a corrente flui em apenas uma direção na bobina já nos bipolares, a corrente flui em ambas as direções.

Pode-se definir 3 tipos principais de movimentação dos motores de passo:

Wave Drive Operation - este modo realiza a movimentação através de da conexão de uma bobina de cada vez que implica em rotações de 90° por ciclo. É uma opção para aplicações de baixo consumo e que um alto torque não seja necessário;

Full-Step Operation - este modo também realiza rotações de 90°, porém são utilizadas duas bobinas simultaneamente de forma a intensificar o torque durante a movimentação. Assim, esta se torna uma opção para aplicações que exigem alto torque.

Half-Step Operation - este modo realiza passos de 45° e portanto consegue maior precisão para a movimentação do servo motor e para isto é utilizada uma onda de PWM de 3 (high) por 5 (low) para que ora sejam ligadas apenas uma bobina e ora duas de forma a se completar a rotação. Esta opção requer uma maior número de movimentos para a rotação e portanto consome mais energia e perde velocidade, todavia a resolução do passo aumenta e se torna uma boa para aplicações que demandam grande precisão.

5) **LCD**: Um display é um componente eletrônico onde a imagem é formada pela polarização da luz. Pode ser no formato de 7 segmentos ou matricial. No formato matricial é possível a representação de símbolos. É geralmente controlado por um circuito integrado Hitachi HD44780. Existem vários tipos de LCD no mercado atualmente e são descritos por Ax B, onde A é o número de colunas e B é o número de linhas. Existem também os modelos com e sem back-light, o qual é um conjunto de LEDs no fundo do display que permite que o escrito possa ser lido em ambientes de baixa ou nenhuma luminosidade. Os modelos mais comuns se comunicam através de pinos de I/O de seu microcontrolador chamados de LCDs paralelos. Outros modelos se comunicam em outros protocolos, como os I2C, SPI, etc.

O LCD é formado por "células" onde ficam os caracteres. O display 16x2 possui 32 células e cada célula é composta por uma matriz de 8x5 pixels. A ferraemnta dispõem de 16 portas das quais 8 portas são canais de dados. Entretanto, como o microprocessador utilizado demanda a economia de porta podemos utilizar a função do display para operar com apenas 4 canais. A alimentação do display demanda 5V para os caracteres e para a Backlight, que é a luz verde de fundo que realça as informações do display. E além disso, também conta com uma porta de contraste para o ajuste da luz e mais 3 portas de controle. Descrição dos Terminais: Vss - GND ou terra; Vdd - porta de alimentação 3 5V; Vo - Porta para controle do contraste através de uma resistência variável; RS - Canal "Register Select" que faz a seleção entre os modos de inserção de caracteres (nível lógico alto) e o modo de inserção de comandos (nível lógico baixo); RW - Porta que realiza a seleção entre receber texto para ser escrito no display (nível lógico baixo) e ler os dados do display para fornecer ao microcontrolador (nível lógico alto); E - Canal que permite que todas as operações sejam concluídas e seu funcionamento requer que a porta passe do nível lógico alto para baixo e sem seguida retorne para o alto; D0 D7 - Canais de Dados para os modos de comando e de caracteres. Vale notar que ao selecionar a opção de 4 bits são utilizados apenas os bits mais

significativos (D4 D7) e os dados são transmitidos seguindo a sequência de 4 bits mais significativos e depois os 4 bits menos significativos; A - É a porta de alimentação para a Backlight e é ligada ao 5V; k - Canal ligado ao GND para a alimentação do Backlight;

C. Descrição de Hardware

O produto é composto pelos componentes abaixo:

- Um sensor de cor TCS3200 da TAOS
- Um motor de passo
- Um cooler
- Ímãs de neodímio
- MSP430FR2433
- Display LCD 16x2
- Botões

1) **Sensor de Cor TCS3200**: O sensor de cor TCS3200 é um conversor de intensidade de luz para frequência de alta resolução, fabricado pela Texas Advanced Optoelectronic Solutions (TAOS). Este sensor de cor combina fotodiodos de silício e um conversor de corrente por frequência em um único circuito integrado. A saída deste sensor é uma onda quadrada com ciclo de trabalho de 50% e frequência diretamente proporcional à intensidade de luz. citar TAOS, 2011

No sensor TCS3200, o conversor de relação luz-frequência lê uma matriz de fotodiodos de 8x8 elementos. Dezesesseis fotodiodos possuem filtro azul, dezesseis possuem filtro verde, dezesseis possuem filtro vermelho e dezesseis não possuem filtro. citar TAOS, 2011.

Os quatro tipos de fotodiodos são dispostos de forma alternada para minimizar o efeito da não uniformidade da radiação incidente. Todos os fotodiodos de mesma cor são conectados em paralelo. A figura 3 mostra o diagrama de blocos do sensor TCS3200. citar taos, 2011.

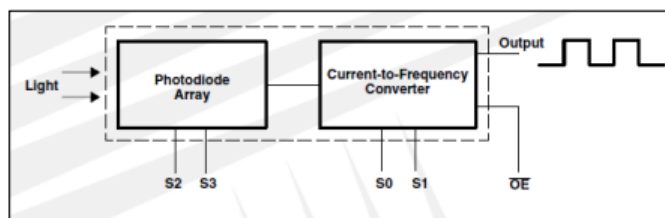


Figura 3. Diagrama de Blocos do Sensor de Cor TCS3200

A frequência de saída do sensor pode ser controlada através de dois pinos de entrada (S0 e S1) de acordo com a tabela II, tendo como saída a frequência máxima do sensor (100%), 20% ou 2%. Os pinos digitais de entrada e saída permitem uma interface direta com o microcontrolador. De acordo com a tabela III, os pinos S2 e S3 tem a função de realizar a configuração dos filtros de cor. O pino LED serve para ligar ou desligar os LEDs brancos em volta do sensor.

A princípio o sensor não utiliza qualquer biblioteca específica, já que via software, serão acionados os pinos S0, S1, S2 e S3 via pinos digitais e ler o valor da saída OUT também por um pino digital.

Tabela II. TABELA DE FREQUÊNCIA DO SENSOR TCS3200

S0	S1	Escala de Frequência de Saída
Low	Low	Desligado
Low	High	2%
High	Low	20%
High	High	100%

Tabela III. TABELA DE CONFIGURAÇÃO DOS FILTROS DE COR

S2	S3	Tipo do FotoDiodo
Low	Low	RED(vermelho)
Low	High	BLUE(azul)
High	Low	CLEAR(sem filtro)
High	High	GREEN (verde)

2) **Cooler:** Este projeto utilizará um PC cooler genérico para rotacionar os ímãs e realizar o agitador magnético. O equipamento em si é um motor DC de 12 volts e sem necessariamente o fio indicador de rotações por minuto;

3) **Driver de potência ULN2003:** Este driver, presente na figura 4, permite que o microcontrolador realize a operação do motor de passo e do cooler ao mesmo tempo. Ele possui 7 canais de operação que nada mais são um conjunto de portas inversoras que utilizam potência maior que a do MSP430. O driver possui também uma porta de alimentação e outra para o terra. Esta ferramenta consegue liberar no máximo 50V e receber 30V, além de transferir até 500mA de corrente para motores e outros periféricos.



Figura 4. Drive de Potência ULN2003

4) **Motor de Passo 26BYJ-48:** O motor de passo utilizado no nosso projeto é o motor unipolar 26BYJ-48, mostrado na figura 5, com alimentação de 5V e com 64 passos, portanto possui um ângulo de passo de 5.625°. Sua frequência é de 100Hz, possui 4 bobinas magnéticas e sua alimentação é interligada internamente e por isso possui apenas 1 fio de alimentação Vcc.

5) **Display LCD 16x2:** Este Dispositivo é utilizado para informar o usuário quanto ao início e finalização do processo mecânico da titulação. O modelo usado é o ITM-16032BSTL da INTECH LCD GROUP, ilustrado na figura 6.

O modelo possui os pinos 1 e 2 para alimentação do LED

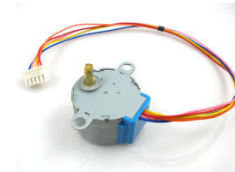


Figura 5. Motor de Passo 26BYJ-48

BACKLIGHT+ e LED BACKLIGHT- respectivamente. Os pinos 3 e 4 são a alimentação do display. O pino 5 controla do contraste do display. O pino 6 é o RS ou Register Select. O pino 7 é o Read/Write select e o mesmo deve ser aterrado. O pino 8 é o pino de Enable do Read/Write. Os pinos 9 a 16 são os DATA BUS. Para este projeto, a comunicação será feita por nibble, então apenas 4 pinos serão usados e estes são os pinos 13 a 16.



Figura 6. LCD ITM-16032BSTL

6) **Ligação com a MSP430:** A figura 7 nos mostra um conceito de ligação entre os periféricos (sensores e motores) com a MSP430FR2433. Espera-se que sejam usados 22 portas da MSP430. O desafio então se encontra na utilização das demais portas do microcontrolador.

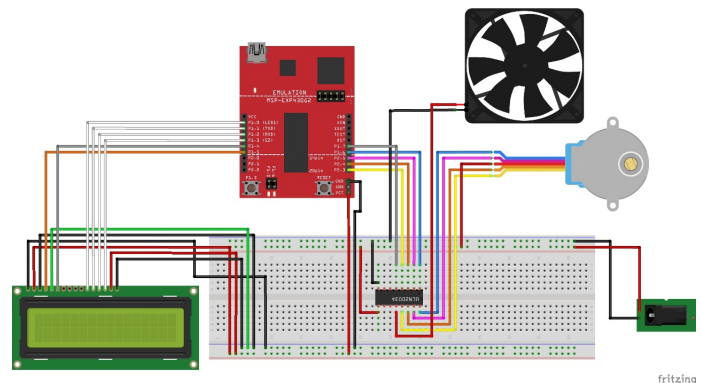


Figura 7. Ligação dos periféricos com a MSP430

A figura 8 no mostra o diagrama de blocos do produto final.

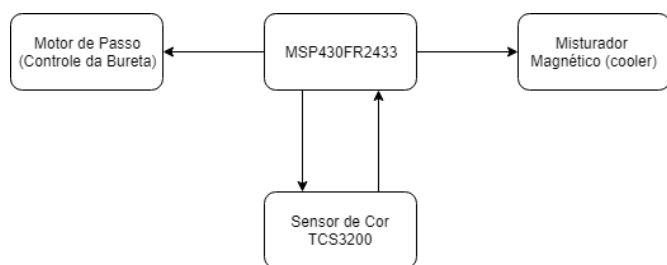


Figura 8. Diagrama de Blocos do protótipo

D. Descrição de Software

1) **Diagrama de Blocos:** A figura 9 ilustra o diagrama de blocos do software a ser desenvolvido. Vimos nela que, enquanto o botão de início não é pressionado, a programa fica preso no início. Assim que é pressionado o botão, o programa cai no laço infinito de detecção de cor. Assim que a flag de detecção é acionada, o processo acaba.

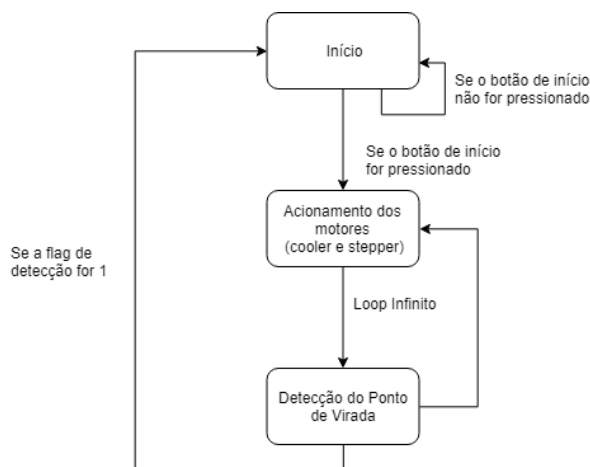


Figura 9. Diagrama de Blocos do Software do Produto

2) **Display LCD 16x2:** Para economia de portas, o modo de comunicação escolhido foi o de 4 bits. Para a comunicação via software, durante a pesquisa sobre o funcionamento do display, foi achada uma biblioteca pronta em C que realiza a comunicação de forma eficaz.

De acordo com a figura 10, podemos entender como foi realizado o teste.

A porta P1 foi setada inteiramente como saída, ou seja, $P1DIR = 0xFF$; e todos os pinos foram resetados, ou seja, $P1OUT = 0x00$; . Na porta P2, o bit 3, referente ao botão na MSP430FR2433 foi setado como entrada, ou seja $P2DIR \& \sim BTN$; . O Resistor de pull-up/down foi habilitado com $P2REN$ or $P2REN, BTN$; e foi setado como resistor de pull-up a partir de $P2OUT$ or $P2REN, BTN$; .

Então o LCD é inicializado com `lcd16x2_Init()`; O programa então realiza a escrita no LCD de uma string e então, se o usuário apertar o botão, o programa realiza outra escrita no LCD e fica preso no laço infinito.

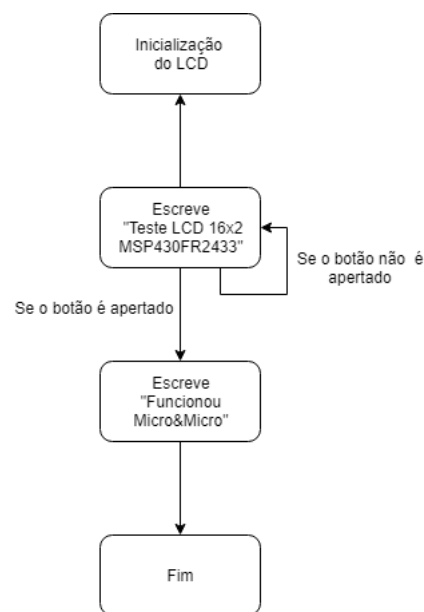


Figura 10. Diagrama de Teste do Display LCD 16x2

3) **Motores:** Para o controle dos moteres o código utilizou da plataforma IDE do energia para realizar a movimentação do motor de passo em função de uma resistência variável. O exemplo busca evidenciar que o controle e adireção do motor podem ser ajustados conforme um input adequado.

III. RESULTADOS E ANÁLISES

A. Objetivos

O objetivo geral se basea na construção de um produto que realize a titulação automáticas das soluções ácidas e alcalinas a fim de auxiliar os estudantes, técnicos e professores do laboratório de química da UnB Gama e oferecer alta precisão durante o gotejamento. Ademais, o projeto busca realizar as funcionalidades dos aparelhos de alto custo do mercado utilizando periféricos baratos.

B. Resultados Esperados

A partir das premissas do projeto, o grupo pretende:

- Realizar a abertura controlada da torneira da bureta;
- Misturar as soluções ácida e alcalina através de um agitador magnético;
- Detectar o ponto de viragem através de um sensor de cor;
- Informar os usuários quanto ao início e o término do procedimento de titulação.

C. Comunicação - Componentes e MSP430FR2433LP

1) **Display LCD 16x2:** Durante as pesquisas sobre o funcionamento e comunicação com microcontroladores, foi encontrada uma biblioteca pronta para o MSP430FR2433, a "lcd16x2_msp43x.h", que realiza comunicação de maneira

eficaz. Sua vantagem é que ela não é para o Energia e sim para a linguagem C.

A partir disso, foi montado um programa de teste. Seu funcionamento se encontra na sessão "Desenvolvimento", subseção "Descrição de Hardware". Como resultado do teste e prova do funcionamento, as figuras 11 e 12 comprovam a comunicação entre o display e a MSP430.

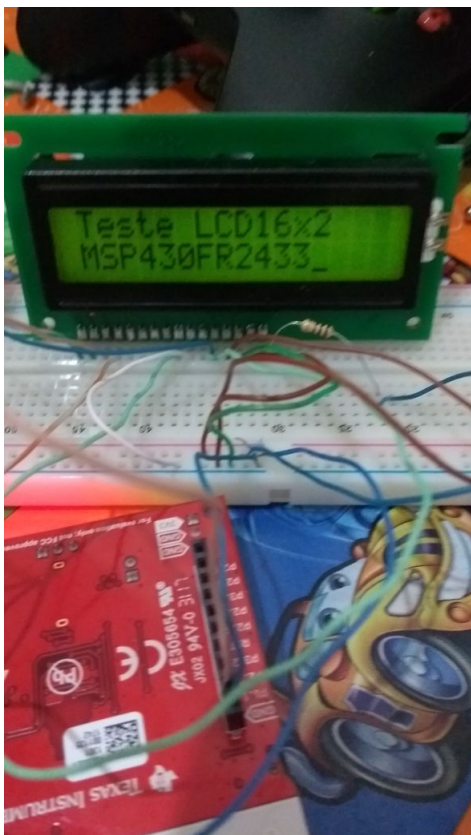


Figura 11. Teste de Comunicação do LCD - Foto 1

2) **Sensor de Cor TCS3200:** Não foi possível ainda, para este ponto de controle, a comunicação propriamente dita entre a MSP430 e o sensor. Porém, para outros microcontroladores, como o Arduino Uno, a comunicação foi concluída com sucesso.

Isso prova que, não somente o sensor funciona para o propósito, como existe a possibilidade de comunicação baseados em referencia 1 e referencia 2(TCC).

3) **Motores:** O motor de passo entrou em funcionamento através da plataforma Energia e realizou o movimento com perfeição. E evidenciou que podemos configurar a direção de rotação, a velocidade e o torque do motor adquirido, o 26BYJ-48.

IV. CONCLUSÕES

Dado que o objetivo do projeto é desenvolver um produto que solucione um problema do laboratório de Química na UnB Gama, é possível notar que o mesmo se encontra bem embasado e explica de maneira clara os objetivos e requisitos.

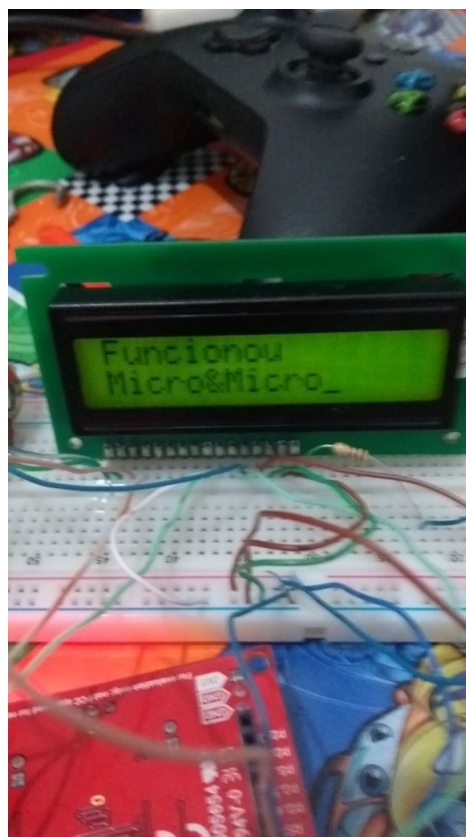


Figura 12. Teste de Comunicação do LCD - Foto 2

Pode-se destacar que, enquanto a comunicação dos periféricos com o microcontrolador, o display LCD e os motores foram bem sucedidos nos testes. O sensor de cor não comunicou com a MSP430, porém houve sucesso na comunicação com o Arduino Uno.

Para o próximo ponto de controle, espera-se que todos os periféricos se comuniquem com a MSP430 e haja um protótipo funcional do produto final.

REFERÊNCIAS

- [1] TCS3200 Datasheet - Texas Advanced Optoelectronic Solutions - <https://www.mouser.com/catalog/specsheets/TCS3200-E11.pdf>
- [2] ITM-1602BSTL - INTECH LCD GROUP - Display LCD 16x2 - http://www.intech-lcd.com/image/Character_LCM/1602b-c.pdf
- [3] COLOR DETECTION DEVICE using MSP430 launch pad - <https://www.youtube.com/watch?v=zj8cD8tLFYo>
- [4] LCD 16x2 with MSP430 TUTORIAL - <https://www.youtube.com/watch?v=P3i4YHqJeMs>
- [5] Essential Magnetic Stirrer Terms - <https://www.catscientific.com/magnetic-stirrer-glossary-of-terms/>
- [6] Magnetic Stirrers - http://www.prosense.net/files/Magnetic_Stirrers.pdf
- [7] Titulação - Brasil Escola - <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/titulacao.htm>
- [8] OLIVEIRA, Leonardo Gabriel de ; FERREIRA, Marcelo Sutil , SOUZA, Carlos Marques (orientador). **Misturador magnético digital de fluidos**. Revista Tecnológica da FATEC-PR, v.1, n.6, p. 204 - 226, jan./dez., 2015.
- [9] UnB Gama - Graduação - <https://fga.unb.br/unb-gama/graduacao>

- [10] Química Geral Teórica - <https://matriculaweb.unb.br/graduacao/disciplina.aspx?cod=114626>