SENSOR DE TURBIDEZ COM ARDUINO PARA MONITORAMENTO DA FORMAÇÃO DE $CaCO_3$ EM ATIVIDADES INTERDISCIPLINARES

João Francisco Trencher Martins[1], Rodnil da Silva Moreira Lisbôa [2]

[1] Fundação Escola de Comércio Alvares Penteado, São Paulo, Brasil
*(*joao.martins@fecap.br*)*
[2] Fundação Escola de Comércio Alvares Penteado, São Paulo, Brasil

Resumo: Este trabalho apresenta uma proposta interdisciplinar para o Ensino Médio que integra química, física, biologia e tecnologia. A experiência consiste em detectar a formação de carbonato de cálcio a partir do CO_2 expirado pelos alunos, utilizando sensores ópticos conectados a um Arduino. A atividade promoveu aprendizagem ativa, análise de dados e compreensão integrada de fenômenos científicos.

Palavras-chave: Arduino, interdisciplinaridade, ensino de ciências, sensores, aprendizagem ativa.

INTRODUÇÃO

A educação científica enfrenta hoje o desafio de desenvolver, nos estudantes, competências que extrapolam a memorização de conteúdos, como pensamento crítico, resolução de problemas, criatividade e colaboração. Embora amplamente reconhecida, essa demanda ainda esbarra em práticas pedagógicas centradas na exposição teórica e em experimentos pouco conectados ao cotidiano dos alunos.

Este trabalho apresenta uma proposta interdisciplinar que integra química, física, biologia e tecnologia digital em uma experiência prática com sensores ópticos. Os alunos realizam a reação entre o dióxido de carbono, proveniente da respiração, e uma solução de hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), formando um precipitado de carbonato de cálcio ($CaCO_3$), que torna a solução turva. A turbidez é monitorada em tempo real por meio de um sensor LDR conectado a um microcontrolador Arduino, criando uma experiência de investigação ativa que alia conteúdo científico e instrumentação.

Em consonância com essa abordagem, Barak (2017) destaca a eficácia de ambientes de aprendizagem que combinam interações sociais e tecnologias digitais para engajar os alunos em práticas investigativas, fundamentadas no construtivismo social. Bahr (2024) reforça que experiências práticas envolvendo microcontroladores, como o Arduino, favorecem a percepção de conexões entre disciplinas em contextos interdisciplinares de STEM, sobretudo quando os alunos atuam diretamente na coleta e análise de dados. Nosso experimento traduz um fenômeno químico (formação de $CaCO_3$) em um sinal físico (diminuição da intensidade luminosa), possibilitando a análise computacional do processo — uma estratégia que promove tanto a compreensão conceitual quanto o desenvolvimento de competências investigativas.

Além disso, o experimento estabelece conexões importantes com a biologia. O dióxido de carbono utilizado na reação é resultado direto da respiração celular aeróbica, processo em que a glicose é oxidada pelas mitocôndrias, gerando energia, água e CO_2 como subproduto. Ao soprar na solução e observar sua turvação, os alunos são levados a compreender que o gás liberado por seus próprios corpos tem origem em processos bioquímicos celulares. Essa articulação favorece uma visão integrada dos sistemas biológicos, químicos e físicos, promovendo uma compreensão mais profunda do ciclo do carbono e da relação entre os fenômenos microscópicos e suas manifestações macroscópicas.

O uso do Arduino como ferramenta educacional tem ganhado destaque por sua versatilidade e acessibilidade. O microcontrolador pode ser integrado a sensores de luz, temperatura, som e gases, o que o torna uma plataforma poderosa para o ensino de ciências (Cakir e Guven, 2019). Akış (2023), em uma análise bibliométrica sobre o uso do Arduino na educação STEM, identificou que atividades de programação com essa plataforma não apenas favorecem a compreensão conceitual, mas também promovem habilidades como pensamento computacional, criatividade, trabalho colaborativo, estabelecimento de relações de causa e efeito e até mesmo empreendedorismo.

Ainda que seu uso esteja se expandindo, propostas que integram sensores a experimentos científicos contextualizados ainda são escassas. Morais e Araújo (2023), por exemplo, utilizaram sensores conectados a um Arduino para acompanhar a precipitação de sais

em soluções supersaturadas, detectando a diminuição da transmitância de luz por meio de um LDR. O sucesso desse tipo de experimento reforça o potencial da plataforma para o desenvolvimento de práticas investigativas de baixo custo e alto valor formativo.

Neste trabalho, propomos uma atividade de fácil implementação, em que os alunos acompanham, em tempo real, a turbidez resultante da reação entre CO_2 e $Ca(OH)_2$, utilizando sensores ópticos e programação com Arduino. A atividade proporciona uma experiência concreta de interdisciplinaridade, promovendo o desenvolvimento de habilidades de investigação, análise e resolução de problemas, alinhando-se às demandas contemporâneas de uma educação científica crítica, conectada e integradora.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado com turmas do Ensino Médio em uma escola particular da cidade de São Paulo, no contexto da disciplina interdisciplinar maker. A proposta integrou conteúdos de química (reações de neutralização e precipitação), física (óptica e sensores) e fundamentos de eletrônica e programação com Arduino. Os alunos participaram ativamente da montagem dos circuitos, da execução da reação e da coleta de dados, conforme uma abordagem investigativa e construtivista.

Materiais utilizados:

Solução de hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) a 0,01mol/L;

Canudos plásticos (um por aluno, para sopro controlado);

Béqueres de vidro (250 mL);

Fonte de luz LED branca de 5 mm;

Resistor de 330 Ω (associado ao LED);

Sensor LDR (fotoresistor);

Resistor de 10 kΩ (associado ao LDR);

Placa Arduino Uno R3;

Protoboard e fios jumper;

suporte de madeira para o led e ldr.

Procedimento experimental:

Preparou-se a solução de $Ca(OH)_2$ a 0,01 mol/L, previamente deixada em repouso para permitir decantação de impurezas. O sobrenadante foi utilizado, garantindo maior transparência inicial.

Os alunos encheram o béquer com 100 mL da solução.

Um LED foi fixado de um lado do béquer e o LDR, do lado oposto, de modo que a luz incidisse diretamente sobre o sensor. O conjunto foi estabilizado com o auxílio de um suporte de madeira, conforme a figura1.

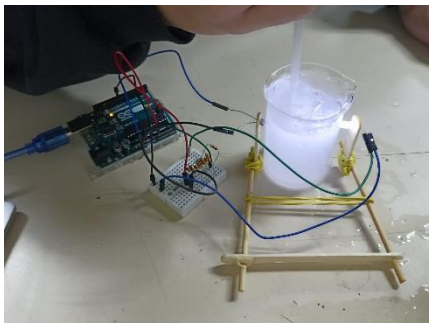

Figura1: Montagem do aparato instrumental

O LED foi conectado a um pino digital do Arduino, com resistor de 330 Ω em série, alimentando a luz de forma constante.

O LDR foi conectado ao pino analógico A0 do Arduino, formando um divisor de tensão com o resistor de 10 kΩ, conforme esquema apresentado na figura 2.

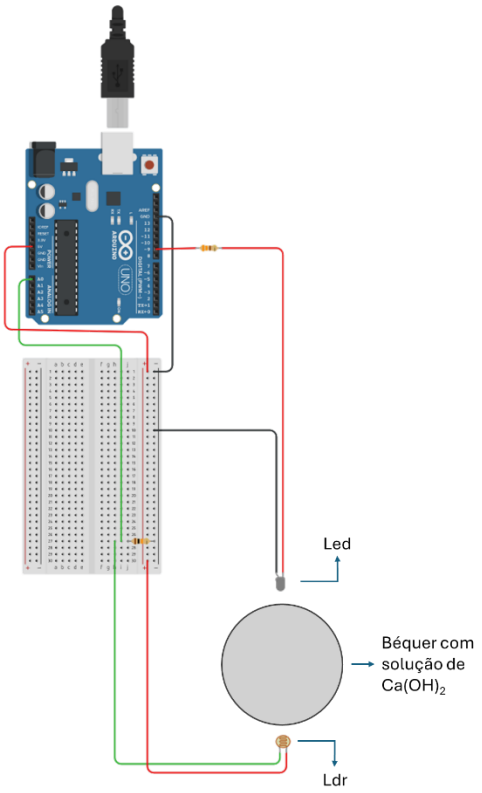

Figura 2: Esquema das conexões eletrônicas

Os alunos sopraram lentamente no interior da solução com o canudo, durante cerca de 60 segundos, fornecendo CO_2 da respiração.

A formação de $CaCO_3$ provocou turvação progressiva da solução. Essa turbidez reduziu a quantidade de luz recebida pelo LDR, alterando a tensão lida pelo Arduino.

O código carregado na placa fazia leituras periódicas da entrada analógica, com intervalo de 1 segundo, e registrava os dados em monitor serial.

A seguir, apresenta-se o código carregado na placa Arduino Uno, note que o código foi escrito com muitos comentários para que os alunos pudessem ler o código e entender cada parâmetro. O programa realiza a leitura do sensor LDR, converte o valor para uma estimativa percentual de turbidez e exibe os resultados organizados no monitor serial. Os parâmetros foram calibrados empiricamente pelos alunos, com base nos valores medidos com solução clara e completamente turva.

Código utilizado:

```
// CONFIGURAÇÃO INICIAL
// Definição dos pinos (constantes que não mudam)
const int PINO_LED = 9;       // LED conectado ao pino digital 9
const int PINO_LDR = A0;      // LDR conectado ao pino analógico A0
// Variáveis para calibração (ajustar conforme teste experimental)
const int LDR_AGUA_LIMPA = 850;  // Valor lido com solução limpa
const int LDR_AGUA_TURVA = 150;      // Valor lido com solução completamente opaca
// FUNÇÃO SETUP
void setup() {
 // Inicia a comunicação serial (para exibir resultados)
  Serial.begin(9600);
  // Configura o pino do LED como SAÍDA
  pinMode(PINO_LED, OUTPUT);
  // Liga o LED (iluminação constante)
  digitalWrite(PINO_LED, HIGH);
  // Mensagem inicial de boas-vindas

Serial.println("============================================");
  Serial.println("  MEDIDOR DE TURBIDEZ - INICIADO  ");

Serial.println("============================================");
  Serial.println("Instruções:");
  Serial.println("1. Para calibrar: ajuste LDR_AGUA_LIMPA e LDR_AGUA_TURVA");
  Serial.println("2. Leitura atual:");
  Serial.println("Valor LDR | Turbidez (%)");
  Serial.println("----------------------");
}
// FUNÇÃO LOOP (PRINCIPAL)
void loop() {
  // 1. Lê o valor do LDR (0 a 1023)
  int valorLDR = analogRead(PINO_LDR);
   // 2. Converte para porcentagem de turbidez
  // map(in, in_min, in_max, out_min, out_max) - converte escalas
  // constrain() - garante que o valor fique entre 0 e 100
  int turbidez = map(valorLDR, LDR_AGUA_LIMPA, LDR_AGUA_TURVA, 0, 100);
  turbidez = constrain(turbidez, 0, 100);
   // 3. Exibe os resultados no Monitor Serial
  Serial.print(valorLDR);       // Valor bruto do LDR
  Serial.print("\t|\t");          // Tabulação para organização
  Serial.print(turbidez);          // Turbidez em porcentagem
  Serial.println("%");         // Nova linha
   // 4. Aguarda 1 segundo para próxima leitura
  delay(1000);
}
```

Instrumento de avaliação formativa

Ao final da atividade experimental, os alunos responderam individualmente a um questionário com questões abertas, desenvolvido com o objetivo de avaliar a compreensão dos conceitos envolvidos na experiência. As perguntas abordavam três dimensões:

Química e biologia: identificação e descrição das reações químicas envolvidas, com foco na respiração

celular, hidratação do CO_2 e precipitação do carbonato de cálcio;

Física e eletrônica: funcionamento do sistema óptico (LED + LDR), diferenças entre portas digitais e analógicas no Arduino, e interpretação dos comandos do código;

Aplicação prática e transferência de conhecimento: identificação de possíveis usos reais do sistema desenvolvido.

O questionário também incluiu questões que exigiam interpretação do código-fonte, compreensão da função de comandos como Serial.println() e delay(), além de extrapolações do tipo "o que aconteceria se...". As respostas foram analisadas qualitativamente e utilizadas como base para discussão do potencial pedagógico e interdisciplinar da atividade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comportamento experimental dos dados ópticos

Durante o experimento, os alunos realizaram uma calibração inicial do sistema óptico. A leitura mínima foi definida com o sensor LDR completamente coberto (valor próximo de 150), e a máxima foi medida com a solução ainda límpida (valor em torno de 850), utilizando esses limites para mapear a turbidez de 0% a 100%. Como a solução de hidróxido de cálcio, mesmo decantada, não é completamente transparente, a leitura inicial resultava em turbidez próxima de 10%, valor tomado como referência para o ponto de partida da reação.

A Figura 3 representa um gráfico com base nos valores típicos observados durante a atividade, ilustrando a variação da turbidez ao longo do tempo. É possível identificar três fases distintas:

Fase inicial (0–20 s): a turbidez permanece praticamente constante, com valores entre 10% e 15%, indicando que o CO_2 expirado ainda não havia alterado significativamente o sistema;

Fase de incremento (20–45 s): a curva mostra um aumento acentuado da turbidez, alcançando cerca de 65% — momento associado à formação mais intensa de $CaCO_3$ em suspensão;

Fase de estabilização (45–60 s): a turbidez atinge um patamar próximo de 70%, permanecendo estável nos minutos seguintes.

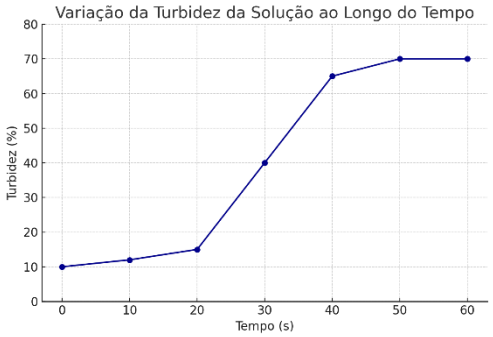

Figura 3. Variação da turbidez da solução ao longo do tempo durante a reação de carbonatação.

Esse comportamento é coerente com o tempo necessário para a dissolução do CO_2 e subsequente formação do ácido carbônico, seguido da reação com os íons Ca^{2+}. A estabilização pode indicar tanto a limitação na solubilidade do gás quanto a saturação do sistema químico. A fase de retardo inicial (lag) foi discutida com os alunos como reflexo da cinética da dissolução do CO_2 na água, da difusão até os íons hidroxila, e da formação efetiva do precipitado.

O comportamento da curva variou entre os grupos, refletindo diferenças no tempo e intensidade do sopro. Em alguns casos, observou-se um platô após 40–60 segundos, sugerindo saturação do sistema. Esse comportamento foi discutido com os alunos como consequência da diminuição da solubilidade do CO_2 ou da limitação óptica do arranjo.

Análise pedagógica: compreensão interdisciplinar

O questionário aplicado ao final da atividade revelou um nível elevado de compreensão dos fenômenos envolvidos, especialmente no que diz respeito à integração entre biologia, química e eletrônica.

Na primeira pergunta, os alunos foram convidados a descrever e balancear três reações:

(a) Respiração celular:

$$C_6H_{12}O_6+6O_2\rightarrow 6CO_2+6H_2O$$

A maioria dos grupos reconheceu que o CO_2 expirado durante o sopro é um subproduto metabólico.

(b) Hidratação do CO_2:

$$CO_2+H_2O\rightleftharpoons H_2CO_3$$

Alguns grupos indicaram corretamente a formação do ácido carbônico, associando-a à acidificação da solução.

(c) Neutralização com hidróxido de cálcio:

$$H_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 + 2H_2O$$

A reação final, de precipitação, foi bem compreendida e citada como causa da turbidez.

Na segunda pergunta, a distinção entre portas analógicas (ex.: A2) e portas digitais (ex.: 2) foi corretamente explicada por vários alunos: enquanto as portas digitais só identificam valores binários (0 ou 1), as analógicas permitem leitura contínua de tensão, fundamental para o LDR.

A terceira questão, sobre o funcionamento do sistema óptico com LED e LDR, foi respondida com explicações que relacionavam a passagem da luz através da solução ao valor de resistência do sensor. Essa compreensão indicou assimilação do conceito de turbidez como um parâmetro físico mensurável por variação de luz.

As questões quatro e cinco, envolvendo o comando Serial.println() e o delay(), foram importantes para avaliar o grau de compreensão do código. Os alunos demonstraram reconhecer o Serial.println() como ferramenta de monitoramento e calibração, e o delay() como controlador do intervalo entre leituras. Alguns propuseram testes com intervalos menores para aumentar a resolução temporal do experimento.

Por fim, a pergunta sobre aplicações reais gerou respostas diversas e criativas. Destacaram-se exemplos como:

controle da qualidade da água em estações de tratamento (monitoramento de turbidez);

sistemas para avaliar a presença de dióxido de carbono em ambientes fechados;

sensores ambientais para avaliar os níveis de dióxido de carbono em estufas.

Ganhos educacionais e limitações técnicas

Do ponto de vista pedagógico, a atividade foi eficaz em promover aprendizagem significativa, engajamento e interdisciplinaridade. Os alunos se envolveram desde a montagem do sistema até a interpretação dos dados, desenvolvendo competências de planejamento experimental, raciocínio lógico, análise gráfica e comunicação científica.

Como limitações, destacaram-se:

Influência da luz ambiente nos sensores;

Dificuldade de fixar os componentes ópticos de modo estável sem uma estrutura rígida;

Tempo limitado para comparações mais sistemáticas entre grupos.

Esses desafios foram discutidos em sala e, em alguns casos, os próprios alunos propuseram soluções, como montar uma “caixa preta” em papelão ou usar um LED laser como fonte luminosa mais direcional.

CONCLUSÃO

A proposta apresentada demonstrou ser uma alternativa eficaz e inovadora para promover a aprendizagem interdisciplinar no Ensino Médio, integrando conceitos de química, física, biologia e tecnologia digital. Ao acompanhar, com sensores ópticos conectados ao Arduino, a reação entre dióxido de carbono e hidróxido de cálcio, os alunos puderam visualizar e quantificar um processo químico a partir de fenômenos biológicos diretamente ligados à sua própria respiração.

Além de proporcionar o entendimento de conceitos como precipitação, turbidez e transmissão de luz, a atividade permitiu a análise crítica de dados, a interpretação de gráficos, a leitura de código em linguagem C++ e a compreensão de elementos básicos de instrumentação científica. A inserção de um questionário ao final da prática ampliou o alcance pedagógico, permitindo identificar o nível de apropriação conceitual dos alunos e estimulando conexões com aplicações do mundo real.

Do ponto de vista técnico, a atividade se destacou por sua simplicidade, baixo custo e adaptabilidade. O sistema proposto pode ser facilmente replicado em outros contextos escolares, inclusive com ajustes no tipo de sensor, na fonte luminosa ou nos parâmetros de calibração, conforme os objetivos pedagógicos.

Mais do que um experimento isolado, a prática relatada neste trabalho exemplifica o potencial das abordagens baseadas em projetos investigativos para desenvolver competências do século XXI e tornar a ciência mais próxima, tangível e significativa para os estudantes.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Colégio FECAP pelo apoio institucional e pela valorização de práticas pedagógicas interdisciplinares. Agradecemos também aos alunos participantes pela curiosidade, dedicação e entusiasmo demonstrados durante a realização do experimento. Este trabalho foi possível

graças ao compromisso coletivo com uma educação científica inovadora e significativa..

REFERÊNCIAS

AKIŞ, Aybüke Pabuçcu. Using Arduino in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education: Bibliometric Analysis. Science Education International, [S.l.], v. –, 2023.

BARAK, Miri. Science Teacher Education in the Twenty-First Century: a Pedagogical Framework for Technology-Integrated Social Constructivism. Research in Science Education, v. 47, p. 283–303, 2017. DOI: 10.1007/s11165-015-9501-y.

BAHR, Tobias. Where is the Interdisciplinarity? Insights of interdisciplinary STEM students'. In: IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2024, Stuttgart. Proceedings [...]. IEEE, 2024. DOI: 10.1109/EDUCON60312.2024.10578648.

CAKIR, N. K.; GUVEN, G. Arduino-assisted robotic and coding applications in science teaching: Pulsimeter activity in compliance with the 5E learning model. Science Activities, v. 56, n. 2, p. 42–51, 2019.

MORAIS, Carla; ARAÚJO, José L. An Alternative Experimental Procedure to Determine the Solubility of Potassium Nitrate in Water with Automatic Data Acquisition Using Arduino for Secondary School: Development and Validation with Pre-Service Chemistry Teachers. Journal of Chemical Education, v. 100, n. 2, p. 774–781, 2023. DOI: 10.1021/acs.jchemed.2c00615.