



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E EDUCAÇÃO

PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL

JOSÉ AÍRTON MESQUITA PINTO

**ENSINO INVESTIGATIVO DE QUÍMICA COM ARDUINO: ABORDAGEM DA
CONVERSÃO DE GASES EM CATALISADORES AUTOMOTIVOS**



UBERABA-MG

2026

JOSÉ AÍRTON MESQUITA PINTO

**ENSINO INVESTIGATIVO DE QUÍMICA COM ARDUINO: ABORDAGEM DA
CONVERSÃO DE GASES EM CATALISADORES AUTOMOTIVOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional (PROFQUI), área de concentração Química, da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Linha de Pesquisa: Química ambiental e energia.

Orientadora: Profa. Dra. Sandra Cristina Dantas

UBERABA-MG

2026

**Catálogo na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do
Triângulo Mineiro**

P728e Pinto, José Airton Mesquita
Ensino investigativo de química com arduino: abordagem da conversão de gases em catalisadores automotivos / José Airton Mesquita Pinto. -- 2026.
98 f. : il., fig., graf., tab.

Dissertação (Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional) --
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2026
Orientadora: Profa. Dra. Sandra Cristina Dantas

1. Química - Estudo e ensino. 2. Arduino (Controlador programável). 3. Catalisadores. 4. Cinética química. 4. Gases. I. Dantas, Sandra Cristina. II. Universidade Federal do Triângulo Mineiro. III. Título.

CDU 54 (07)

JOSÉ AÍRTON MESQUITA PINTO

**ENSINO INVESTIGATIVO DE QUÍMICA COM ARDUINO: ABORDAGEM DA
CONVERSÃO DE GASES EM CATALISADORES AUTOMOTIVOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Ciências Exatas, Naturais e Educação (ICENE/UFTM), Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI/UFTM-Uberaba), como requisito para obtenção do título de Mestre em Química.

Linha de pesquisa: LP2 - Química ambiental e energia

Orientadora: Profa. Dra. Sandra Cristina Dantas

Uberaba, 09 de fevereiro de 2026

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Sandra Cristina Dantas
Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Prof. Dr. Ricardo Francisco Pires
Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Prof. Dr. Ronni Geraldo Gomes de Amorim
Universidade de Brasília



Documento assinado eletronicamente por **SANDRA CRISTINA DANTAS, Professor do Magistério Superior**, em 09/02/2026, às 15:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 215, de 16 de julho de 2024](#).



Documento assinado eletronicamente por **RICARDO FRANCISCO PIRES, Professor do Magistério Superior**, em 09/02/2026, às 15:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 215, de 16 de julho de 2024](#).



Documento assinado eletronicamente por **RONNI GERALDO GOMES DE AMORIM, Usuário Externo**, em 10/02/2026, às 16:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 215, de 16 de julho de 2024](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.uftm.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1709776** e o código CRC **2DE0C021**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que me ajudaram nesta empreitada, especialmente aos meus filhos Felipe e Fernanda, por constituírem fonte de muitas inspirações de vida. Embora o convívio não seja tão intenso, eles, juntamente com minha adorada mãe, Sr.^a Gerarda, sempre foram os melhores exemplos de seres humanos, ensinando-me a ser uma pessoa mais justa e honesta.

Agradeço à Universidade Federal do Triângulo Mineiro pela formação profissional e ética que obtive ao longo destes últimos dois anos, período em que construí amizades e vivi alegrias e conquistas. Foram dois excelentes anos de aprendizado e de transformação profissional.

Sou grato também à Capes pela bolsa de mestrado, tão importante para muitos que se dedicam a educação em todo o país.

Registro minha gratidão à minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Sandra Cristina Dantas, pela constante disponibilidade em me auxiliar na realização deste estudo.

Agradeço, ainda, a todos os professores que contribuíram de forma significativa para minha formação e aos estudantes que se prontificaram a participar dessa pesquisa.

Por fim, deixo um agradecimento especial ao meu ex-aluno, Leandro Madureira, grande amigo, que esteve ao meu lado e me ajudou de forma generosa e dedicada em parte significativa deste projeto de pesquisa.

RESUMO

Este estudo apresenta os resultados de uma investigação no ensino de Química, desenvolvida e ancorada nos objetos de conhecimento relacionados às conversões dos gases que ocorrem nos catalisadores automotivos e que são contemplados pelo estudo da cinética química. Entre seus fundamentos destacaram-se os princípios das atividades investigativas que são empregadas na Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) em uma perspectiva que incluiu, para esse fundamento, a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS). O estudo também teve uma abordagem CTSA, com sustentação na mediação da aprendizagem, proposta por Vygotsky. A pesquisa apresentou um mecanismo de monitoramento dos gases relacionados aos catalisadores e ao mesmo tempo analisou os impactos na aprendizagem dos estudantes. Para isso, incluiu atividades práticas com destaque para o uso do Arduino — plataforma de hardware e software que viabilizou as experimentações voltadas à análise da emissão de gases nos sistemas de exaustão de motores a combustão. Os resultados evidenciaram que a integração entre ABP e CTSA, aliadas ao uso de ferramentas tecnológicas, como o Arduino na mediação da aprendizagem, possibilitaram a consolidação de conhecimentos que foram qualificados segundo a compreensão de conceitos apropriados pelo público-alvo. Portanto, o bom resultado avaliativo demonstrou que a estratégia é promissora para o ensino de Química, preenchendo possíveis lacunas existentes. No entanto, é importante acenar para a necessidade de novos estudos avaliativos, usando a metodologia adotada em diferentes contextos de aprendizagem, para aferir sua efetividade na educação científica.

Palavras-chave: arduino; catalisadores automotivos; cinética química; gases.

ABSTRACT

This study presents the results of an investigation in the teaching of Chemistry, developed and anchored in the objects of knowledge related to the conversions of gases that occur in automotive catalysts and that are contemplated by the study of chemical kinetics. Among its fundamentals, the principles of investigative activities that are employed in Problem-Based Learning (PBL) stood out in a perspective that included, for this foundation, the Theory of Meaningful Learning (TML). The study also had a CTSA approach, based on the mediation of learning, proposed by Vygotsky. The research presented a mechanism for monitoring the gases related to the catalysts and at the same time analyzed the impacts on student learning. To this end, it included practical activities with emphasis on the use of Arduino — a hardware and software platform that enabled experiments aimed at analyzing gas emissions in combustion engine exhaust systems. The results showed that the integration between PBL and CTSA, combined with the use of technological tools, such as Arduino in the mediation of learning, enabled the consolidation of knowledge that was qualified according to the understanding of concepts appropriated by the target audience. Therefore, the good evaluation result demonstrated that the strategy is promising for the teaching of Chemistry, filling possible existing gaps. However, it is important to point to the need for new evaluative studies, using the methodology adopted in different learning contexts, to assess its effectiveness in science education.

Keywords: arduino; automotive catalysts; chemical kinetics; gases.

LISTA DE FIGURAS/ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Conversor catalítico	20
Figura 2- Estrutura básica e localização do catalisador num veículo automotivo.....	21
Figura 3- Diagrama: A interconexão entre CTSA e a Teoria de aprendizagem de Ausubel.....	25
Figura 4 - Diagrama da aprendizagem como processo de construção de significados	26
Figura 5 - Ilustração de um circuito para medição de gases.....	31
Figura 6 - Programação IDE – Arduino.....	35
Figura 7 - Etapas de testes da programação	36
Figura 8- Etapas da prototipagem.....	36
Figura 9- Coleta de dados (realização do experimento)	43
Figura 10 - Gráfico de respostas (pergunta 13) referente às representações que os estudantes têm familiaridade.	49
Figura 11 - Gráfico de respostas (pergunta 14) referente ao conhecimento dos estudantes frente as alternativas aos catalisadores automotivos para a redução da poluição veicular.	49
Figura 12 - Registro de aulas expositivas.....	50
Figura 13- Gráfico das medidas do KR1000	51
Figura 14 – Gráfico das medidas dos sensores do Arduino.....	52
Figura 15 - Gráfico das medidas dos sensores do Arduino (Coluna)	52
Figura 16 - Gráfico de respostas subjetivas (Questão 11)	56
Figura 17 - Gráfico de respostas subjetivas (Questão 12)	56
Figura 18- – Representação gráfica comparativa das medidas.....	59
Figura 19 - Gráfico das medidas dos sensores do Arduino (gases em UA e tempo em minutos)	60
Figura 20 - Distribuição percentual das respostas esperadas por questão	62
Figura 21 - Evolução da percepção dos estudantes acerca do catalisador automotivo	65
Figura 22 - Valores comparativos de CO e CO ₂ medidos.	67
Figura 23 - Representação das transformações gasosas.	69
Figura 24 - Elementos utilizados nos OPs.....	69
Figura 25 - Principais abordagens do estudo dirigido.	70
Figura 26 - Síntese das respostas fornecidas pelos estudantes	70

LISTA DE QUADROS/TABELAS

Quadro 1 - Lista de componentes do Protótipo eletrônico	37
Quadro 2 - Esboço da sequência didática	38
Quadro 3 - Procedimento experimental	45
Quadro 4 - Dados obtidos nas perguntas referentes aos conhecimentos prévios dos estudantes.	47
Quadro 5 - Conhecimentos prévios dos estudantes referentes à pergunta 11 (Você acha que os catalisadores automotivos têm um impacto positivo ou negativo no meio ambiente? Justifique sua resposta).	48
Quadro 6 - Conhecimentos prévios dos estudantes referentes à pergunta 12 (Você conhece algum problema ambiental associado ao uso de catalisadores automotivos? Se sim, descreva).	48
Quadro 7 - Principais indicativos relacionados aos subsunçores.	54
Quadro 8 - Resultados do questionário.....	61
Quadro 9 - Indicadores de aprendizagem segundo as respostas dadas.	64
 Tabela 1 - Dados experimentais.....	 51

LISTA DE SIGLAS

ABP – Aprendizagem Baseada em Problemas

AI – Atividade(s) Investigativa(s)

CEP – Conselho de Ética em Pesquisa

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CTS – Ciência, Tecnologia e Sociedade

CTSA – Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente

EA – Educação Ambiental

EJA – Educação e Jovens e Adultos

IDE - Ambiente de Desenvolvimento Integrado

LCD - Liquid Crystal Display (Display de Cristal Líquido)

OP – Organizadores Prévios

PCI - Placa de Circuito Impresso

PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

SD – Sequência(s) Didática(s)

TAS – Teoria da Aprendizagem Significativa

TCLE – Termo de Consentimento Livre Esclarecido

TMV – Teoria da Mediação de Vygotsky

TRI – Teoria de Resposta ao Item

UA – Unidade Arbitrária

ZDI – Zona de Desenvolvimento Iminente

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.1.1 Atividades Investigativas como possibilidades didáticas.....	14
1.1.2 Objetivos	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 O CATALISADOR AUTOMOTIVO COMO RECURSO NA CONTEXTUALIZAÇÃO DA APRENDIZAGEM.....	18
2.2 CIÊNCIA, TECNOLOGIA, SOCIEDADE E AMBIENTE INTERCONECTADAS ÀS TEORIAS DA APRENDIZAGEM.....	22
2.3 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NO CONTEXTO SOCIAL E CIENTÍFICO.....	24
2.4 MEDIAÇÃO DA APRENDIZAGEM COM ARDUINO NA PERSPECTIVA VYGOTSKIANA	27
2.5 TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO CIENTÍFICA: O ARDUINO COMO FERRAMENTA PEDAGÓGICA	29
2.6 BREVE REVISÃO DA LITERATURA: ARDUINO NA MEDIAÇÃO DO ENSINO E NA EXECUÇÃO DE PROJETOS.....	31
3. MÉTODOS E MATERIAIS	34
3.1 PROGRAMAÇÃO IDE (ARDUINO).....	34
3.2 PROTOTIPAGEM	36
3.3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	38
3.4 ATIVIDADE INVESTIGATIVA: ANÁLISE DOS GASES DO ESCAPAMENTO VEICULAR	42
3.5 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	45
4. RESULTADOS.....	47
4.1 LEVANTAMENTO DOS SUBSUNÇORES.....	47
4.2 DADOS EXPERIMENTAIS	50
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
5.1 DIAGNÓSTICO DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS (SUBSUNÇORES).....	54
5.2 ANÁLISE DO EXPERIMENTO E DOS IMPACTOS NA APRENDIZAGEM.....	58
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
ANEXO A - PEDIDO DE AUTORIZAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DE PESQUISA	81
ANEXO B - OFÍCIO DE SOLICITAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DE PESQUISA.....	82
ANEXO C – CARTA DE ANUÊNCIA	83
APÊNDICE A - SUGESTÃO DE USO DO PROTÓTIPO EM OUTRO CONTEXTO DE ENSINO.....	85

APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO – LEVANTAMENTO DE SUBSUNÇORES.....	88
APÊNDICE C – RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO/AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA DA APROPRIAÇÃO DOS CONHECIMENTOS	92
APÊNDICE D - ESTUDO DIRIGIDO	97
APÊNDICE E – PRODUTO EDUCACIONAL	100

1. INTRODUÇÃO

A Educação em ciências, especialmente no campo da Química, tem passado por uma complexa relação entre teoria e prática. O excesso de aulas teóricas desvinculadas de aulas práticas, resultam em consequentes falhas de aprendizagens pelos estudantes (Rocha e Vasconcelos, 2016). As pesquisas que se relacionam a este tema têm buscado transpor as barreiras existentes, configuradas, sobretudo, no distanciamento comportamental dos estudantes frente aos objetos de conhecimentos científicos. Nota-se, em decorrência disso, diversas dificuldades de aprendizagem. Entre elas, destacam-se as compreensões de conceitos fundamentais da Química, como o entendimento de que essa área do conhecimento estuda a matéria, considerando sua constituição, propriedades, transformações e as energias envolvidas nesses processos de transformação.

Com intuito de minimizar impactos de aprendizagem dessa natureza, os docentes precisam focar em seus trabalhos aspectos relacionados a melhoria das metodologias de ensino, como a inserção de recursos e ferramentas que visem, entre outros objetivos, estimular o interesse dos estudantes (Batista; Júnior, 2023).

Santos e Mortimer (2009) afirmam que a didática tradicional não proporciona aos estudantes autonomia em sua própria aprendizagem. Observa-se, frequentemente no Ensino Médio, a falta de engajamento dos estudantes nas disciplinas de ciências exatas, em parte, isso é resultado de abordagens unilaterais, passivas e descontextualizadas. Embora que o desinteresse dos estudantes não pode ser atribuído exclusivamente ao professor, pois envolve também fatores individuais, sociais e institucionais que influenciam o processo de aprendizagem. Essas características impactam na aprendizagem, levando, sobretudo a compreensões superficiais do conhecimento. Diante do reconhecimento desse contexto, torna-se necessário, por parte dos docentes, explorar novas estratégias de ensino que conectem os conceitos científicos estudados à realidade dos estudantes.

Considerando essa realidade, o presente estudo teve o propósito de implementar uma metodologia de ensino, baseada na identificação dos gases provenientes da combustão que ocorre nos motores dos veículos e na compreensão das conversões que eles sofrem. Para alcançar tal finalidade, delineou-se uma proposta pedagógica, diferenciada, na qual se procurou dialogar com outras realidades dos estudantes, nem sempre cotidianas, mas que pudesse impactar significativamente nas aprendizagens de conceitos científicos. Portanto, com essa iniciativa se buscou responder à problemática mencionada, incluindo e aproximando a teoria com a prática. Nesse sentido, pretendeu-se valorizar o ensino por investigação. Para viabilizar

essa proposta, inseriu-se objetos que pudessem ser os mediadores da aprendizagem, o Arduino e os catalisadores automotivos, cuja inserções tiveram como propósito fortalecer e contemplar a prática investigativa no processo de ensino.

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto, destinada a facilitar o desenvolvimento de projetos interativos, permitindo o controle de dispositivos eletrônicos através de sensores, atuadores e microcontroladores baseados em uma programação. Essa ferramenta tem ganhado destaque pedagógico, permitindo a integração de conceitos teóricos com práticas experimentais, promovendo uma aprendizagem ativa e contextualizada (Nguyen *et al.*, 2024) e, fundamentalmente, incorporando linguagem de programação ao contexto dos estudantes da educação básica (Garcia e Marin, 2023), uma habilidade imprescindível para algumas áreas no mundo do trabalho na atualidade.

No caso do catalisador automotivo, sua inserção se justifica por se tratar de um dispositivo que desempenha reações químicas que possuem papel importante no estudo da Química, como é o caso das transformações gasosas que podem ser explorados no estudo da cinética química. Ele notadamente otimiza, facilita e acelera os respectivos processos. Esses dispositivos são utilizados em veículos automotores para diminuir a emissão de gases gerados por combustão interna (Brunetti, 2018). Isso ocorre em razão de sua propriedade, que é a conversão de gases tóxicos em outros, sendo estes, produtos da conversão, substâncias não prejudiciais à saúde humana, mas ainda assim, causam impactos negativos à sustentabilidade ambiental.

A utilização desses dois objetos (instrumentos), que, embora, não façam parte do cotidiano dos estudantes pode ressignificar o ensino de ciências, qualificando aprendizagens de conceitos estudados na Química. Deles, podem ser extraídas metodologias didáticas que auxiliam a aprendizagem pela problematização, logo, se observa que essa característica cria possibilidades de incentivar o ensino com o emprego da investigação (Carvalho, 2013; Ferreira *et al.*, 2024).

1.1 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento de atividades investigativas no ensino justifica-se pela necessidade de superar práticas meramente transmissivas e promover aprendizagens significativas. Ações desse tipo, engajam os estudantes em processos que visam a resolução de problemas, formulação de hipóteses, análise crítica e cria-se um ambiente que favorece a construção autônoma do conhecimento e o desenvolvimento de competências científicas (Strapasson *et al.*, 2022; Ferreira *et al.*, 2022; Ferreira *et al.*, 2023b).

1.1.1 Atividades Investigativas como possibilidades didáticas

O ensino de Química dedicado à formação de sujeitos críticos e atuantes requer ações contínuas de contextualização dos objetos de conhecimento. Sendo assim, para que elas sejam promissoras são necessárias boas estratégias, entre elas, a adoção de metodologias ativas, para que possam responder às questões da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), aliadas a Atividades Investigativas (AI) (Carvalho, 2013; Ferreira *et al.*, 2024). Essa combinação pela possibilidade de apropriação temática, contextualização, interação, produção autoral, participação ativa nos processos de formulação de problemas e hipóteses, tomada a análise de dados e ampliação da autonomia, incentivam os estudantes à busca de uma aprendizagem colaborativa, criativa, reflexiva e crítica com o intuito de resolver problemas reais (Strapasson *et al.*, 2022; Ferreira *et al.*, 2022; Ferreira *et al.*, 2023b). Isso enriquece a compreensão e a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos (Ferreira *et al.*, 2023b). De maneira complementar, as metodologias ativas, as ABP e as AI subsidiam processos de ensino-aprendizagem em ciências, que frequentemente enfrentam desafios, muitos dos quais em virtude da precariedade de fundamentação teórica, adequação metodológica e recursos.

No caso específico das AI, a insuficiência dos recursos limita a possibilidade de realização de aulas experimentais na vertente clássica (eminentemente laboratorial). No ensino de Química, os fenômenos são fundamentais para a aprendizagem, de modo que a limitação de espaços e tempos curriculares adequados, com segurança, equipamentos e insumos, prejudica significativamente os processos de apropriação científica.

Diante dessa situação, os professores são estimulados a ressignificar, a partir de soluções criativas, o uso do laboratório e da experimentação em suas aulas. Para isso valem-se de alternativas como: aparatos experimentais de baixo custo, demonstrações e simulações digitais. Essas ações ainda que necessárias e dignas de enorme consideração pela resistência de professores às contingências estruturais, precisa ser tomada como consequência de um cenário de desvalorização, insuficiência de recursos e precarização de Educação Básica, reflexão que já vem sendo feita ao longo de anos (Borges, 2002) e que precisa estar às vistas de um professor que se pretende intelectual em seu campo de atuação.

Para contornar as limitações dos recursos e amenizar os prejuízos nos processos de ensino-aprendizagem delas decorrentes, pretende-se enfatizar o uso de metodologias que se aproximem ao máximo da ABP e viabilizada por AI. O intuito é testá-las em contexto típico para encontrar possibilidades de resistência aos problemas estruturais, ainda que esteja sempre presente a clarividência de que a solução só pode ser objeto de ações políticas articuladas.

No contexto do ensino de Química contemporâneo, em que se assiste à redução curricular, à precarização de infraestrutura escolar, à desvalorização das carreiras e salários, redução do sentido da educação formal em face da desilusão de estudantes, sobretudo aqueles de escolas públicas e periféricas, são essenciais a contextualização dos conhecimentos e a utilização de metodologias inovadoras, como a ABP e as AI. Nessa direção, Borges (2002) destaca a importância das atividades práticas no ensino de ciências, ele defende uma abordagem flexível em relação aos tradicionais roteiros experimentais utilizados nos laboratórios. O autor enfatiza que o foco deve estar na manipulação, nas interpretações e nas ideias dos estudantes. Segundo ele, essa abordagem promove a produção de conhecimento científico por meio de uma leitura sobre o espaço físico do laboratório de ciências. É o caso do uso de AI, que não necessariamente fazem uso de um experimento, mas de uma problemática que tenha propriedades cuja solução requeira processos investigativos – formulação de problema, descrição de objetivos, levantamento de hipóteses, configuração do aparato experimental, coleta de dados, análise de resultados, inclusive acurácia, precisão e erro de medidas, elaboração de gráficos e relatórios e verificação de achados.

O enfrentamento desses desafios tem demonstrado que a contextualização é um dos melhores recursos a serem empregados na abordagem dos conhecimentos de Química, uma vez que conecta a aprendizagem a situações vivenciais (Santos; Schnetzler, 2003) e experiências cotidianas. Essa contextualização ganha destaque na ABP já que ela promove uma abordagem educacional centrada no estudante (Munhoz, 2015) e ainda possibilita a implementação da interdisciplinaridade no ensino de Química (Costa; Quadra; Sousa, 2022), que está fundamentada no conceito de conhecimento em rede, promovendo a conexão dos territórios disciplinares sem anular suas especificidades.

Nesse contexto, a interdisciplinaridade é compreendida como a articulação entre diferentes áreas do conhecimento, permitindo o rompimento das barreiras epistemológicas que isolam as disciplinas (Cardoso *et al.*, 2017). Em vez de reduzir os campos de estudo, ela potencializa a compreensão global dos fenômenos, conectando saberes e ampliando a capacidade de análise crítica (Cardoso *et al.*, 2017). Ao integrar objetos de conhecimento de forma orgânica, a interdisciplinaridade no ensino de Química favorece uma aprendizagem mais significativa, onde a apropriação do conhecimento ocorre em diálogo e colaboração entre disciplinas. Isso permite que os estudantes vejam como os conhecimentos químicos são aplicáveis e relevantes em diversas áreas do conhecimento (Silva; Silva e Santos, 2025).

O reconhecimento e o enfrentamento das dificuldades por meio de soluções didáticas qualificadamente referenciadas, executadas e avaliadas, enriquece a compreensão e a aplicação

dos conhecimentos adquiridos. Adicionalmente, prepara os estudantes para desafios futuros, contribuindo para o desenvolvimento humano, pessoal e coletivo, seus aspectos sociais, econômicos e ambientais. As metodologias de ensino são partes integrantes do currículo; portanto, devem contemplar abordagens que priorizem a formação de cidadãos do mundo, que sejam críticos e contemporâneos da realidade científica, tecnológica, econômica e política em que estão inseridos, haja vista a urgência de tomadas de decisões ao nível planetário para o combate, por exemplo, às mudanças climáticas. Santos e Maldaner (2011) faz uma defesa com foco no currículo da educação em Química.

O compromisso da Educação Química implica que a construção curricular inclua aspectos formativos para o desenvolvimento de uma cidadania planetária. No ensino de Ciências, isso exige uma base de conteúdos articulados com questões relativas a aspectos científicos, tecnológicos, sociais, econômicos e políticos. (Santos e Maldaner, 2011, p. 141)

A relevância de uma imersão crítica nos currículos de Química reside na necessidade de análises mais abrangentes, que considerem o desinteresse dos estudantes pelo aprendizado em um contexto neoliberal em que as formas de exclusão e exploração se maximizam e incidem em todo o tecido social, com as mais diversas facetas. Isso requer intencionalidade e qualidade política e formal e organização na adoção de metodologias de ensino inovadoras e no desenho de instrumentos e indicadores de avaliação compatíveis.

1.1.2 Objetivos

Objetivo geral - Avaliar o potencial de aprendizagem em Química, a partir de uma atividade experimental baseada no estudo da conversão dos gases que ocorre nos catalisadores automotivos e que são provenientes da combustão interna da gasolina em motores, por meio de sensores conectados ao Arduino.

Objetivos específicos – Os objetivos específicos deste trabalho consistiram em ações coordenadas para implementar uma proposta pedagógica, cuja ação central baseou-se na inserção de uma atividade experimental de caráter investigativo. Logo, os objetivos específicos foram:

- Planejamento de um aparato experimental, que incluiu o catalisador automotivo.
- Programação usando o software do Arduino como uma das etapas metodológicas.
- Construção de um protótipo do Arduino.
- Quantificação dos gases emitidos na combustão da gasolina para abordar as inter-relações científicas, tecnológicas, sociais e ambientais envolvidas.

- Contextualizar o ensino de cinética química, com foco nas reações que ocorrem na presença do catalisador para ativar reações específicas.
- Implementar e aplicar uma Sequência Didática (SD) como suporte à atividade experimental, garantindo que o experimento seja realizado no momento mais adequado para potencializar a aprendizagem e investigar o processo de ensino-aprendizagem em cinética química.
- Avaliar o potencial do catalisador automotivo em uma abordagem CTSA no ensino de ciências.
- Aplicar uma avaliação diagnóstica e analisar seus resultados para identificar o nível de conhecimento dos estudantes sobre o uso do catalisador automotivo como recurso tecnológico.
- Fazer o planejamento pedagógico adaptado às realidades estruturais e de aprendizagem do público-alvo, ajustando-o segundo às necessidades e dificuldades de implementação da SD.
- Utilizar um protótipo do Arduino como ferramenta experimental, para a quantificação e o monitoramento dos gases catalisados da combustão.
- Analisar os resultados da quantificação dos diversos gases, por meio de gráficos, para estabelecer as relações dos avanços tecnológicos com os impactos ambientais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico que sustenta o desenvolvimento de atividades investigativas no ensino apoia-se em abordagens construtivistas e sociointeracionistas, que defendem a aprendizagem como processo ativo e contextualizado. Autores como Piaget e Vygotsky destacam a importância da problematização, da interação social e da autonomia intelectual na construção do conhecimento (Carvalho, 2013). Nesse sentido, a investigação no processo educativo favorece a compreensão significativa dos conteúdos, sobretudo na contribuição do desenvolvimento de competências cognitivas e sociais essenciais à formação crítica dos estudantes.

2.1 O CATALISADOR AUTOMOTIVO COMO RECURSO NA CONTEXTUALIZAÇÃO DA APRENDIZAGEM

As emissões de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não queimados e de óxidos de nitrogênio e de enxofre na combustão veicular sempre foram problemas de grandes impactos ambientais. Por esse motivo foram criados os catalisadores automotivos como solução para reduzir a poluição do ar provocada pelos carros. Segundo Rangel e Carvalho (2003), eles começaram a ser concebidos nos Estados Unidos, por volta dos anos cinquenta do século XX, após a criação de leis ambientais que obrigaram as montadoras a adotar tecnologias de controle da poluição.

Os esforços para empregar conversores catalíticos, no controle das emissões automotivas, datam da década de cinquenta. A maioria desses trabalhos foi direcionada para o mercado da Califórnia e focalizava os tipos de automóveis que possuíam os níveis mais elevados de emissões. Todavia, os conversores não foram comercializados, pois se observou que era mais econômico e conveniente modificar a carburação e a ignição e instalar componentes que reduzissem as emissões do motor. (Rangel e Carvalho, 2003).

A invenção do catalisador, capaz de tratar os três principais poluentes ao mesmo tempo, marcou uma revolução na indústria automotiva. Para que funcionassem, foi necessário eliminar o chumbo tetraetila ($\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$) da gasolina, mistura que teve início em 1922 (Pantaroto; Viera e Figueredo, 2007) já que ele inutilizava o dispositivo. No Brasil, foi criado pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) o Programa de controle de Poluição do ar por Veículos Automotores (PROCONVE¹), no qual se previu a obrigatoriedade do catalisador automotivo nos carros para o cumprimento de metas referentes à redução de emissões.

¹ Programa brasileiro que estabelece fases com limites crescentes de emissões veiculares, incentivando tecnologias limpas e reduzindo a poluição atmosférica.

A adoção dos catalisadores no Brasil foi um passo essencial para melhorar a qualidade do ar nas cidades, colocou o país em sintonia com os esforços de redução da poluição veicular. A partir de 1992, todos os carros novos a gasolina e a álcool passaram a sair de fábrica com catalisador, junto com a introdução da gasolina sem chumbo no país. Desde então, as fases previstas no programa vêm se tornando cada vez mais rígidas, aproximando o Brasil das normas internacionais. Nas décadas de 2000 e 2010, as reduções de limites de poluentes foram significativas, e hoje o país se prepara para a fase L8² (Montemor *et al.* 2022), prevista para 2025, que alinhará os padrões brasileiros ao Euro 6/7, utilizados na Europa (Porto *et. al.*, 2023).

Feitas as considerações acerca da legislação, é importante ressaltar a importância do uso dos catalisadores automotivos e a maneira como os conhecimentos científicos estão envolvidos na sua concepção. Visto que, na ausência de um catalisador adequado, algumas reações químicas, como a conversão dos gases, seriam lentas ou inviáveis. Particularmente, torna-se necessário nesse trabalho, classificá-los quanto a suas características, em homogêneos ou heterogêneos. Catalisadores homogêneos são aqueles que compartilham a mesma fase das substâncias reagentes, promovendo interações moleculares mais eficientes. Em contraste, catalisadores heterogêneos operam em uma fase distinta das espécies reagentes, tipicamente apresentando-se como sólidos em reações gasosas (Brown e Holme, 2019). Este tipo de catálise é frequentemente utilizado em processos industriais, nos quais a superfície sólida do catalisador proporciona sítios ativos que facilitam a adsorção e reação dos reagentes.

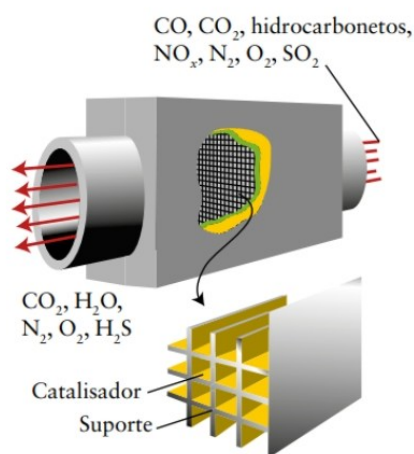
Cientificamente, um catalisador é uma substância que reduz a energia de ativação de algumas reações químicas, aumentando suas velocidades, sem que seja criado ou destruído no processo (Brown e Holme, 2019). Esse conceito é muito usado nos livros de química, mas tem uma abordagem superficial. A catálise heterogênea, em particular, é essencial em sistemas de controle de poluição, nos quais catalisadores sólidos são utilizados para converter gases tóxicos em substâncias menos nocivas. Para as reações em fase gasosa, o catalisador é usualmente uma superfície sólida. As duas tipificações de catálise são importantes nos processos atmosféricos (Brown e Holme, 2019).

A abordagem da atividade catalítica é desenvolvida por muitos autores. Apenas como uma formulação de partida, e sem pretensão de esgotar as possibilidades, segundo Atkins (2018, p. 407), o “[...] catalisador atua fornecendo um caminho de reação alternativo com uma energia de ativação menor” e enfatiza que “[...] um catalisador não altera a composição final de equilíbrio do sistema, mas modifica apenas a velocidade com que o sistema se aproxima do

² É a designação para a oitava fase do programa de controle de emissões para veículos leves.

equilíbrio". Exemplificando a catálise heterogênea, na qual “[...] o catalisador e os reagentes encontram-se em fases diferentes”, o autor sugere, como exemplo “[...] o uso de um sólido introduzido como um catalisador heterogêneo em uma reação em fase gasosa” (Atkins, 2018, p. 407). Muitos processos industriais fazem uso de catalisadores heterogêneos, – que incluem platina, ródio, zeólitas e vários óxidos metálicos. Contudo, sua utilização usualmente requer etapas adicionais de separação e tais catalisadores estão frequentemente imobilizados sobre um suporte; neste caso, tornam-se heterogêneos. Em geral, catalisadores heterogêneos são altamente seletivos e, para encontrar um catalisador apropriado, a reação tem de ser investigada individualmente (Atkins, 2018, p. 407).

Figura 1- Conversor catalítico



Fonte: ATKINS; Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente.

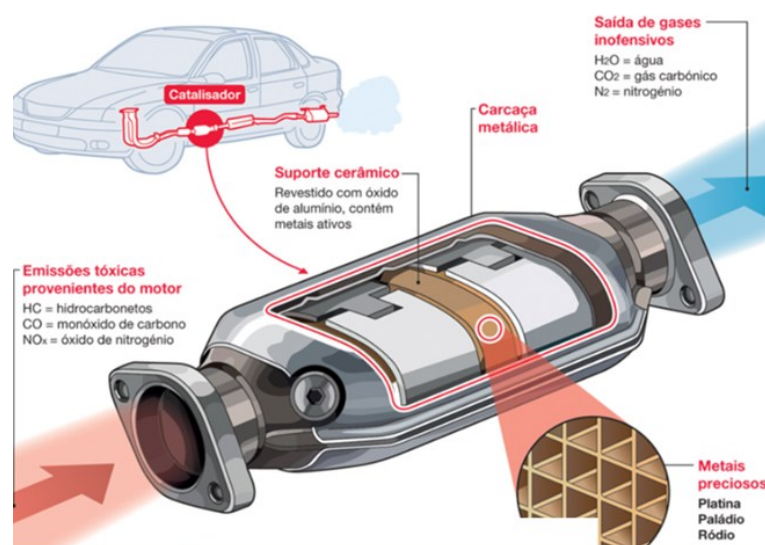
Esses aspectos constitutivos dos processos catalíticos reforçam seu potencial na contextualização e na compreensão de fenômenos químicos; notadamente, sua ocorrência em sistemas de exaustão de veículos (Heck e Farrauto, 2001), objeto cujo funcionamento é comumente notado pelos indivíduos, portanto, pode promover interesse e engajamento em processos de ensino-aprendizagem (Razuck e Razuck, 2020). Eles são projetados para reduzir a liberação de substâncias prejudiciais como monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não queimados e os diversos óxidos de nitrogênio (Ronald, 2001). A compreensão química do funcionamento dos catalisadores automotivos envolve a análise de reações químicas complexas e a utilização de materiais específicos que as facilitem (Gadiyar, Shah, e Joshi, 2017).

O catalisador automotivo, também chamado de conversor, é constituído de um suporte na forma de colmeia, em geral de material cerâmico (às vezes metálico) revestido de óxido de alumínio, $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{s})$, que recobre a colmeia. Nessa estrutura, é fixada a substância que atua, de fato como catalisadora. Em geral, são utilizadas finas camadas (com aproximadamente 1,5 gramas), de uma liga de paládio e ródio para os motores a gasolina ou de uma liga de paládio e

molibdênio para os motores a álcool (Correia e Cantanhede, 2020). Nos veículos flex, cujo motores admitem os dois combustíveis, a liga metálica deve conter os três metais, de maneira a permitir a conversão dos gases, qualquer que seja a fonte energética (Laskowski e Zimakowska, 2025).

A colmeia, é então, envolta por uma manta cerâmica termo expansiva, isto é, que isola termicamente o catalisador e oferece proteção mecânica à colmeia (Correia e Cantanhede, 2020). Em seguida, todo o conjunto – denominado conversor catalítico – é montado dentro de uma carcaça de aço inoxidável e instalado no cano de escape do automóvel (Figura 2).

Figura 2- Estrutura básica e localização do catalisador num veículo automotivo



Fonte: disponível em <https://www.forum.motorguia.net>. Acesso em 8 out. 2024.

Detalhando a estrutura básica dos catalisadores automotivos, verifica-se que a parte metálica ou cerâmica possui formato hexagonal. Nela (Figura 2), há revestimentos metálicos como platina (Pt), paládio (Pd) e ródio (Rh), que são os metais nobres que atuam como os principais agentes catalíticos (Baia *et al.*, 2020). Ainda acerca da parte cerâmica, ressalta-se que ela é um suporte formado pela cordierita, um mineral de silicato de magnésio e alumínio, com a fórmula química $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ (Baia *et al.*, 2020). O suporte é revestido por um material de alumina (Al_2O_3) e nele contém os metais catalíticos platina (Pt), paládio (Pd) e ródio (Rh). Segundo Baia *et al.* (2020), estão presentes no material alguns óxidos metálicos caracterizados como aditivos.

Os aditivos do suporte ajudam a manter a área superficial elevada, são utilizados em temperatura diversas e para separar gases de composições variáveis. Os aditivos também reduzem a sinterização do suporte. Os aditivos podem ser óxidos de lantânio (La), bário (Ba), cério (Ce) ou silício (Si). (Baia *et al.*, 2020, p. 2).

As considerações feitas até aqui acerca dos catalisadores automotivos, demonstram a possibilidade da realização de diversas abordagens pedagógicas, como as que se relacionam às suas constituições (estudo e propriedades da matéria), mas também abordagens dos aspectos sociais, tecnológicos e ambientais (Adams; Nunes, 2022). Nesse sentido, este objeto de estudo está em consonância com o tema central dessa pesquisa, isto é, trata-se de utilizá-lo como meio facilitador para a contextualização do ensino, especificamente da cinética química e da catálise. Portanto, buscou-se, ao explorá-lo, estabelecer uma relação direta entre a teoria científica que envolve o uso desses dispositivos com a prática no processo de ensino-aprendizagem.

2.2 CIÊNCIA, TECNOLOGIA, SOCIEDADE E AMBIENTE INTERCONECTADAS ÀS TEORIAS DA APRENDIZAGEM

No currículo escolar, a abordagem CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente) integra quatro elementos propiciadores do desenvolvimento de atividades, estas, por sua vez, buscam contemplar os conteúdos de maneira interdisciplinar, problematizadora e participativa para uma formação mais cidadã (Santos, 2011). Essa abordagem é particularmente interessante para o emprego de metodologias ativas em uma perspectiva de contextualização do ensino de ciências.

A adoção de abordagens CTSA enquanto estratégias pedagógicas, não se limita à incursão de conhecimentos científicos, adicionalmente, ela visa desenvolver a cognição como base para as competências e habilidades mais alinhadas ao pensamento criativo, reflexivo e crítico dos estudantes (Ferreira *et al.*, 2023b), sobretudo, os relacionados às aprendizagens socioambientais. É imprescindível no contexto escolar, ações que impactem significativamente a conscientização dos estudantes, para que estes desenvolvam a responsabilidade ambiental (Santos e Maldaner, 2011). Notadamente, esses aspectos são importantes diante dos graves problemas de eventos climáticos extremos a que se tem assistido em todo o mundo. Dessa maneira, interconectar os aspectos científicos, tecnológicos e sociais, se configura em conquistas humanas e pedagógicas. Portanto, na educação, é importante ensinar práticas ambientalmente sustentáveis, tendo em vista as emergências cotidianas (Santos e Maldaner, 2011).

Historicamente, a inserção da letra 'A' na sigla CTS surgiu de necessidades provenientes da observação de educadores. Segundo eles, a incorporação da Educação Ambiental (EA) ao CTS evidencia uma transição para uma abordagem mais abrangente das ações humanas, por vezes, danosas ao ambiente. Portanto, ela passou a ser parte integrante de uma vertente educacional que inicialmente se restringia apenas às siglas CTS (Ciência,

Tecnologia e Sociedade) nos currículos (Vilches; Peres e Praia, 2011). Tal inserção, trouxeram contribuições significativas. Por exemplo, no ensino de Química, Santos e Maldaner (2011) defendem fortemente a EA, pois criticam o modelo de desenvolvimento econômico que utiliza os recursos naturais de forma insustentável. Assim sendo, a junção atende à atualização das demandas da humanidade, que crescentemente requer maior conscientização e responsabilidade ambiental (Santos, 2011).

Entre as contribuições relevantes da abordagem CTSA, destaca-se o aumento das possibilidades no planejamento de aulas mais contextualizadas, visto que, a diversidade de temas favorece a criatividade docente, seja nas aulas de ciências ou ainda nas especificidades das aulas de Química (Santos e Maldaner, 2011). Outro aspecto que vale ser ressaltado, configurando-se como possível ganho pedagógico é envolvimento dos estudantes de forma mais autônoma na apropriação dos conhecimentos científicos, o que os tornam significativos.

O protagonismo dos estudantes no processo de ensino e aprendizagem é uma finalidade virtuosa, no entanto, esse fim, sem a temática da problematização, isto é, sem trazer novas situações nos contextos escolares, pode não ser efetivo (Zabala, 1998). Foi nesse contexto que se inseriu, neste estudo, materiais não muito comuns no cotidiano estudantil, isto é, pouco presentes, mas comuns e usuais na sociedade, capazes de conferir significados aos conceitos científicos (Razuck e Razuck, 2020). Por exemplo, como tema problematizador, o estudo do funcionamento dos catalisadores automotivos, usando o Arduino, tem o potencial de auxiliar os estudantes a se apropriarem de conhecimentos relevantes e significativos, que estão diretamente relacionados à abordagem científica, tecnológica e ambiental (Trindade e Silva, 2023).

Diante dessas variadas possibilidades de aprendizagem, torna-se evidente e viável analisar o desenvolvimento cognitivo, apoiado nas consagradas teorias de aprendizagem, a exemplo da TAS (Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel (1963) e a TMV (Teoria da Mediação de Vygotsky). Ambas possuem dimensões apropriadas para se analisar a maneira como os estudantes aprendem. Na TAS, a principal dimensão é a aprendizagem significativa, que ocorre quando novos conhecimentos se relacionam de forma não arbitrária e substantiva com os conhecimentos prévios do estudante (Moreira, 2006). Na perspectiva da mediação proposta por Vygotsky, por exemplo, se vislumbra a dimensão do papel das interações sociais e do suporte cultural no processo de construção do conhecimento (Didier, 2008). Por essa razão, é importante discorrer sobre elas.

2.3 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NO CONTEXTO SOCIAL E CIENTÍFICO

Fundamentalmente, a construção teórica deste trabalho se baseou em um conjunto de métodos, cuja abordagens pedagógicas visaram promover um ensino de Química ancorado em duas teorias da aprendizagem. A primeira, como já mencionado, a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), na qual se procurou, sobretudo, valorizar o desenvolvimento cognitivo a partir dos conhecimentos prévios dos estudantes.

Ausubel, um teórico do cognitivismo, destaca em seus estudos a relevância da aprendizagem significativa. Sua visão cognitivista foca na descrição do processo em si, em vez dos resultados, enfatizando a estrutura cognitiva, onde a unidade central é o conceito (Moreira, 2006). Segundo ele, a aprendizagem se dá quando uma nova informação é internalizada pelo aprendente de maneira a construir um conhecimento complementar, isto é, o indivíduo já traz na estrutura cognitiva um conhecimento prévio, ele usa o termo “subsunção” que é um conceito, uma ideia ou uma proposição previamente presente na estrutura cognitiva, que serve como base para a nova informação, dando-lhe significado. A aprendizagem significativa acontece quando a nova informação se liga a conceitos relevantes que já estão na estrutura cognitiva (Ferreira et, al. 2020).

Os catalisadores automotivos não são, por regra, um artefato com o qual os estudantes estejam plenamente familiarizados; muitos sequer imaginam sua existência em um veículo, ainda assim, há os subsunções referentes ao fenômeno da combustão, este que é uma das fontes de energia que permite o funcionamento mecânico de um automóvel. Como preconizado por Ausubel, a aprendizagem significativa acontece quando a nova informação se liga a conceitos relevantes que já estão na estrutura cognitiva (Ostermann e Cavalcanti, 2011). Neste caso, ao estudar a função do catalisador automotivo e as reações químicas que nele ocorrem, o novo conhecimento é internalizado e se ancora no entendimento prévio sobre combustão.

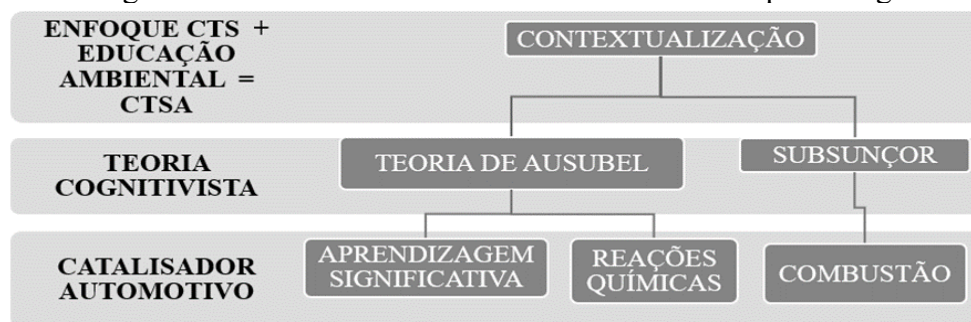
Este tipo de aprendizagem (que prevê a ancoragem, ou mesmo a ideia de subsunção) é, por excelência, o meio humano para adquirir e reter a vasta quantidade de informações de um corpo de conhecimentos. Ausubel destaca o processo da aprendizagem significativa como o mais importante na aprendizagem escolar (Moreira, 2006).

O diagrama representado na Figura 3 busca fazer uma conexão com as ideias defendidas, como a relação que pode existir entre uma abordagem CTSA e a teoria de aprendizagem significativa que se pretendeu implementar nesse estudo.

A organização do diagrama considera que o enfoque CTSA, como um campo de estudo que investiga as interações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente, proporciona contextualização e permite visão mais ampla dos objetos do conhecimento e dos processos de

ensino-aprendizagem. Assim como a educação não é neutra (Auler, 2002), não o são a ciência e a tecnologia, todas elas são produtos sociais que influenciam e são influenciadas por questões políticas, ideológicas, econômicas e culturais. O enfoque CTSA busca entender como a ciência e a tecnologia são desenvolvidas, utilizadas e como impactam a sociedade (Santos, 2011).

Figura 3- Diagrama: A interconexão entre CTSA e a Teoria de aprendizagem de Ausubel



Fonte: elaboração própria, 2024.

No diagrama, a TAS está intrinsecamente vinculada ao enfoque CTSA, sendo ela um elo com a temática dos catalisadores. Nessa conjunção, a aprendizagem está concentrada nos processos cognitivos que se constituem a partir da construção mental de análogos do mundo experiencial (Ferreira *et al.*, 2020). Os estudantes, ao receberem novas informações, criam modelos mentais atualizados, resultando em uma compreensão originada da contextualização CTSA.

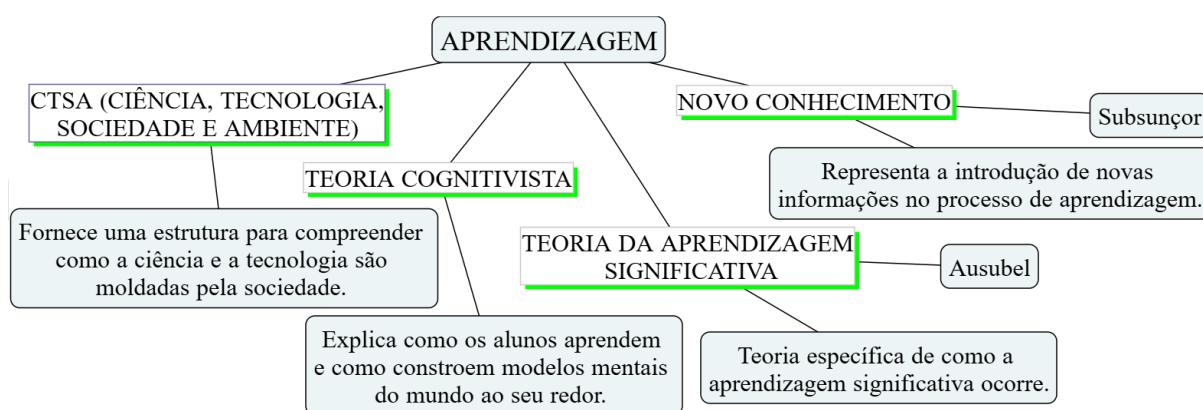
Com relação à TAS, no diagrama, é perceptível a indicação de que os estudantes conectam novas informações a seus conhecimentos existentes. Supõe-se, analisando-o que a aprendizagem significativa ocorre quando podem relacionar novas informações a conceitos que já possuem (Moreira, 2006).

O nível em que se encontra o catalisador automotivo como novo conhecimento relativo às reações químicas e à combustão, apresentado abaixo dos outros, mas no mesmo nível da aprendizagem significativa, justifica-se por serem os elementos que interagem nos processos de contextualização e da aprendizagem. O termo nível não tem nesse diagrama uma ideia hierarquizada, mas de conexão entre os que mais se aproxima de uma explicação interrelacional. Imaginando uma hierarquia, a aprendizagem estaria no nível mais alto, conforme ilustrado no diagrama subsequente (Figura 4).

Se observa na Figura 4 o destaque da aprendizagem como processo de construção de significados, portanto ela, a aprendizagem, está posicionada no ponto mais alto. Isso se explica pelo fato de que os objetivos devem orientar e centralizar os processos de ensino. Essa posição

estratégica justifica-se por dois motivos; primeiro, o propósito da aprendizagem define objetivos claros e relevantes para o processo educativo, segundo a aprendizagem desempenha um papel essencial na construção do conhecimento, contribuindo de maneira fundamental para a formação e ampliação do entendimento dos estudantes. Portanto, entender como os estudantes aprendem auxilia na contextualização do ensino, no caso específico, a abordagem CTSA direciona para o que se espera da aprendizagem com significados. Isso possibilita que a educação promova as mudanças positivas na sociedade (Santos *et al.*, 2012).

Figura 4 - Diagrama da aprendizagem como processo de construção de significados



Fonte: elaboração própria, 2024.

Além disso, o processo de ensino e aprendizagem deve promover a motivação para o engajamento dos estudantes, com consequência no desenvolvimento de competências para a transformação social que se espera na atualidade, haja vista sua urgência. Desta forma, a maneira de se aplicar o que se aprende, é sobretudo, encontrar soluções que viabilizem a continuidade da vida no planeta. Nessa perspectiva, deve-se refletir acerca da aprendizagem para obter respostas à pergunta: o que aprender, por que aprender e, para que aprender? O sentido da aprendizagem deve ter aplicabilidade ao longo da vida (Neves, 2022).

A resposta a essa problemática encontra abrigo em abordagens que valorizam a Educação Ambiental (EA), reforçando, assim, as inquietações diante das emergências climáticas atuais e dos fenômenos extremos delas resultantes. Portanto, devem ser objetos de preocupação da educação escolar. McCormick (1992) defende que a proteção ambiental se conecta à necessidade da espécie humana em mitigar os impactos destrutivos no ambiente, contexto em que a ciência, matriz do desenvolvimento tecnológico, tem papel imprescindível. Um dos exemplos importantes no âmbito do ensino de Química, está justamente nos catalisadores automotivos. Num mundo com 8,23 bilhões de habitantes³ e de mais de 1,5

³ Segundo dados da ONU (UNFPA, 2025).

bilhões de automóveis, a compreensão dos mecanismos de operação de motores e seus impactos ambientais, é imprescindível, inclusive em níveis escolares básicos. Preocupações dessa natureza são pilares na construção crítica do pensamento, com impactos nos modos de ação social.

2.4 MEDIAÇÃO DA APRENDIZAGEM COM ARDUINO NA PERSPECTIVA VYGOTSKIANA

A segunda teoria, se valendo de um contexto, no qual o ensino se deu por um processo de investigação, a Teoria da Mediação de Vygotsky (TMV) mostrou-se necessária. Dado que, o uso de dispositivos, como ferramentas de mediação, foi essencial no processo de ensino. Esses dispositivos facilitaram a apropriação dos conhecimentos pelos estudantes. A necessidade da TMV nesse estudo se baseou não apenas no uso dos recursos tecnológicos, mas também na implementação de metodologias que priorizaram responder à pergunta: Como identificar os gases provenientes da combustão e como compreender a conversão que eles sofrem?

Portanto, o planejamento de ensino teve foco na Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e na abordagem CTSA. O intuito foi de ir além do conteudismo escolar, para isso, a inserção de ferramentas mediadoras da aprendizagem foi a solução encontrada para o problema de estudo.

A apropriação do conhecimento é um dos objetivos essenciais que fundamenta o processo de ensino-aprendizagem. Segundo Vygotsky, eles são atingidos quando estes estão coordenados e alinhados com as atividades mentais superiores.

Ele chamou de funções mentais superiores aos processos tipicamente humanos como: memória, atenção e lembrança voluntária, memorização ativa, imaginação, capacidade de planejar, estabelecer relações, ação intencional, desenvolvimento da vontade, elaboração conceitual, uso da linguagem, representação simbólica das ações propositadas, raciocínio dedutivo, pensamento abstrato JOENK, 2002, pág. 03)

Portanto, o embasamento na Teoria da Mediação de Vygotsky (TMV), é justificável, pois ela enfatiza a importância a ser dada aos instrumentos, signos e linguagem na construção do conhecimento (Vygotsky, 1993; 1998). Partindo dessa perspectiva, o Arduino como ferramenta educacional, pode ser perfeitamente explorado como mediador da aprendizagem pretendida em Química. Portanto, pelas características do instrumento, que são inerentes a ele, o artefato dialoga e facilita a compreensão dos conceitos científicos acerca dos fenômenos relacionados às reações gasosas (Araújo, 2017).

No processo de mediação do aprendizado, é salutar que se enfatize a interação entre indivíduos na construção do conhecimento, uma vez que ela ocorre no ambiente sociocultural

(Didier, 2008). Nesse contexto, atividades que torna o estudante mais ativo no processo de aprendizagem, como propor/compreender/usar protótipos eletrônicos, vai ao encontro dessa proposta. O uso da plataforma Arduino, apresenta algumas particularidades que não podem ser ignoradas, a exemplo das possíveis dificuldades em criar o programa. Soma-se a isso, o acesso ao hardware, que infelizmente não é disponibilizado com facilidade nas redes de educação. Contudo, os ganhos pedagógicos decorrentes do seu uso, como mediador, superam os desafios, algo que é corriqueiro no trabalho docente, enfrentar e adaptar diferentes realidades educacionais na formação cognitiva dos estudantes (Gomes, 2007).

No mundo atual, altamente conectado e tecnológico, a inserção de atividades investigativas no ensino, a exemplo do Arduino, possibilita aos estudantes se apropriarem de conceitos fundamentais, como o de hardware e software. O primeiro é o dispositivo físico composto por componentes eletrônicos, como microcontrolador, circuitos de entrada e saída, portas analógicas e digitais. O segundo, chamado Arduino IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado), que permite a programação das placas usando uma linguagem de programação específica. Esse software é essencial para escrever, compilar e carregar códigos na placa, possibilitando seu funcionamento conforme o projeto desenvolvido. Portanto, enquanto a placa Arduino é hardware, seu funcionamento depende do software, demonstrando a interação entre ambos para o desenvolvimento de projetos eletrônicos que podem ser adaptados no ensino de ciências, como os relacionados aos conhecimentos da Química, aqui propostos.

O Arduino, como já mencionado, possui elevado potencial de mediação da aprendizagem, razão pela qual se pretendeu utilizar a TMV, cuja essência é a mediação: uma atividade indireta que permite transformar comportamentos e operações externas em processos internos. (Moreira, 2023). Nesse contexto, o Arduino funciona como um artefato mediador (atividade indireta) que direciona os estudantes para interagir com conceitos abstratos da Química de maneira concreta (Santos *et al*, 2012).

Assim, as atividades investigativas propostas não se limitam ao alcance prático; por meio da experimentação, elas visam incluir a mediação para a visualização de fenômenos científicos, destacando uma das dimensões mais relevantes da Química. Portanto, esses argumentos buscam nas contribuições dadas por Vygotsky sua corroboração, visto que o uso de ferramentas simbólicas (como a linguagem) estão dialogando com o desenvolvimento cognitivo dos estudantes por meio da problematização para aprendizagem (Moreira, 2023; Ferreira *et al.*, 2021). Em suma, o Arduino age como um meio para que os estudantes compreendam fenômenos científicos, testando-os por meio da experimentação.

Consequentemente, aprofundando-se um pouco mais, de maneira justa, contemplar e valorizar a TMV, inserindo, a esse tempo, o que Vygotsky explica como a Zona de Desenvolvimento Iminente (ZDI)⁴, para ele, o aprendizado ocorre de forma mais eficaz quando há um suporte adequado (andaime), permitindo que os estudantes realizem atividades que, inicialmente, não conseguiriam sozinhos (Martins *et al.*, 2012; Moreira, 2023; Ferreira *et al.*, 2021; Ferreira *et al.*, 2023; Ferreira *et al.*, 2025). O uso do Arduino, como andaime, facilita esse processo ao possibilitar que estudantes, com orientação de professores ou pares mais experientes, desenvolvam projetos interativos que aprofundam sua compreensão dos conceitos da Química.

Considerando as perspectivas de Vygotsky, é importante ressaltar que a aprendizagem, para ele é uma ação social, construída num contexto de compartilhamento e de colaboração. Nesse sentido, os conhecimentos construídos ganham significados mais amplos e duradouros. Portanto, a aprendizagem também está vinculada a tomada de decisões, isto é, os conceitos teóricos ganham mais relevâncias quando estes estão relacionados as práticas experimentais (Araújo, 2021). Logo, o uso do Arduino vai ao encontro do que preconiza a TMV, isto é, a mediação da aprendizagem com auxílio de ferramentas e signos culturais (Moreira, 2023).

2.5 TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO CIENTÍFICA: O ARDUINO COMO FERRAMENTA PEDAGÓGICA

O ambiente educacional tem se mostrado pouco interessante para os estudantes em decorrência de práticas docentes se distantes da realidade deles (Santos e Mortimer, 2009). Essa problemática tem se aprofundado e se apresenta com maior intensidade no Ensino Médio, no qual os adolescentes não se identificam com métodos passivos de ensino, tais práticas pedagógicas são comuns e corriqueiras na educação. Diante disso, surge a necessidade pedagógica vinculada ao desenvolvimento de metodologias ativas na tentativa de aproximar os estudantes do processo de aprendizagem (Carvalho, 1992).

Entre as alternativas que se espera na promoção de metodologias ativas, as tecnologias educacionais são ferramentas interessantes, como é o caso do Arduino. Esse recurso proporciona o ensino da lógica de programação e está baseado em eletrônica básica que pode ser usada na automação, de maneira que seu uso auxilia na apropriação de conhecimentos científicos (Nguyen *et al.*, 2024).

⁴ Uma tradução incorreta do texto de Vygotsky fez com que o conceito fosse chamado em português de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP). Porém, é importante lembrar que a noção original trata de potência, e não de proximidade (Ferreira *et al.*, 2025).

O Arduino, como já mencionado, é uma plataforma de programação de código aberto que dá suporte a construção de protótipos eletrônicos, destinados a facilitar o desenvolvimento e aplicação de projetos interativos, permitindo o controle de dispositivos eletrônicos através de sensores, atuadores e microcontroladores. Essa ferramenta tem ganhado destaque pedagógico, visto que a versatilidade do seu uso integra, naturalmente, os conceitos teóricos por intermédio de práticas experimentais, características essenciais da aprendizagem ativa e contextualizada (Nguyen *et al.*, 2024; Vallejo; Uribe e Farjado, 2020). Fundamentalmente, essa ferramenta incorpora a linguagem da programação a contextos de aprendizagens na qual se busca o desenvolvimento de outras habilidades imprescindíveis na resolução de problemas.

No caso da proposta de estudar os gases a partir dos catalisadores automotivos, o Arduino foi extremamente útil, dada a dificuldade na implementação de uma atividade investigativa que pudesse contemplar as aprendizagens pretendidas e a segurança na sua execução. Portando, a proposta do experimento como atividade de investigação apresentou características que valorizou a autonomia do ensino (no caso da construção do protótipo) e da aprendizagem, isto é, a criação do instrumento educacional venceu o desafio, pois, de forma alternativa, minimizou a falta de equipamentos adequados para realização dos experimentos (Nguyen *et al.*, 2024), deste modo, trouxe ao processo de ensino e aprendizagem os resultados esperados.

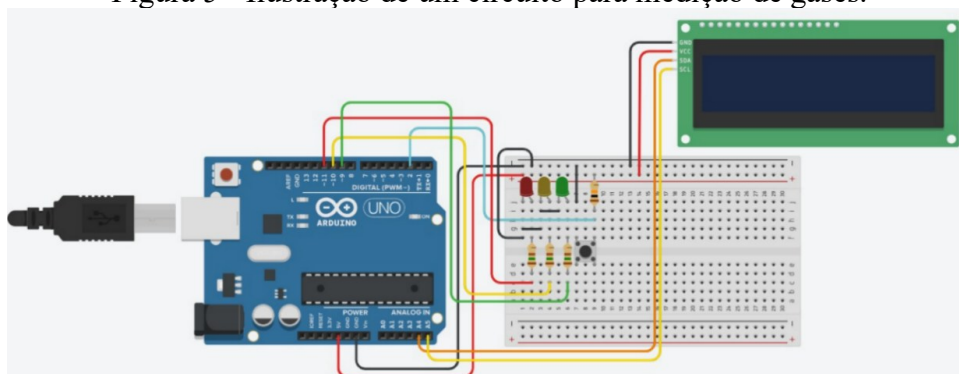
Notadamente, a proposta investigativa deste trabalho, de monitorar a emissão de gases durante reações de combustão, exemplifica a aplicabilidade do Arduino no ensino de Química. Percebe-se que, a solução encontrada neste caso, demonstrou ser especialmente eficaz no estudo de conceitos abstratos por meio de experimentos práticos (Grasiéle, 2024).

A figura 5 ilustra o circuito da programação que foi criada para a coleta de dados. Trata-se apenas de uma ilustração simulada na plataforma Tinkercad⁵, na qual estão incluídos preliminarmente alguns dispositivos úteis na fase pré-teste, tais como; a placa do Arduino, placa protoboard⁶ (placa de ensaio), monitor LCD, lâmpadas de Led e resistores, esses dois últimos, apenas para simular os sensores de gases. Portanto, é uma apresentação preliminar dedicada a uma das possibilidades de uso do Arduino no monitoramento de gases produzidos na combustão.

⁵ O Tinkercad é um espaço digital voltado para eletrônica, que permite desenvolver e testar circuitos virtualmente.

⁶ Ferramenta essencial na eletrônica para montagem temporária de circuitos sem a necessidade de solda.

Figura 5 - Ilustração de um circuito para medição de gases.



Fonte: elaboração própria a partir do Tinkercad, 2024.

O objetivo de apresentar o circuito da figura é tão somente para detalhar a simulação da fase inicial de um projeto com o Arduino. Mesmo sendo uma etapa opcional, ela é amplamente utilizada por iniciantes. Logo, estudantes, educadores e outros usuários que pretendam criar projetos com Arduino, podem se valer dessa alternativa. Uma vez que ela apresenta interface intuitiva e acessível. Nesse sentido, a construção do circuito, que pode ser feita de forma online na plataforma, acaba por se tornar um recurso pedagógico que impacta na compreensão dos conceitos teóricos relacionados ao pensamento computacional e lógico dedutivo.

2.6 BREVE REVISÃO DA LITERATURA: ARDUINO NA MEDIAÇÃO DO ENSINO E NA EXECUÇÃO DE PROJETOS

Ao longo dos últimos anos, há registros promissores que validam positivamente as metodologias de ensino baseadas no uso de ferramentas de programação, como o Arduino. A literatura demonstra que essa plataforma é um recurso interessante, seu uso se justifica principalmente nos bons resultados que se pode alcançar na mediação das aprendizagens (Silva; Silva e Santos, 2025). Entre eles, destacam-se, a apropriação de conhecimentos básicos da linguagem computacional e a possibilidade de implementar metodologias ativas no ensino de conceitos científicos com características investigativas (Garcia, 2023).

Nesse sentido, se observa mediações interessantes no ensino de ciências, a exemplo do trabalho de Vallejo; Uribe e Farjado (2020), no qual os autores descrevem a criação de um calorímetro de baixo custo. Segundo eles, a programação feita no Arduino dá suporte para a coleta de dados por meio de sensores específicos acoplados ao sistema. Os autores forneceram informações de detalhes técnicos da montagem e explicaram os testes do dispositivo na determinação do calor de dissolução do hidróxido de sódio (NaOH) em água.

Outras pesquisas apontam nessa mesma direção, isto é, que o Arduino, quando utilizado como ferramenta educacional, favorece significativamente a adoção de novas abordagens metodológicas no processo de ensino-aprendizagem, sobretudo, devido sua estreita relação no

desenvolvimento de experimentos que favorecem a aprendizagem baseada na resolução de problemas. Segundo Garcia (2023), [...] possibilitam o desenvolvimento do pensamento computacional e a aquisição de conhecimentos tecnológicos, entre outras conquistas. [...].

Destacam-se, portanto, alguns trabalhos relevantes, como o proposto por Kang *et al.* (2019) e Tay e Eng (2024) defensores do movimento Maker na educação. O primeiro, desenvolveu um experimento, automatizado com o Arduino para a aprendizagem de conceitos científicos, como solubilidade, pressão e vácuo. Já, Tay e Eng (2024) integraram o hardware ao ensino de Química, promovendo o desenvolvimento de um equipamento de titulação automática de baixo custo para análise de acidez em sucos, utilizando tecnologias acessíveis, nesse caso, sensores de pH e impressão 3D. Contribuições semelhantes também foram dadas por Kamijo e Rossi, (2024) que desenvolveram um sistema microcontrolado com Arduino, aplicado à titulação de soluções. Eles usaram um sensor de cor e com o auxílio de um servomotor, programou o sistema para identificar a mudança de coloração no ponto de viragem da titulação de modo que o acionamento do sistema (fechamento da torneira do decantador) ocorresse automaticamente e imediatamente no momento da viragem.

Os estudos apontados, indicam que a mediação da aprendizagem com uso do Arduino é promissora, pois possibilita o emprego de metodologias versáteis. Isso se observa também no ensino de física. Há, nesta área, diversos estudos que abordam diferentes aplicações e metodologias, especialmente na coleta de dados. Macedo *et al.* (2013) realizaram estudo utilizando um sensor ultrassônico, no qual mediram as distâncias em função do tempo. De forma similar, Cavalcante *et al.* (2013) exploraram outras potencialidades, eles demonstraram que o Arduino pode ser usado como microcontrolador, o que se aplica ao estudo do funcionamento de controles remotos. Já Carvalho *et al.* (2016) utilizaram a plataforma para modelar fenômenos atmosféricos complexos, como as marés, enquanto Guaitolini; Ramos e Silva (2014) demonstraram sua eficácia na medição da aceleração da gravidade em experimentos de queda livre. Em um estudo mais recente, Lima (2025) desenvolveu uma estação de monitoramento da qualidade do ar, voltada para a medição de material particulado fino e usaram o Arduino, por considerarem, entre outras vantagens, ser de baixo custo, fácil manuseio e permitir a coleta de dados de maneira imediata.

Por fim, verifica-se uma diversidade de aplicações que podem ser utilizadas com Arduino. Tais aplicações contemplam projetos simples, mas também outros, mais elaborados. A exemplo disso, destaca-se a proposta do desenvolvimento de um protótipo de estação meteorológica de baixo custo, que foi proposto por Rall e Montanha (2022). Eles propuseram usar o software do Arduino para coletar e disponibilizar em tempo real os dados climáticos

como temperatura, umidade, luminosidade, pressão atmosférica e radiação ultravioleta, com resultados satisfatórios quanto ao armazenamento e acesso remoto das informações. Conclui-se, portanto que esse dispositivo pode ser um aliado especial no ensino dos conhecimentos científicos e de suas aplicabilidades.

3. MÉTODOS E MATERIAIS

Os métodos e materiais das atividades foram desenvolvidos por meio de programação, prototipagem e elaboração de uma sequência didática, que resultaram na criação de uma atividade investigativa aplicada em sala de aula.

3.1 PROGRAMAÇÃO IDE (ARDUINO)

A programação usando o software do Arduino foi uma das etapas que integrou a metodologia dessa pesquisa. Deste modo, essa proposta de estudo fez uso dessa ferramenta, no formato de um protótipo, isto é, trata-se de dispositivo eletrônico que foi construído baseado em uma programação previamente testada, a qual pudesse servir ao objetivo proposto, o de fazer leitura e monitoramento dos gases do escapamento veicular.

O programa desenvolvido na plataforma do Arduino (IDE⁷) se baseou em fazer as leituras dos valores de determinados gases por meio de sensores específicos. Uma das estratégias que foi adotada foi a de que a programação deveria calcular a média de 50 leituras, de modo que os resultados obtidos pudessem ser exibidos em um display LCD⁸. Os valores médios exibidos se referem a 50 leituras por segundo. Além da exibição no display LCD, durante a execução, os valores médios dos dados coletados, também são exibidos na tela do computador, recurso disponível no software IDE, conhecido como monitor serial.

Em vista disso, a metodologia utilizada na programação seguiu a seguinte ordem; quando o Arduino é ligado, o display, automaticamente mostra uma mensagem de teste por alguns segundos, em seguida, inicia-se a exibição dos valores medidos pelo sensor específico acoplado. Considerando que os valores são exibidos como média das leituras por segundo, eles são constantemente atualizados, desta forma, tornou-se possível acompanhar qualquer variação na quantificação dos gases. É importante destacar que, por serem compostos que se expandem, os gases apresentam variações nas quantidades detectadas pelos sensores em suas superfícies de contato. Por esse motivo, o recurso adotado na programação foi a realização da média das leituras, evitando que essas variações resultassem em medições imprecisas. Dessa forma, o sistema tornou-se mais confiável no monitoramento da quantidade de gases emitidos pelo escapamento.

⁷ O IDE do Arduino (Integrated Development Environment) é o software usado para escrever, compilar e enviar códigos para placas Arduino. Ele inclui um editor de código, um compilador e uma ferramenta para transferir o programa para a placa. Além disso, conta com um Monitor Serial, que permite visualizar dados enviados pelo Arduino em tempo real, facilitando testes e ajustes no projeto.

⁸ O display LCD (Liquid Crystal Display) é um módulo utilizado para exibir informações em projetos com Arduino. Ele permite mostrar textos, números e símbolos, facilitando a interação com o usuário.

A Figura 6 ilustra o programa que foi feito para fazer a medição usando os sensores na detecção dos gases. A linguagem utilizada é dividida em duas partes. Primeiro o setup, onde se define as configurações iniciais, isto é, dizer ao Arduino em que pino será utilizado como entrada. A outra linguagem se refere ao que se chama de loop, que nesse caso, faz o uso do código para rodar a programação repetidamente, enquanto a placa estiver ligada. Portanto, a programação apresentada na figura foi feita para fazer as leituras realizadas com sensores de gases, que têm seus valores registrados e imediatamente exibidos na tela de LCD.

Para possibilitar a demonstração das leituras, foi adicionada à programação a biblioteca LiquidCrystal, que amplia os recursos do Arduino e permite a utilização do display LCD para exibir as informações desejadas, isto é, os valores medidos pelos sensores.

Figura 6 - Programação IDE – Arduino

```

sketch_sep7b.ino | Arduino IDE 2.3.7
Arquivo Editar Rascunho Ferramentas Ajuda
sketch_sep7b.ino
1  #include <LiquidCrystal_I2C.h>
2
3  int gas;
4
5  LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
6  int media(void);
7
8  void setup()
9  {
10   gas = 0;
11
12   pinMode(A0, INPUT);
13
14
15   lcd.init();
16   lcd.backlight();
17   lcd.clear();
18
19   lcd.setCursor(1,0);
20   lcd.print("FASE DE TESTES");
21   lcd.setCursor(1,1);
22   lcd.print("gases");
23
24   delay(3000);
25   lcd.noBacklight();
26
27   delay(500);
28   lcd.backlight();
29   delay(500);
30   lcd.noBacklight();
31   delay(500);
32   lcd.backlight();
33   lcd.clear();
34   Serial.begin(9600);
35
36 }
37
38 void loop()
39 {
40   lcd.setCursor(0,0);
41   lcd.print("VALOR: ");
42   lcd.print(media());
43   lcd.print(" ");
44   Serial.println(media());
45 }
46
47
48 int media(void) // REALIZA A MEDIA
49 {
50   unsigned int vetor_media[50];
51
52   for(unsigned int conta = 0; conta < 50; conta++)
53   {
54     vetor_media[conta] = analogRead(A0);
55   }
56
57   gas = ( vetor_media[0] + vetor_media[1] + vetor_media[2] + vetor_media[3] + vetor_media[4] +
58           vetor_media[5] + vetor_media[6] + vetor_media[7] + vetor_media[8] + vetor_media[9] +
59           vetor_media[10] + vetor_media[11] + vetor_media[12] + vetor_media[13] + vetor_media[14] +
60           vetor_media[15] + vetor_media[16] + vetor_media[17] + vetor_media[18] + vetor_media[19] +
61           vetor_media[20] + vetor_media[21] + vetor_media[22] + vetor_media[23] + vetor_media[24] +
62           vetor_media[25] + vetor_media[26] + vetor_media[27] + vetor_media[28] + vetor_media[29] +
63           vetor_media[30] + vetor_media[31] + vetor_media[32] + vetor_media[33] + vetor_media[34] +
64           vetor_media[35] + vetor_media[36] + vetor_media[37] + vetor_media[38] + vetor_media[39] +
65           vetor_media[40] + vetor_media[41] + vetor_media[42] + vetor_media[43] + vetor_media[44] +
66           vetor_media[45] + vetor_media[46] + vetor_media[47] + vetor_media[48] + vetor_media[49] +
67           vetor_media[50])/50;
68
69   return gas;

```

Fonte: Arduino IDE

3.2 PROTOTIPAGEM

A plataforma de programação do Arduino, de código aberto, dá suporte para desenvolver projetos educacionais com foco no ensino por investigação. Para que os projetos sejam mais elaborados/funcionais, é fundamental que se faça uso de um dispositivo com características peculiares, como, ser durável e de fácil manuseio. Portanto, em virtude dessa necessidade, inseriu-se como parte da metodologia, a construção de um protótipo eletrônico. Essa ação, atendeu satisfatoriamente a aplicação do experimento, uma vez que, as coletas dos dados ocorreram sem intercorrências.

Nesta fase da prototipagem, ou seja, a que se refere à construção do aparato experimental, algumas etapas foram essenciais. A Fig. 7, ilustra os testes realizados que possibilitaram a construção do protótipo físico com o acabamento adequado. Importante ressaltar que a finalização do protótipo se deu somente após os pré-testes, que foram realizados inúmeras vezes.

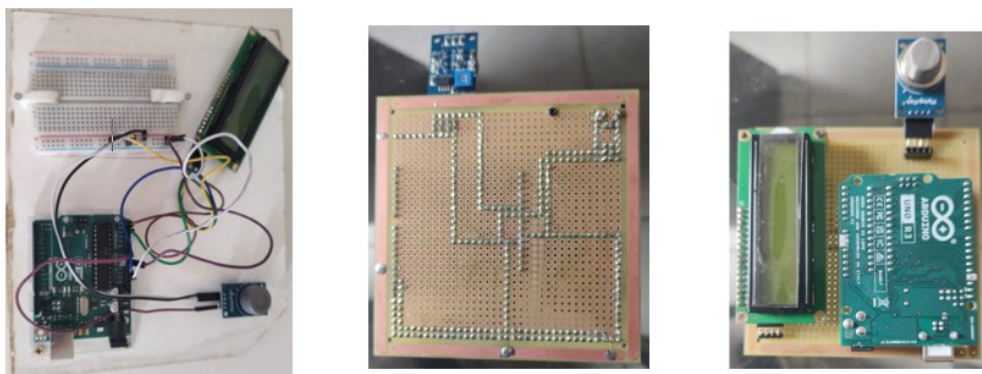
Figura 7 - Etapas de testes da programação



Fonte: elaboração própria, 2025.

A Figura 8 apresenta as etapas da prototipagem: inicialmente, observa-se o aparato rudimentar, que demonstra o uso dos recursos iniciais de montagem; em seguida, a figura mostra o protótipo originado a partir da montagem preliminar dos testes, isto é, as duas imagens à direita correspondem ao protótipo finalizado.

Figura 8- Etapas da prototipagem



Fonte: elaboração própria, 2025.

Estruturalmente, o dispositivo que se observa na figura, fundamentou-se no planejamento que visava encontrar a solução de um problema, isto é, fazer leituras de gases do escapamento veicular. Então, a ferramenta construída foi a resposta encontrada para solucionar. O acabamento do protótipo ficou correspondente à programação no ambiente IDE. Portanto, ele foi montado para assegurar a correta execução. Em virtude da construção do protótipo, foram selecionados componentes eletrônicos (Quadro 1) adequados, capazes de atender às demandas específicas do projeto. São componentes que possuem termos e técnicos, mas que são necessários identificá-los.

Quadro 1 - Lista de componentes do Protótipo eletrônico

Componentes	Função/aplicação/especificidade
Placa de Ensaio (Protoboard)	A parte branca na parte superior da primeira imagem foi um componente útil para montar o circuito eletrônico antes da soldagem permanente.
Display LCD	O display LCD verde na parte superior direita da primeira imagem é usado para exibir informações ou dados do sistema, no caso específico, os valores medidos dos gases.
Placa Arduino Uno	Microcontrolador que controla todo o sistema. É onde o código é carregado para processar os dados e interagir com os outros componentes.
Módulo Sensor de gás	Deteção de gases inflamáveis ou não, depende do tipo de sensor. Exemplo: o sensor MQ-135 detecta a qualidade do ar.
Fiação	Os fios coloridos conectados aos componentes na primeira imagem são usados para interligá-los e criar o circuito (componente útil para montar o circuito eletrônico antes da soldagem permanente).
Placa de Circuito Impresso (PCI) ou placa de múltiplos furos.	Essa placa serve como base para soldar os componentes eletrônicos de forma permanente, tornando o circuito mais robusto e durável.
Trilhas de estanho (Sn) e chumbo (Pb)	As trilhas na PCI conectam os componentes eletrônicos de acordo com o esquema do circuito.
Cabo USB tipo B	Embora não esteja representado nas imagens, é importante ressaltar que ele é usado para programar o Arduino (transferindo dados) e alimentá-lo com energia elétrica a partir do computador.

Fonte: elaboração própria, 2025.

A prototipagem foi uma estratégia que demonstrou-se ser eficiente, dado os resultados obtidos na execução da atividade experimental. Contudo, sua montagem demandou tempo e atenção, a exemplo da substituição da placa de ensaio (protoboard) e da fiação. Esses componentes foram utilizados nos testes preliminares para validar o funcionamento do circuito, as substituições deles, pela placa de circuito impresso (PCI) foi um processo cuidadoso. Foi com base nos testes, que se deu a montagem. Portanto, para a correta transição, foi fundamental que a realização das soldagens estivesse conforme o circuito eletrônico inicial.

Após as devidas soldagens o resultado foi o de um acabamento mais profissional, conferindo, além da aparência, maior durabilidade ao protótipo. Feita a integração dos componentes à PCI foram realizados sucessivos testes, alternando os sensores. Os resultados confirmaram a coesão e o pleno funcionamento do sistema. O dispositivo foi submetido, como

testes, a múltiplas utilizações, além da leitura dos gases no escapamento veicular. Como exemplo, verificou-se a sensibilidade dos sensores na detecção dos gases de isqueiros, fumaça de papel queimado, volatilidade de diferentes substâncias/materiais (como a gasolina, etanol, esmalte de unhas e acetona comercial). Com relação a volatilidade, seus resultados podem ser conferidos no Apêndice A. Também foram realizados testes com o protótipo finalizado, sobretudo, para verificar a estabilidade do suporte e a qualidade de medição dos sensores. Não foi identificado qualquer tipo de falha, isso evidenciou que as decisões tomadas ao longo do processo foram exitosas.

3.3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Este estudo se caracterizou por adotar metodologias diversificadas, que se integraram em diferentes etapas de desenvolvimento. Portanto, optou-se em elaborar uma sequência didática, com foco no estudo da cinética química como parte integrante dos métodos. Nela foi inserida a atividade experimental utilizada para estudar a emissão dos gases no escapamento veicular, mediada pelo funcionamento dos catalisadores automotivos e pelo protótipo eletrônico construído e baseado no software do Arduino como uma contextualização no ensino de ciências.

Nessa contextualização, o objetivo foi fazer uma análise quantitativa dos gases provenientes da combustão nos motores veiculares e relacioná-los às funções desempenhadas por esse dispositivo tecnológico em um contexto de aprendizagem científica relacionada ao estudo da Cinética Química. Nesse caso, tratou-se de uma investigação mista, uma vez que houve a combinação de métodos quantitativos (dados coletados foram tratados estatisticamente e usados para construção de gráficos) e qualitativos (interpretação dos dados pelos estudantes na apropriação do conhecimento), ambos explorados na sequência didática representada no Quadro 2.

É importante ressaltar que, ao longo da execução da SD, algumas etapas sofreram ajustes ou modificações em função de fatores não controlados, como os imprevistos relacionados a efetiva participação dos estudantes, mas que não houve mudanças nos contextos, dado que se tratou de uma proposta sequencial e que possíveis limitações na sua execução não comprometeram o objetivo principal.

Quadro 2 - Esboço da sequência didática

Plano de Aula	Desenvolvimento	
Aula 1 Duração: 1h:40 min	Objetivos: Explicação do projeto e disponibilização do TCLE (termo de consentimento livre esclarecido)	Avaliação diagnóstica via formulário para identificar conhecimentos prévios sobre reações químicas, poluentes e tecnologias. (https://forms.gle/YSQizogvR9rKBMhA6)

	https://forms.gle/4SYHejxB1tc8QVgAA	
Aula 2: Introdução ao Tema Duração: 1h:40 min Objeto do conhecimento: Contextualização	Objetivos: Explicar a função e os componentes dos catalisadores automotivos.	Mostrar imagens de catalisadores automotivos e explicar como funcionam e convertem os principais poluentes. (https://1drv.ms/p/c/3e5d12ec6901d23d/IQA7T-On7YGoSI4FeWVs-bReAfHoN7k6G86mVjKwdpBZS9U)
	Como fazer!	Exibir vídeo sobre a evolução dos catalisadores automotivos e promover discussão sobre seus impactos ambientais com ênfase no conhecimento prévio dos estudantes. (https://youtu.be/ao-hWpRGFE)
Aula 3: Conhecimento científico aplicado aos Catalisadores Duração: 1h:40 min Objetos do conhecimento: - Linguagem científica (simbologia da química). - Reações químicas (combustão). - Cinética química (Fatores que influenciam a taxa de desenvolvimento das reações químicas).	Objetivos: Explicar os fenômenos químicos nos catalisadores automotivos e analisar as reações de oxidação e redução envolvidas na combustão.	Aula expositiva explicando as reações de oxidação e redução envolvidas na combustão.
	Como fazer!	Revisar a aula anterior com perguntas rápidas e realizar um experimento simples (dissolução de comprimidos de vitamina C em temperaturas diferentes) para explorar conceitos de cinética química, como taxa de reação, teoria das colisões, energia de ativação e fatores que influenciam a velocidade das reações.
	Recursos didáticos → Textos de livros didáticos e demais fontes de pesquisa para auxiliar na atividade avaliativa. Avaliação do conhecimento adquirido → Responder brevemente sobre os fatores que influenciam a velocidade das reações químicas, com base no experimento da aula.	
Aula 4: Conhecimento científico aplicado aos Catalisadores químicos. Duração: 1h:40 min Objetos do conhecimento: - Catalisadores. - Energia de ativação. - Catálise heterogênea.	Objetivos: Explicar que o catalisador acelera a reação ao reduzir a energia necessária para que ela ocorra.	Exercitar os conteúdos estudados diferenciando as reações com e sem catalisadores e como isso afeta a energia envolvida.
	Como fazer!	Utilizar vídeos e outros recursos visuais para explicar os tipos de catálise, discutir ativadores e catalisadores em processos industriais, e ensinar os estudantes a interpretar gráficos de fenômenos químicos. (https://youtu.be/n_2NA23C2U)
	Recursos didáticos → Textos de livros didáticos e demais fontes de pesquisa para auxiliar na atividade avaliativa. Avaliação do conhecimento adquirido → Estudantes analisarão gráficos de reações com e sem catalisadores e interpretarão as energias das reações endotérmicas e exotérmicas.	
Aula 5: Coleta e Interpretação de Dados Duração: 1h:40 min	Objetivos: Estimular a autonomia dos estudantes na coleta e análise de dados sobre emissões veiculares e orientar sobre formas eficazes de	Realizar atividade experimental para coleta e interpretação de dados.

Objetos do conhecimento:	registrar e interpretar essas informações.	
	Como fazer!	A atividade envolve orientar os alunos, garantir a segurança, formar grupos e guiá-los na montagem e programação de circuitos com sensores de gás usando Arduino, para coletar e visualizar dados.
	Recursos didáticos → Arduino Uno; Sensores de Gás (exemplo: MQ-7 para CO e MQ-135 para NO₂ e outros gases); protoboard e fios jumpers; resistores (valores dependem dos sensores escolhidos); cabo USB para conectar o Arduino ao computador; fonte de energia (pode ser uma bateria de 9V com conector para o Arduino); software Arduino IDE instalado no computador; caixa ou suporte para montar o dispositivo (opcional). Avaliação do conhecimento adquirido → Nesta atividade, os estudantes usarão o protótipo do Arduino com sensores de gás é programação pré-definida para medir as emissões de escapamentos de um veículo.	
Aula 6: Impactos Ambientais dos gases poluentes e a influência dos Catalisadores Automotivos. Duração: 1h:40 min Objetos do conhecimento: • Meio ambiente. • Mudanças climáticas. • Tecnologia.	Objetivos:	Promover a consciência ambiental por meio da análise dos impactos dos catalisadores automotivos, sua reciclagem e tecnologias emergentes.
	Como fazer!	Discussão em grupo sobre o uso dos dados para avaliar impactos ambientais e debater a eficácia dos catalisadores e inovações tecnológicas.
	• Recursos didáticos → Textos de livros didáticos e demais fontes de pesquisa para auxiliar na atividade avaliativa. • Avaliação do conhecimento adquirido → Os estudantes deverão responder as questões referente aos impactos ambientais dos gases poluentes e a influência dos catalisadores automotivos, tendo como um dos referenciais a atividade experimental de coleta de dados por meio do Arduino. O recurso utilizado para essa atividade será um <i>Google forms</i>. (https://forms.gle/fMjEXtsGKKYHrytT8)	
Aula 7: Atividade Final – Conclusão (miniprojeto) Duração: 1h:40 min Objetos de conhecimento:	Objetivos:	Os estudantes devem estruturar uma proposta de apresentação para diagnosticar se os objetivos foram atingidos, como a apropriação dos conhecimentos científicos inerentes ao tema.
	Como fazer!	Revisão das aulas anteriores e avaliação da atividade final. Divisão da turma em grupos para que os estudantes desenvolvam uma proposta de apresentação da aprendizagem adquirida. Sugestões: Relatório, seminário, painéis ou protótipos.

	Avaliação final (critérios) 1. Participação nas discussões e atividades práticas. 2. Qualidade das interpretações de dados e reflexões críticas. 3. Criatividade e viabilidade das propostas apresentadas no projeto final. 4. Autonomia e colaboração durante as atividades em grupo. Recursos 1. Vídeos educativos. 2. Materiais para demonstrações práticas e experimentos. 3. Acesso à internet para pesquisa e coleta de dados. 4. Materiais de apoio, como artigos científicos e relatórios sobre emissões veiculares e catalisadores.
--	--

Fonte: elaboração própria, 2025.

A pesquisa foi desenvolvida e aplicada em turmas de 2º ano do Ensino Médio de uma escola pública situada no entorno de Brasília. A amostra inicial foi composta por 62 estudantes, reduzindo-se para 57 ao término da investigação. O estudo foi fundamentado em um projeto de pesquisa e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) sob o número 85011024.2.0000.5154, garantindo a conformidade com as diretrizes éticas e de pesquisa estabelecidas. As diretrizes éticas respeitadas por esse estudo garantiram aos participantes, o anonimato, obtendo-se deles o consentimento livre e esclarecido, preservando a confidencialidade dos dados e excluindo quaisquer riscos físicos, psicológicos ou sociais. Todo o estudo com os estudantes foi realizado sob orientação docente. Não houve qualquer conflito de interesses e o uso das tecnologias previstas se deu de forma adequada e segura.

A escola na qual foi desenvolvido o estudo, situa-se em uma região cuja realidade socioeconômica é considerada de baixa renda, logo o público-alvo desse estudo tem características peculiares dessa realidade social. A unidade escolar é vinculada administrativamente à Secretaria de Educação do Estado do Goiás, funcionando em três turnos. Pela manhã, atende a estudantes do Ensino Fundamental, do 6º ano ao 9º ano. No período vespertino, aqueles matriculados no Ensino Médio. Há onze turmas, três vinculadas ao ensino técnico e as demais, ao ensino regular. No período noturno, atende à Educação de Jovens e Adultos (EJA), do 6º ano do Ensino Fundamental ao 3º ano do Ensino Médio.

A Sequência Didática foi executada em 7 (sete) aulas duplas de 50 (cinquenta) minutos cada, totalizando 700 minutos (aproximadamente 12 horas). Ela teve início com uma avaliação diagnóstica. O intuito, nesse caso, foi verificar, segundo a TAS os conhecimentos prévios dos estudantes. Essa ação se justifica por dois motivos. O primeiro, é verificar o conjunto de informações e conceitos que os estudantes já possuíam antes de aprender sobre a temática desse estudo. O segundo motivo está relacionado a possibilidade de promover a organização avançada, caso se observasse total ausência de conhecimentos prévios dos estudantes. Neste

sentido a avaliação diagnóstica dá subsídios para promover a organização avançada, na perspectiva da TAS, logo se tratou de uma ação complementar.

Com a análise dos conhecimentos prévios diagnosticados foi possível, segundo a TMV, inserir de forma mais segura no método, os dispositivos (catalisador automotivo e o Arduino) mediadores da aprendizagem, tanto para a coleta dos dados como para interpretá-los. Logo, na metodologia, as teorias de aprendizagem tiveram papel fundamental, isto é, ensinar a partir das estruturas cognitivas preexistentes na mente dos estudantes, ancoradas nas ferramentas de mediação que foram propostas.

Como parte integrante na execução da sequência didática, foi introduzido a temática dos catalisadores em uma abordagem teórica dos conhecimentos sobre cinética química e adicionalmente explicada a importância do dispositivo. Para dar ênfase a essa área de estudo da Química, contextualizou-se por meio de uma atividade experimental simples de maneira que pudesse associar o fenômeno observado aos fatores que influenciam as taxas de desenvolvimento das reações químicas.

Por se tratar de uma abordagem que envolveu inicialmente o fenômeno da combustão, foi necessário incluir na SD aulas expositivas, focadas, sobretudo, na perspectiva da apropriação de conceitos básicos dessa reação, por parte dos estudantes, isto é, os conceitos relacionados à combustão dos combustíveis fósseis e à formação dos poluentes decorrentes dela, como monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e óxidos de nitrogênio (NOx). Em função disso, a estratégia proporcionou aos estudantes o entendimento de como os catalisadores automotivos atuam na conversão desses poluentes em gases menos nocivos, como dióxido de carbono (CO₂), nitrogênio (N₂) e vapor de água (H₂O).

Com relação à prática experimental prevista na SD, ela ocorreu com todos os estudantes fazendo, simultaneamente, as coletas dos valores. Eles foram supervisionados e instruídos para a execução do experimento de análise de gases emitidos pelo escapamento do veículo disponível. Os testes foram realizados com o veículo ligado, porém sem aceleração. Durante o seu funcionamento, os dados foram coletados, registrados em uma tabela impressa, para que posteriormente fossem analisados. Essa etapa tornou-se fundamental, pois foi o momento de verificar se os dados seriam úteis para compreender a cinética química e como essa compreensão estaria relacionada a eficiência dos catalisadores automotivos.

3.4 ATIVIDADE INVESTIGATIVA: ANÁLISE DOS GASES DO ESCAPAMENTO VEICULAR

Os estudantes realizaram o experimento baseados em um procedimento instrucional (Quadro 3) no qual foi previsto o uso do protótipo previamente construído (Arduino). O

dispositivo foi colocado próximo ao tubo de PVC conectado a saída do cano de escapamento do veículo Fig. 9. Junto ao protótipo, foi usado um medidor de monóxido de carbono calibrado com o objetivo de ter um parâmetro dos valores medidos, isto é, comparar os dados e ter maior fidedignidade dos resultados.

Figura 9- Coleta de dados (realização do experimento)



Fonte: elaboração própria, 2025.

Na imagem é possível deduzir que a realização da atividade foi, em certa medida, facilitada pela etapa de prototipagem, o que simplificou sua execução graças às ações metodológicas previamente adotadas, que contribuíram significativamente para a redução da complexidade.

Os dados que os estudantes coletaram referem-se às medidas de um único modelo de veículo. Importante ressaltar que o experimento foi previamente testado. Embora a imagem retrate características rústicas, mostrou-se viável graças às adaptações realizadas e ao uso de sensores de gases adequados, que permitiram a medição de gases específicos.

Entre as adaptações, ressalta-se as medidas de segurança que foram implementadas, entre elas, a redução da quantidade de estudantes na proximidade do escapamento do veículo analisado. Aos que foram autorizados maior proximidade, estes o fizeram com o uso de máscaras apropriadas. Outra medida de segurança implementada foi a inserção do cano PVC na extremidade do cano de descarga com intuito de alongá-lo, essa medida foi útil para obter um afastamento maior da fonte. Ainda com relação aos cuidados de segurança, foi adicionado ao sistema um cabo USB tipo B maior (1,30 m), para que os demais estudantes pudessem fazer as leituras no monitor do computador (notebook) a uma distância segura.

A configuração do experimento envolveu a verificação da conexão correta dos sensores ao Arduino e o funcionamento do código no Arduino IDE. Como mencionado anteriormente, adaptou-se um tubo de cano PVC para auxiliar a coleta, resistente ao calor e com curvatura

adequada para canalizar os gases até o sensor. Essa medida evitou o contato direto do sensor com o metal do cano de descarga, preservando-o de possíveis danos devido às variações de temperaturas. Durante a coleta dos dados, a recomendação foi a de posicionar o veículo em uma área ventilada, que pudesse acomodar o protótipo e o notebook a uma altura adequada e próximos ao escapamento. Essa medida se justifica pela ausência de um suporte apropriado para manter a distância adequada entre o sensor e a fonte (escapamento). Outra preocupação foi a de que os estudantes tivessem condições adequadas de acompanhar todo o processo.

Os sensores utilizados na atividade experimental e amplamente compatíveis com plataforma Arduino, foram: MQ-6, MQ-7, MQ-9 e MQ-135⁹. Estes sensores são comumente utilizados para detectar diferentes gases, como vapores de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, gases inflamáveis, dióxido de carbono e compostos orgânicos voláteis. Cada um deles foi utilizado separadamente e os valores de leituras foram registrados em tabelas, considerando o intervalo de tempo de 5 minutos.

Ainda com relação a essa etapa, da coleta de dados, na primeira medida, foi utilizado o uso de um medidor portátil, simultaneamente com o sensor MQ-7. Foi orientado que, em relação a ambos os valores, do medidor portátil (KR1000¹⁰) e do sensor MQ-07 fossem registradas de forma simultânea durante o funcionamento do motor.

Inicialmente, o procedimento adotado foi o de aproximar os dispositivos e somente após essa ação, ligar o veículo, deixando-o funcionar por cinco minutos, intercalando os sensores, isto é, para cada sensor, os registros foram realizados com o carro funcionando, passados cinco minutos o veículo foi desligado e duas novas medições efetuadas e registradas, em seguida houve a substituição do sensor.

Optou-se por utilizar as unidades de medida ppm (partes por milhão) e UA (unidade arbitrária) para representar os dados obtidos na atividade experimental. Essa escolha foi baseada na natureza dos sensores empregados e na forma como os resultados seriam interpretados e comparados. Portanto, as medições foram anotadas utilizando a unidade ppm, que representa partes por milhão para o KR1000. Já no caso dos sensores do Arduino, foi utilizada a UA¹¹ (Unidade Arbitrária). Gradualmente, as leituras foram feitas em intervalos regulares de um minuto até atingir o tempo total de 5 minutos.

⁹ Todos operam com princípio semelhante, mas são otimizados para diferentes tipos de gases.

¹⁰ O KR1000 é um medidor portátil utilizado para medir a concentração de monóxido de carbono (CO) no ar, além de registrar a temperatura ambiente. Ele possui um visor LCD iluminado, alarmes configuráveis para limites de CO, registra valores máximos e médios, e oferece a função HOLD para congelar leituras no visor.

¹¹ Unidade de medida não padronizada usada para expressar quantidades relativas ou comparativas quando não há uma escala absoluta definida ou quando a escala exata não é relevante. O termo é frequentemente utilizado em contextos científicos, técnicos e experimentais.

Portanto, os dados coletados foram registrados e usados na construção de gráficos, o intuito, nesse caso foi visualizar de maneira mais efetiva a análise dos resultados. Isto é, demonstrar a relação do tempo de combustão no motor com a concentração/quantidade dos gases detectados pelos sensores.

Assim, os objetivos propostos continuaram orientando as ações da pesquisa, visto que auxiliaram nas discussões dos resultados, entre eles, a compreensão das reações de combustão completa e incompleta e a relação delas com o conhecimento da cinética química. Adicionalmente, as medições demonstraram a eficiência do catalisador. Esses exemplos foram indicativos promissores que, subsidiaram as discussões dos impactos de cada um dos gases emitidos no meio ambiente e na saúde. Contudo, é importante ressaltar que algumas limitações associadas a variáveis que não puderam ser perfeitamente controladas foram observadas, mas de forma nenhuma prejudicaram os resultados. Existiram limitações, não necessariamente do método, mas provavelmente, das influências ambientais e da calibração dos sensores, no entanto, possíveis intercorrências desse tipo não invalidaram os dados, visto que os valores medidos se repetiram em diferentes momentos do experimento.

3.5 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a realização do experimento proposto foi essencial a atenção dada ao procedimento experimental, visto que os estudantes deveriam compreender o que de fato estava sendo explorado, o fenômeno das reações químicas da combustão, seus produtos e, sobretudo, a estratégia diferenciada da abordagem. Outro aspecto relevante, refere-se à participação efetiva do professor, que necessariamente teve um caráter interventivo em virtude dos cuidados de segurança, que envolveu desde a manobra do veículo às etapas finais. Portanto, a abordagem, integrou, além dos fenômenos, os objetos mediadores da aprendizagem. Deste modo, os estudantes foram orientados seguindo o procedimento experimental descrito abaixo.

Quadro 3 - Procedimento experimental

1. Configuração do Experimento.

- Certifique-se de que o sensor selecionado está corretamente conectado ao Arduino.
- Verifique o funcionamento do código correspondente no Arduino IDE e ajuste, se necessário.
- Utilize um cano em PVC sob medida encaixando-o no escapamento do veículo para canalizar os gases do escapamento até o sensor.

2. Preparação para a Coleta de Dados.

- Posicione o veículo em uma área ventilada.
- Aproxime o dispositivo (Protótipo) com o respectivo sensor à extremidade do cano PVC. Ligue o motor do veículo e deixe-o em funcionamento por 5 minutos. Gradualmente, registre os valores medidos do sensor em tempos definidos (ex.: 0 min e de 1 em 1 min, por vez) até atingir o tempo pré-determinado.
- Desligue o veículo e faça pelo menos duas novas medidas, registre-os.
- Opcionalmente, faça novas medidas usando um medidor portátil de monóxido de carbono calibrado em ppm. Nesse procedimento foi utilizado o KR1000. Anote os dados.

3. Especificidades dos sensores

- **MQ-6** (Detecção de vapores de hidrocarbonetos, como propano e butano).
- **MQ-7** (monóxido de carbono).
- **MQ-9** (Monóxido de carbono (CO) e gases inflamáveis (como metano e GLP) em baixas concentrações).
- **MQ-135** (Amônia (NH₃), dióxido de carbono (CO₂), e compostos orgânicos voláteis).

4. Registro de dados

- Use as tabelas abaixo para organizar os dados coletados em cada leitura para os respectivos sensores.

Condição	Tempo (min)	KR1000 (CO)	MQ-06 (Vapores)	MQ-07 (CO)	MQ-09 (CO e Gases inflamáveis)	MQ-135 (CO ₂)
Medidas com o motor em funcionamento	0					
	1,0					
	2,0					
	3,0					
	4,0					
	5,0					
Medidas pós funcionamento do motor	6,0					
	7,0					

5. Construção de Gráficos

Com os dados coletados, construa gráficos para ajudar na análise.

- Gráfico: Concentração x tempo

Relacione os dados dos diferentes sensores (MQ-06, MQ-7 MQ-9 para CO e MQ-135 para CO₂) para comparar a emissão de diferentes gases em função do tempo de funcionamento do veículo.

6. Discussão dos Resultados

- Relacionar as leituras obtidas com o funcionamento do catalisador.
- Discutir os impactos dos gases emitidos no meio ambiente e na saúde.

Fonte: elaboração própria, 2025.

4. RESULTADOS

4.1 LEVANTAMENTO DOS SUBSUNÇORES

Este trabalho contemplou, entre seus resultados, aqueles relacionados à avaliação diagnóstica. Ela foi realizada com os estudantes do 2º ano do Ensino Médio, abordando a temática dos catalisadores automotivos, sua composição, aplicação e os efeitos de seu uso. O objetivo foi o de identificar os subsunçores, isto é, os conhecimentos prévios dos estudantes. Essa ação mostrou-se útil ao longo da sequência didática, visto que direcionou tomadas de decisões acerca das intervenções didáticas necessárias à aprendizagem significativa de conceitos relacionados à combustão, cinética química, catálise e os efeitos da poluição veicular.

Os quadros (4, 5 e 6) e as figuras 10 e 11 que estão representadas abaixo se referem às respostas a um questionário do *Google Forms*, que foi estruturado com quatorze questões, sendo duas delas perguntas abertas (subjetivas) e, as demais, perguntas fechadas (objetivas).

O Quadro 4 sintetiza as proporções das respostas obtidas em 10 perguntas objetivas, que foram categorizadas de acordo com a porcentagem, isto é, as respostas que estão no quadro são as que obtiveram maior percentual de repostas, portanto, as mais frequentes. As outras repostas com os respectivos percentuais encontram-se no Apêndice B.

Quadro 4 - Dados obtidos nas perguntas referentes aos conhecimentos prévios dos estudantes.

Perguntas	Respostas mais frequentes	Percentual
1. O que você entende por catalisadores automotivos?	Não sei.	46,8%
2. Você sabe como os catalisadores automotivos funcionam?	Não.	66,1%
3. Você já ouviu falar sobre os metais platina, paládio e ródio?	Sim.	53,2%
4. Como você acredita que os catalisadores automotivos impactam a eficiência energética dos veículos?	Não sei.	35,5%
5. Na sua opinião, o quanto é importante o uso de catalisadores automotivos para a redução da poluição?	Muito importante.	54,8%
6. Você se sente bem-informado sobre o papel dos catalisadores automotivos na redução da poluição?	Não.	45,2%
7. Qual é a principal função de um catalisador em uma reação química?	Reduzir a energia de ativação da reação.	38,7%
8. Qual dos seguintes poluentes é gerado em maior quantidade na combustão incompleta de combustíveis fósseis?	Dióxido de carbono (CO ₂).	37,1%
9. Os catalisadores automotivos (catalisadores veiculares) têm como principal função:	Transformar gases poluentes em substâncias menos nocivas.	41,9%
10. A utilização de tecnologias limpas e catalisadores nas indústrias busca principalmente:	Minimizar a emissão de poluentes e otimizar processos químicos.	37,1%

Fonte: elaboração própria, 2025.

As questões 11 e 12 foram analisadas considerando a subjetividade das respostas. Os Quadros 5 e 6 apresentam a categorização das respostas fornecidas pelos estudantes para essas duas questões. O intuito foi o de verificar padrões de pensamento, níveis de compreensão e possíveis lacunas conceituais entre os estudantes. Portanto, elas foram agrupadas por categorias para que fosse possível realizar uma análise mais estruturada e comparativa, visto que se trata de respostas subjetivas, extraídas exatamente da maneira como os estudantes as escreveram. Em razão disso, foi necessário o uso dessa estratégia para facilitar o diagnóstico dos conhecimentos prévios.

Quadro 5 - Conhecimentos prévios dos estudantes referentes à pergunta 11 (Você acha que os catalisadores automotivos têm um impacto positivo ou negativo no meio ambiente? Justifique sua resposta).

Categoria das respostas	Percentual aproximado	Exemplos de respostas (exatamente como fornecidas pelos estudantes)
Não sabe/sem resposta	55%	“não sei”, “sei lá”, “n sei”, “não sei oq é são catalisadores automotivos, então n sei para q servem”
Impacto positivo sem justificativa	15%	“Eu acho que tem um impacto positivo”, “Sim”, “Acho que sim.”
Impacto positivo com justificativa	25%	“positivo o, porque ajudam a evitar a emissão de gases veiculares”, “Os catalisadores automotivos têm um papel fundamental na redução da poluição...transformam gases altamente tóxicos em substâncias muito menos nocivas”, “reduzem a poluição que sai pelo escapamento...deixando o ar mais limpo e contribuindo para a saúde das pessoas e do planeta”.
Impacto negativo	5%	“Negativo”, acho que sim, pois soltam radiação no ar”, “depende”

Fonte: elaboração própria, 2025.

Quadro 6 - Conhecimentos prévios dos estudantes referentes à pergunta 12 (Você conhece algum problema ambiental associado ao uso de catalisadores automotivos? Se sim, descreva).

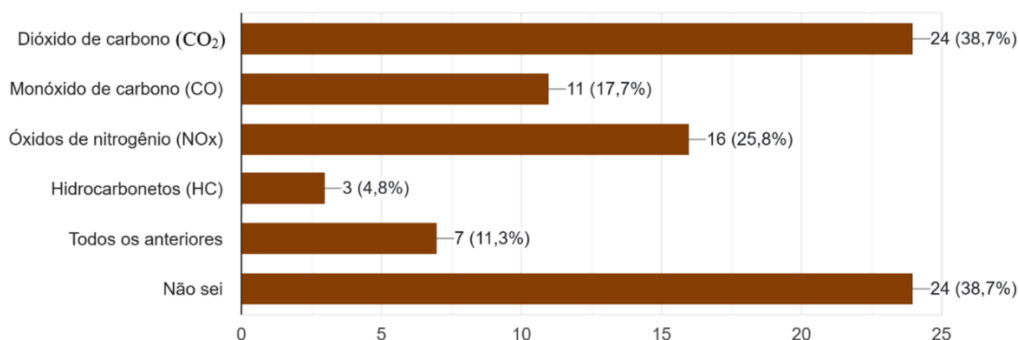
Categoria das respostas	Percentual aproximado	Exemplos de respostas ((exatamente como fornecidas pelos estudantes)
Não sabe/não conhece.	75%	“não”, “não sei”, “nao sei”, “não conheço”, “nenhum”, “nsei”, “nn sei.”
Reconhece impacto ambiental, mas de forma genérica.	12,5%	“O próprio aquecimento global é um problema.”, “Poluição do ar”, “A queima de combustível...”
Descreve corretamente problemas ambientais relacionados ao catalisador.	9,5%	“redução da poluição tóxica, mas uso e descarte de metais...”, “extração dos metais pode poluir solo e água...”
Resposta equivocada / não relacionada.	3%	“Que o desempenho do motor pode ser afetado”, “sim” (sem justificar).

Fonte: elaboração própria, 2025.

Com relação às perguntas 13 e 14, optou-se por apresentar os dados das respostas por meio de gráficos de barras. A escolha teve o intuito de facilitar a visualização no que se refere ao conhecimento dos estudantes sobre a linguagem empregada nas ciências que identificam substâncias e poluição veicular. Notadamente, contribuiu para uma análise mais precisa, visto que evidenciou quais os conceitos já compreendidos pelos estudantes e os que ainda precisariam

ser trabalhados com mais ênfase. Os estudantes foram abordados quanto as representações das fórmulas moleculares com as quais tinham familiaridade. O objetivo foi verificar se os estudantes compreendiam as fórmulas moleculares e seus significados, bem como avaliar o conhecimento deles acerca das alternativas aos catalisadores automotivos para a redução da poluição veicular.

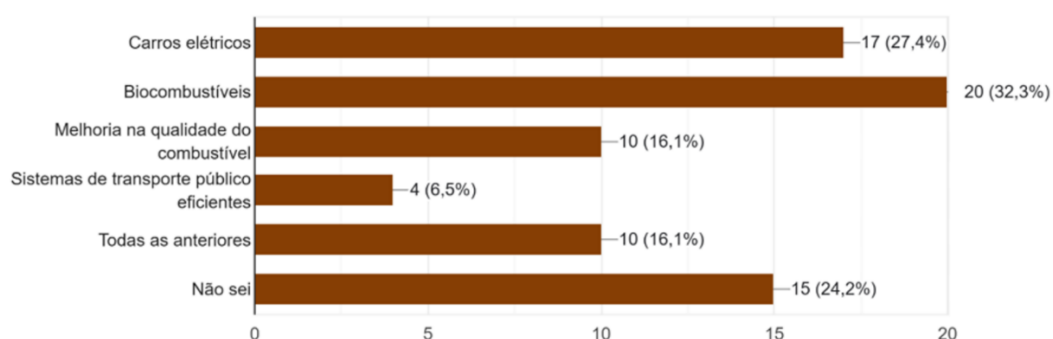
Figura 10 - Gráfico de respostas (pergunta 13) referente às representações que os estudantes têm familiaridade.



Fonte: elaboração própria, 2025.

A análise dos subsunçores mostrou-se fundamental para esta investigação, haja vista que, os dados obtidos ajudaram na identificação de lacunas de aprendizagem ou mesmo, na ausência de subsunçores. A exemplo do que se observou nas respostas dadas pelos estudantes, a quais estão representadas nas figuras 10 e 11. Os dados que constam nessas figuras evidenciaram aspectos relevantes e mostraram que o experimento com o Arduino, a explicação da programação nas aulas expositivas e outras demonstrações práticas contribuíram para transformar as percepções dos estudantes, algo que será exposto mais adiante.

Figura 11 - Gráfico de respostas (pergunta 14) referente ao conhecimento dos estudantes frente as alternativas aos catalisadores automotivos para a redução da poluição veicular.



Fonte: elaboração própria, 2025.

Logo, as ações previstas e adotadas se adequaram para ajudar na criação dos organizadores prévios (OPs), uma vez que elas deveriam ter como consequência, encaminhar os estudantes no sentido de que eles pudessem fazer diversas relações, tais como associar os

poluentes veiculares com os conhecimentos científicos e ainda, contextualizá-los com as alternativas tecnológicas disponíveis. Portanto, a estrutura cognitiva, que a princípio, se mostrou fragmentada, foi aos poucos tomando formas mais abrangentes.

Figura 12 - Registro de aulas expositivas



Fonte: elaboração própria, 2025.

A imagem apresentada remete às aulas expositivas, estruturadas em diferentes ações didáticas que contribuíram para a compreensão dos objetivos propostos. Nela observa-se a demonstração e explicação da programação desenvolvida no Arduino, projetada por meio do ambiente IDE. Em momento oportuno, realizou-se a contextualização do tema, buscando despertar o interesse dos estudantes com um experimento simples, como a medição do tempo de dissolução da vitamina C em diferentes temperaturas. Além disso, os alunos tiveram acesso aos computadores para responder aos questionários de coleta de subsunçores e à avaliação destinada a verificar a apropriação do conhecimento.

4.2 DADOS EXPERIMENTAIS

Os dados obtidos durante o procedimento experimental forneceram informações relevantes que contribuíram para o alcance dos objetivos do estudo, isto é, a compreensão dos fenômenos estudados e sua relação com o estudo da cinética química. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1 e indicados também nos gráficos. Suas análises foram base para as conclusões acerca da apropriação dos conhecimentos pelos estudantes e das aprendizagens esperadas. Foram, portanto úteis para promover as discussões críticas, estas, embasadas na compreensão das reações químicas, em especial, a queima dos combustíveis nos veículos automotores, seus produtos e as transformações sofridas no processo catalítico.

Na tabela os dados foram organizados de modo que as colunas representassem os valores medidos de acordo com a condição do motor, isto é, motor em funcionamento (5 medidas) e motor desligado após o funcionamento (2 medidas). Os dados foram dispostos em cada linha e correspondem aos registros individuais dos sensores em função do tempo, permitindo comparar, organizar e visualizar de forma estruturada os elementos de um conjunto.

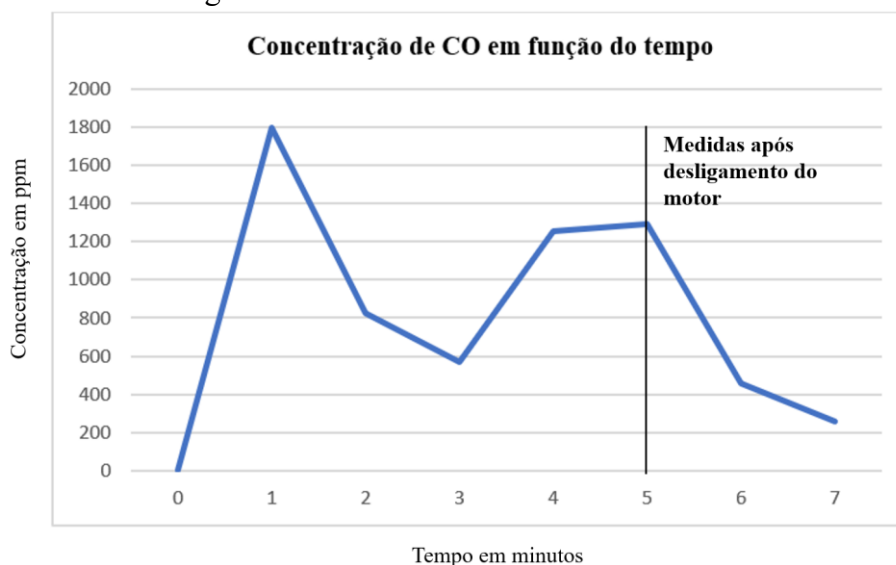
Tabela 1 - Dados experimentais

Condição	Tempo (min)	KR1000 (CO)	MQ-06 (Vapores)	MQ-07 (CO)	MQ-09 (CO e Gases inflamáveis)	MQ-135 (CO ₂)
Medidas com o motor em funcionamento	0	0	54	40	11	91
	1,0	1800	243	138	82	492
	2,0	825	272	166	63	378
	3,0	567	302	220	72	418
	4,0	1257	362	137	90	410
Medidas pós funcionamento do motor	5,0	1294	378	243	102	443
	6,0	458	68	92	21	87
	7,0	256	68	62	21	87

Fonte: elaboração própria, 2025.

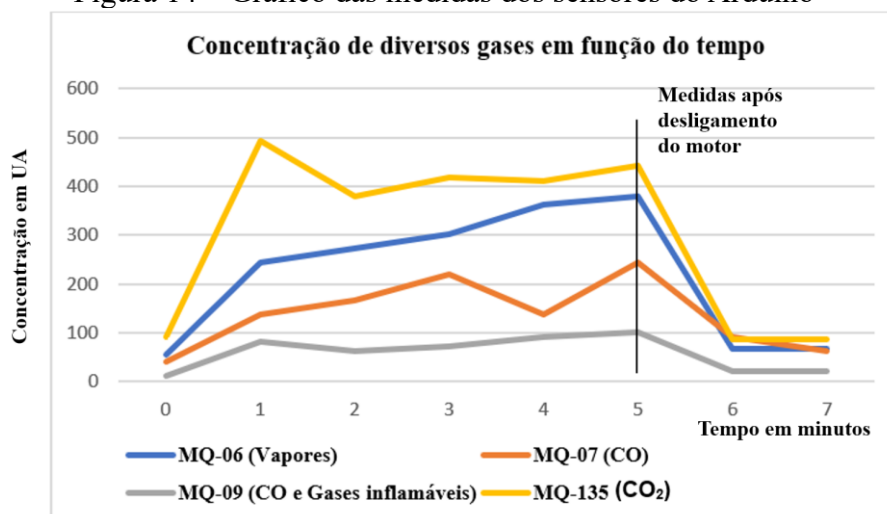
Com intuito de fazer análises melhores dos valores obtidos, os dados foram representados graficamente, considerando separadamente as medições dos dispositivos KR1000 e Arduino. Essa medida se justificou da necessidade de se observar a existência de tendências e padrões, nas variações das medidas, haja vista, que as unidades de medidas utilizadas nos dispositivos não foram consideradas as mesmas. Os gráficos seguintes, referem-se, portanto, a representação dos dados obtidos.

Figura 13- Gráfico das medidas do KR1000



Fonte: elaboração própria, 2025.

Figura 14 – Gráfico das medidas dos sensores do Arduino¹²

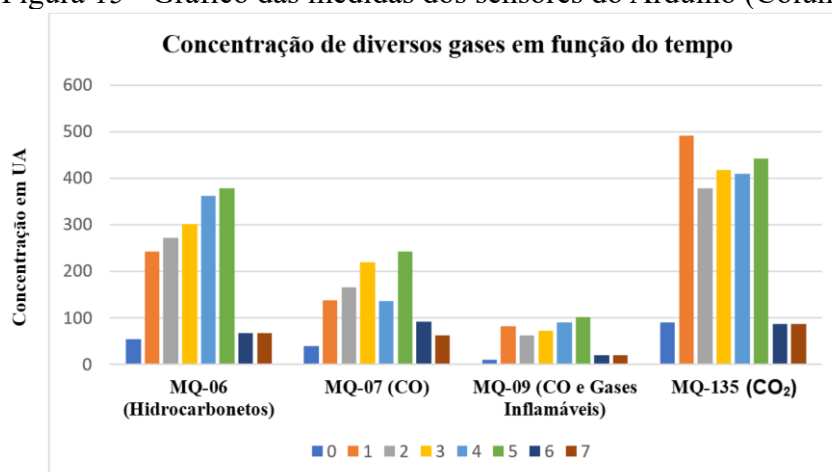


Fonte: elaboração própria, 2025.

Como conclusão, os dados coletados e representados evidenciaram objetivamente tendências. Estas foram observadas ao longo dos experimentos. Ressalta-se, portanto que os padrões identificados reforçaram a validade dos resultados, ora, esperados. Notadamente, as representações visuais obtidas foram fundamentais para sintetizar as informações, destacando os principais achados do uso do Arduino nesse estudo.

As análises dos dados e das observações que foram identificadas relacionam-se, portanto, com a eficiência do catalisador. Neste caso, indicam, sobretudo, que se referem aos produtos resultantes das reações da combustão nos motores veiculares.

Figura 15 - Gráfico das medidas dos sensores do Arduino (Coluna)



Fonte: elaboração própria, 2025.

¹² Os sensores utilizados forneceram valores em UA (unidade arbitrária), não em ppm. Não houve conversão entre essas unidades, pois não foram realizadas calibrações técnicas dos sensores. Além disso, os sensores necessitam de um tempo de estabilização antes do uso, o que torna a calibração desnecessária neste contexto. O objetivo foi que os estudantes compreendessem e analisassem as curvas obtidas graficamente, sem a necessidade de equivalência direta entre UA e ppm.

Ainda que tais afirmações tenham sido feitas, é fundamental destacar que, como em todo estudo baseado em experimentação, os resultados precisam ser analisados de forma crítica, considerando possíveis limitações. No entanto, eles demonstraram evidências que podem enriquecer o ensino de ciências, dada sua abordagem.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DIAGNÓSTICO DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS (SUBSUNÇORES)

Essa parte da análise dos dados terá como foco a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS). Portanto, nela se levou em consideração que a aprendizagem significativa acontece quando a nova informação se liga a conceitos relevantes que já estão na estrutura cognitiva (Ferreira et, al. 2020). Para isso, as perguntas que foram sugeridas, tiveram como objetivo diagnosticar a existência desses conceitos.

Em virtude disso, é importante destacar que o diagnóstico dos conhecimentos prévios contou com uma amostra composta por 62 estudantes, número que confere representatividade suficiente para a análise proposta. O comprometimento dos participantes foi um aspecto relevante, uma vez que, ao responderem aos questionários, foram incentivados a manter a sinceridade em suas colocações, considerando que se tratava de um instrumento de caráter diagnóstico. Tal postura contribuiu para a fidedignidade dos dados coletados e para a consistência das interpretações realizadas.

Outro elemento importante refere-se ao perfil socioeconômico dos estudantes envolvidos. Todos eram estudantes da escola pública na qual foi realizado o estudo. No geral, pertencem a famílias de baixa renda, recebem benefícios governamentais, tanto em âmbito estadual quanto federal, para apoiar sua permanência nos estudos. Esse contexto reforçou a pertinência da investigação, pois evidenciou a necessidade de adaptação dos recursos pedagógicos a serem utilizados às realidades educacionais.

Nessa perspectiva, se pretendeu analisar as respostas diagnosticando a existência ou não de fragilidades conceituais, valorizando sobretudo as respostas dadas, considerando as respostas com maior frequência. Essa ação de considerar a maioria das respostas dadas pelos estudantes foi importante, pois facilitou a constatação da ausência de conceitos estruturantes para a apropriação dos conhecimentos acerca dos catalisadores automotivos. O quadro abaixo traz os principais indicativos relacionados às constatações.

Quadro 7 - Principais indicativos relacionados aos subsunçores.

Perguntas	Respostas mais frequentes	%	Diagnóstico dos subsunçores existentes
1. O que você entende por catalisadores automotivos?	Não sei.	46,8%	Os resultados indicaram que a definição e o funcionamento dos catalisadores eram desconhecidos por boa parte dos estudantes. Portanto, com lacunas conceituais básicas. Isso sugeriu tratar-se de uma nova informação.
2. Você sabe como os catalisadores automotivos funcionam?	Não.	66,1%	

3. Você já ouviu falar sobre os metais platina, paládio e ródio?	Sim.	53,2%	Apesar de mais da metade dos estudantes afirmar que já ouviu falar em platina, paládio e ródio, percebeu-se que eles não conseguiram estabelecer a conexão entre esses elementos e o papel do catalisador, o que reforça o diagnóstico de que eles não compreendem o funcionamento do catalisador automotivo.
4. Como você acredita que os catalisadores automotivos impactam a eficiência energética dos veículos?	Não sei.	35,5%	As respostas 'Não sei' são significativas, elas revelaram a ausência de subsunçores que conectassem o conceito de catalisador e noções fundamentais de tecnologia. Esperava-se que os estudantes reconhecessem que os catalisadores não interferem na eficiência energética dos processos, mas sim na velocidade das reações químicas, o que não ficou claro para uma parcela expressiva deles.
5. Na sua opinião, o quanto é importante o uso de catalisadores automotivos para a redução da poluição?	Muito importante.	54,8%	Embora a maioria dos estudantes considerarem o uso de catalisadores muito importante para a redução da poluição, eles demonstraram em outras respostas dificuldades em associar sua função principal, que é a de transformação dos gases poluentes em substâncias menos nocivas.
6. Você se sente bem-informado sobre o papel dos catalisadores automotivos na redução da poluição?	Não.	45,2%	Isso é perceptível quando parte significava deles reconhecem não estarem bem-informados acerca do papel dos catalisadores na redução da poluição.
7. Qual é a principal função de um catalisador em uma reação química?	Reduzir a energia de ativação da reação.	38,7%	O reconhecimento da principal função do catalisador em uma reação química, por parte dos estudantes, representa um conhecimento sólido. Portanto, serve como base conceitual no estudo relacionado a cinética química. Embora a maior parte não terem relacionado que o catalisador atua diminuindo a energia de ativação. O resultado constituiu-se em um subsunçor robusto na apropriação do conhecimento químico em cinética.
8. Qual dos seguintes poluentes é gerado em maior quantidade na combustão incompleta de combustíveis fósseis?	Dióxido de carbono (CO ₂).	37,1%	A resposta mais comum dada pelos estudantes revela o desconhecimento da formação de monóxido de carbono nas queimas incompletas, sendo que a produção de dióxido de carbono é reconhecidamente o produto gerado nesse tipo de combustão.
9. Os catalisadores automotivos (catalisadores veiculares) têm como principal função:	Transformar gases poluentes em substâncias menos nocivas.	41,9%	As respostas dadas pelos estudantes a essas perguntas reforçam a ideia de que eles demonstraram dificuldades em identificar a função principal dos catalisadores. Portanto, observou-se a existência de lacunas conceituais, ficando evidente nas respostas o desconhecimento sobre o papel dos catalisadores tanto em veículos quanto em processos industriais, onde são empregados como parte de tecnologias limpas voltadas à mitigação de impactos ambientais.
10. A utilização de tecnologias limpas e catalisadores nas indústrias busca principalmente:	Minimizar a emissão de poluentes e otimizar processos químicos.	37,1%	

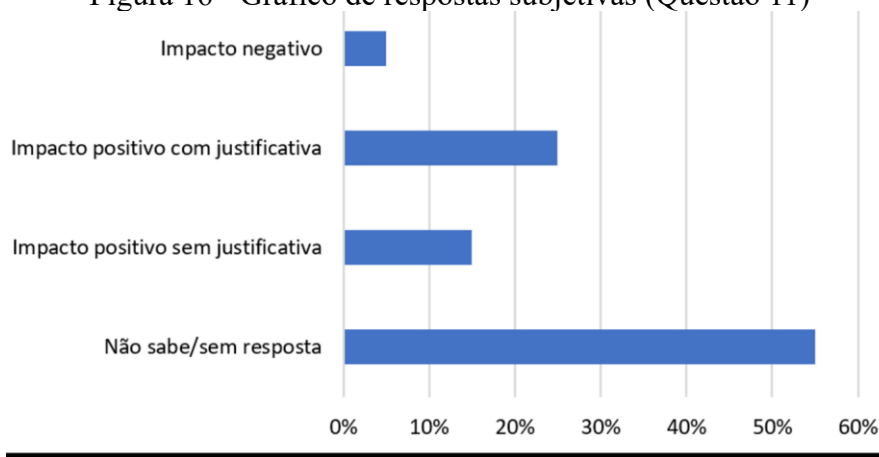
Fonte: elaboração própria, 2025.

Outras análises relevantes dos conhecimentos prévios estão representadas nos gráficos das figuras 16 e 17 abaixo. Os gráficos se referem às respostas dadas pelos estudantes quando solicitados a eles que as respondessem subjetivamente, isto é, sem considerar alternativas de

resposta de natureza objetiva. A primeira indagação se referiu ao que eles achavam sobre os impactos positivos e negativos decorrentes do uso do catalisador automotivo no meio ambiente, nesse caso, eles deveriam justificar suas respostas.

A análise dos resultados evidenciou a ausência de subsunçores importantes, indicando algumas fragilidades na estrutura conceitual dos estudantes, fragilidades essas que extrapolam os limites puramente conceituais. Tais evidências foram comprovadas, sobretudo, ao se comparar as respostas dadas pelos estudantes às perguntas objetivas com as subjetivas. Identificou-se nelas, que eles desconheciam o dispositivo chamado de catalisador automotivo, bem como o seu funcionamento e, adicionalmente, os impactos decorrentes do seu uso no meio ambiente. Portanto, esses dados, reforçam, segundo a Teoria da Aprendizagem Significativa, a importância que deve ser dada ao papel dos subsunçores no processo de ensino e aprendizagem e como inserir os Organizadores Prévios (OPs), nas ausências desses subsunçores.

Figura 16 - Gráfico de respostas subjetivas (Questão 11)



Fonte: elaboração própria, 2025.

A segunda indagação se referiu ao conhecimento que eles tinham acerca de algum problema ambiental associado ao uso de catalisadores automotivos.

Figura 17 - Gráfico de respostas subjetivas (Questão 12)



Fonte: elaboração própria, 2025.

No entanto, pela análise dos resultados obtidos (respostas dos estudantes), embora se pareça contraditório, é importante destacar que alguns subsunçores foram identificados. A exemplo das respostas dadas sobre a identificação correta da função de um catalisador em uma reação química, que é a de reduzir a energia de ativação, essa resposta foi dada por 37,1% dos estudantes. Esse entendimento, mesmo que não seja generalizado, representa o conhecimento de um conceito baseado nas aplicações químicas e tecnológicas.

Além disso, destaca-se a existência de subsunçores atitudinais, isto é, com ênfase na abordagem CTSA, já que a maioria dos estudantes, cerca de 54,8%, mesmo não conhecendo o dispositivo, o considera muito importante para a redução da poluição e 41,9% o associam à transformação de gases poluentes em substâncias menos nocivas. Essa percepção reflete uma ideia-âncora relacionada à relevância científica, tecnológica, social e ambiental do tema, essencial para despertar a predisposição para aprender, conforme os princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS).

Por outro lado, observou-se um subsunçor extremamente importante, que está relacionado à resposta de 53,2% dos estudantes, que afirmaram conhecer os nomes platina, paládio e ródio. Ainda que as respostas posteriores não tenham convergido com o princípio de funcionamento do catalisador, pois foi identificado que eles apresentaram dificuldade em relacioná-los à função catalítica.

Diante do exposto, a segunda aula da Sequência Didática teve caráter meramente expositivo. O objetivo foi o de criar condições propícias na formação dos Organizadores Prévios (OPs). Essa estratégia demonstrou-se útil para fornecer bases conceituais e facilitar a aprendizagem do conhecimento sobre cinética química a partir dos subsunçores já existentes.

O primeiro OP foi expositivo, com foco na explicação da função e dos componentes dos catalisadores automotivos. Ele foi apresentado por meio de imagens de catalisadores automotivos, detalhando a localização dele logo após o motor do veículo e seu funcionamento. Foi demonstrado por meio de vídeos, que seu uso converte os principais poluentes gerados na combustão. Portanto, procurou-se assim, suprir a ausência de subsunçores conceituais, como os que se referem ao fenômeno da combustão e os produtos formados em decorrência dele. Haja vista que, em uma das perguntas, sobre a familiaridade dos estudantes com as representações das fórmulas das substâncias gasosas, 38,7% dos estudantes não apresentavam nenhuma familiaridade com elas, outros 38,7% reconheciam apenas a fórmula do CO_2 .

Considerando que a ausência de subsunçores foi fortemente identificada no desconhecimento do catalisador automotivo, sua introdução, por meio do organizador prévio foi útil na discussão sobre a poluição gerada por veículos. A ideia central foi apresentar o

catalisador como uma solução tecnológica, cuja demanda atende a necessidade de um sistema de controle de emissões, que transforma, sem eliminar ou criar, os poluentes. Portanto, essa estratégia privilegiou a proposta da aprendizagem significativa, por ter oferecido a apropriação dos conhecimentos científicos alinhados a questões ambientais.

Com relação aos subsunçores relacionados a conceitos químicos, embora estes não tenham sido identificados em sua totalidade, percebeu-se que parte dos estudantes já compreendia alguns desses conceitos. Embora se tenha verificado, timidamente, tais conhecimentos prévios, não foi adequado abrir mão dos organizadores prévios. Isso, devido a possibilidade de usá-los para fazer uma ponte cognitiva eficaz, facilitando a introdução desse novo conhecimento, que versou sobre os catalisadores automotivos.

Nesse contexto, os organizadores prévios estiveram presentes na aula seguinte (aula 3). A temática do conhecimento científico aplicado aos catalisadores foi utilizada como eixo estruturante desses OPs. Neles, se buscou focar na linguagem científica por meio da simbologia química, na compreensão das reações de combustão que ocorrem nos motores, nos fatores que influenciam a velocidade das reações químicas segundo a cinética, e na explicação dos fenômenos de oxidação e redução envolvidos no funcionamento dos catalisadores. Por fim, a avaliação diagnóstica foi essencial no levantamento dos subsunçores, isso permitiu, dentro da SD, estabelecer as conexões necessárias entre os conhecimentos já adquiridos e os novos, logo, a estrutura da SD promoveu a aprendizagem mais significativa e com abordagem mais contextualizada.

5.2 ANÁLISE DO EXPERIMENTO E DOS IMPACTOS NA APRENDIZAGEM

Na análise dos impactos na aprendizagem dos estudantes, foi considerado que nesse estudo houve o desenvolvimento de um protótipo eletrônico baseado no Arduino, usando seu software de programação (IDE). Portanto, este dispositivo foi essencial na aplicação e na execução da SD, foi com ele que se demonstrou por meio da atividade experimental proposta a análise da emissão dos gases provenientes da combustão de combustíveis automotivos.

Diante disso, essa parte da análise dos resultados teve como fundamento a Teoria da Mediação Cognitiva de Vygotsky. Nessa perspectiva se buscou enfatizar a relação entre a linguagem e os processos mentais superiores para qualificar a aprendizagem por meio da experiência prática e da interação com essa ferramenta educacional. A avaliação, foi realizada através de questões específicas, na qual o objetivo foi medir/quantificar a apropriação e a consolidação de conhecimentos pelos estudantes, priorizando a compreensão dos fenômenos químicos envolvidos e suas implicações, substituindo, portanto, a memorização mecânica de

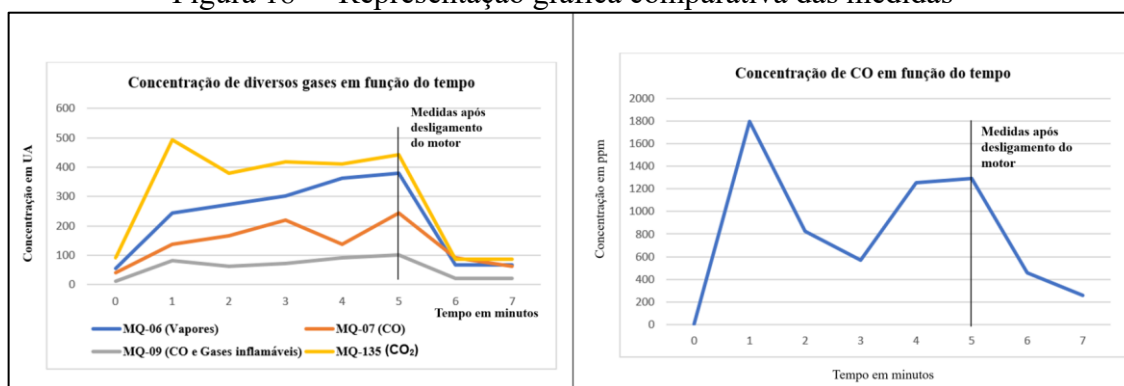
conceitos, fórmulas ou equações, mas avaliando o desenvolvimento de outras competências e habilidades.

Notadamente, o processo de avaliação da aprendizagem convive com desafios duradouros, especialmente no que se relaciona ao ensino de Ciências. No caso específico deste estudo, que abrangeu metodologicamente, dois aspectos, o caráter investigativo e a análise dos dados obtidos por meio da experimentação, foi necessário a adoção de estratégias que pudessem mensurar minimamente a aprendizagem dos estudantes, sem valorização da memorização. Luckesi (2014), defende que a avaliação deve transcender a mera memorização, sendo ela, o instrumento de diagnóstico e de aprimoramento pedagógico. Portanto, o objetivo central da verificação da aprendizagem adotada nesse estudo, levou em consideração o desenvolvimento de práticas educativas que valorizassem os conhecimentos prévios dos estudantes, refletissem sobre os métodos e as práticas avaliativas e considerassem as exigências do próprio sistema de ensino.

Nesse contexto, a estratégia avaliativa utilizada, considerou as respostas dos estudantes a um questionário, que foi respondido pelos estudantes após a atividade experimental e, também, após as aulas expositivas. Nestas aulas foram trabalhados os conceitos referentes aos objetos de conhecimento relacionados a cinética química. Outro método adotado na investigação das compreensões conceituais e habilidades desenvolvidas, foi o uso de um estudo dirigido nas aulas expositivas, explorando os dados, confrontando-os. O que será melhor explicado mais adiante.

Inicialmente, a análise dos resultados baseou-se na organização dos dados experimentais (Tabela 1), que foram descritos em representações gráficas, conforme ilustrado na Figura 18. Eles foram coletados pelos estudantes na atividade experimental, usando o protótipo eletrônico.

Figura 18- – Representação gráfica comparativa das medidas¹³



Fonte: elaboração própria, 2025.

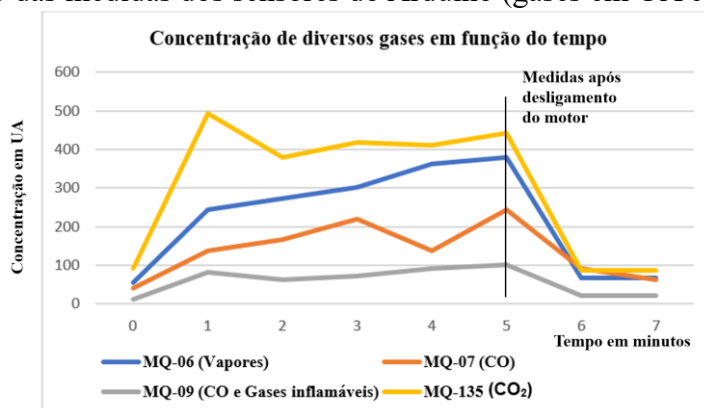
¹³ As medidas dos sensores em Unidade Arbitrária (UA) não foram convertidas para ppm do KR1000, pois não houve calibração técnica dos sensores. A ausência de correlação matemática não representa fragilidade, mas sim uma opção metodológica: privilegiou-se a análise qualitativa das curvas e tendências gráficas pelos estudantes.

A organização gráfica teve papel fundamental na análise dos resultados desse estudo, incluindo os impactos dele na aprendizagem, visto que, na sua representação ficou revelado o comportamento dos gases, que já era o esperado, isto é, o dinamismo da concentração dos diferentes gases que foram medidos, monitorados, registrados e utilizados com finalidade pedagógica, precisamente voltada para a aprendizagem.

Na construção dos gráficos levou-se em consideração a relação entre a concentração e o tempo de observação. No eixo vertical, encontram-se representadas as concentrações, expressas nas unidades (ppm e UA) pertinentes ao experimento, enquanto no eixo horizontal encontra-se o tempo, medido em minutos. As curvas dispostas nos gráficos correspondem aos valores das concentrações, todas obtidas em função da leitura dos sensores incluídos no protótipo e controlados pela programação desenvolvida no Arduino. Ressalta-se que as curvas descrevem a média de 50 leituras a cada segundo.

A organização visual facilitou a identificação de tendências, como aumentos progressivos, estabilizações ou reduções ao longo do período analisado, tornando mais clara a interpretação dos resultados e a comparação entre diferentes momentos da coleta. Analisando-os, observou-se que, a partir do tempo inicial (0 min), todos os sensores (KR1000, MQ-06, MQ-07, MQ-09 e MQ-135) registraram um aumento significativo nos valores iniciais, indicando a emissão imediata dos gases provenientes da combustão veicular. Durante o período de funcionamento do motor (de 1 a 5 minutos), as concentrações dos gases apresentaram flutuações e oscilações, mas a tendência geral se manteve em patamares coerentes, como se observa no gráfico da figura 19, em que a concentração de CO₂ é maior que os demais gases. Contudo, após os 5 minutos de operação do motor, nas medidas pós-funcionamento (6 e 7 minutos), há uma queda acentuada nos valores de todos os sensores, refletindo a diminuição das concentrações dos gases analisados à medida que a fonte de emissão cessa ou diminui, com tendência a zero.

Figura 19 - Gráfico das medidas dos sensores do Arduino (gases em UA e tempo em minutos)



Fonte: elaboração própria, 2025.

Os padrões observados tiveram o potencial de subsidiar discussões científicas sobre a combustão completa e incompleta, bem como tecnológicas, acerca dos impactos ambientais frente a eficiência do catalisador automotivo. Apesar de possíveis limitações metodológicas, como a influência de fatores externos, tal como a calibração dos sensores, os dados em si, demonstraram o enriquecimento do ensino de conceitos químicos relacionados a combustão. Como a compreensão dos estudantes sobre os conteúdos científicos, que são essenciais para fortalecer valores socioambientais e promover atitudes responsáveis diante dos desafios atuais. Os estudantes, ao perceberem, por exemplo, que a química dos gases não se limita a fórmulas e reações, mas está diretamente ligada à qualidade do ar que respiramos, à saúde individual e coletiva e ao equilíbrio climático do planeta, eles passam a enxergar o conhecimento como ferramenta de transformação. Essa consciência amplia a percepção de que aprender ciência é também aprender cidadania: cuidar de si, da comunidade e do futuro ambiental do Planeta.

Para avaliar a efetividade da metodologia na apropriação desses conceitos pelos estudantes, e demonstrar o valor da aprendizagem mediada pelo Arduino, incluiu-se neste estudo um método avaliativo da apropriação dos conhecimentos. Essa avaliação buscou aferir a compreensão dos estudantes sobre diversos objetos de aprendizagem em Química, como tipos de combustíveis, reações de combustão (reagentes e produtos), combustão completa e incompleta, poluição atmosférica e cinética química, com ênfase na catálise heterogênea. Para isso, os estudantes responderam a um questionário de 15 questões.

Os resultados deste questionário, apresentados no Quadro 8, expressam as respostas esperadas e a respectiva porcentagem de acertos, fornecendo uma mensuração diagnóstica da apropriação/sistematização do conhecimento dos participantes. Os percentuais detalhados, incluindo as outras opções de respostas encontram-se no Apêndice C.

Quadro 8 - Resultados do questionário

Pergunta	Resposta esperada	Porcentagem
1. O que ocorre principalmente durante a queima da gasolina dentro de um motor de carro?	Uma reação química entre a gasolina e o oxigênio, liberando energia, gás carbônico e água.	61,4%
2. Por que o etanol é frequentemente considerado um combustível "mais limpo" em comparação com a gasolina?	Devido interferir menos no ciclo do carbono, sendo um combustível renovável.	54,4%
3. Qual é o principal gás poluente formado quando a gasolina não queima completamente?	Monóxido de carbono (CO).	68,4%
4. Considerando os combustíveis fósseis, como a gasolina, qual das opções descreve melhor seu impacto nas reações de combustão?	Eles podem gerar gases poluentes como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos que não foram totalmente queimados.	78,9%
5. Qual é a diferença fundamental entre a queima completa e a queima incompleta de um combustível?	A queima completa produz gás carbônico (CO ₂) e água (H ₂ O), enquanto a	75,4%

	incompleta pode liberar monóxido de carbono (CO) e fuligem.	
6. Qual gás liberado pelos veículos pode prejudicar diretamente a saúde humana ao se ligar à hemoglobina no sangue, dificultando o transporte de oxigênio?	Monóxido de carbono (CO).	56,1%
7. Como a queima de combustíveis (gasolina e óleo diesel) em motores de carros está relacionada ao fenômeno da "chuva ácida"?	Óxidos de nitrogênio e enxofre, liberados na combustão, reagem com a água da chuva, formando ácidos.	54,4%
8. Qual é o principal impacto ambiental associado ao aumento da concentração de gás carbônico (CO ₂) na atmosfera?	Aquecimento global e alterações no clima do planeta	52,6%
9. Qual é a principal função do catalisador presente nos veículos automotores?	Transformar os gases poluentes em substâncias menos prejudiciais antes de serem liberados no ambiente.	70,2%
10. Que tipo de transformação química ocorre dentro do catalisador automotivo?	O monóxido de carbono (CO) é convertido em dióxido de carbono (CO ₂), e os óxidos de nitrogênio (NOx) são transformados em nitrogênio (N ₂).	71,9%
11. Qual é uma das principais razões para a obrigatoriedade do uso de catalisadores automotivos em muitos países?	Ajudar a cumprir leis ambientais, diminuindo a emissão de gases que prejudicam o meio ambiente e a saúde.	54,4%
12. Em uma reação química, qual é o papel de um catalisador?	Aumentar a velocidade da reação sem ser gasto durante o processo.	56,1%
13. Por que é importante entender conceitos científicos, como o uso de catalisadores, na sociedade atual?	Para poder tomar decisões mais informadas sobre tecnologias e questões ambientais.	71,9%
14. O uso de um catalisador em uma reação química permite que:	A quantidade de energia necessária para iniciar a reação (energia de ativação) seja menor.	57,9%
15. Na reação química, como a que ocorre no catalisador automotivo, o catalisador:	Está em um estado físico diferente das substâncias que reagem e facilita a reação em sua superfície.	47,4%

Fonte: elaboração própria, 2025.

A figura 20, representada abaixo fornece uma visualização gráfica dos percentuais de acertos, conforme indicados no quadro 9.

Figura 20 - Distribuição percentual das respostas esperadas por questão



Fonte: elaboração própria, 2025.

Essa representação foi importante para a análise dos dados, tendo em vista que deu uma real dimensão do aproveitamento dos estudantes. Sua análise indica a proficiência ou consolidação dos conhecimentos dos estudantes em relação aos tópicos avaliados em cada pergunta.

A análise da apropriação do conhecimento, conforme representado na Figura 20 e nos indicadores de aprendizagem do Quadro 9, foi realizada com base no percentual de acertos em cada questão, porém sem critério classificatório, visto que o objetivo não foi o de rotular os estudantes com base em notas, mas, através da mediação, criar possibilidade de diálogo entre professor e estudantes, favorecendo a construção/apropriação do conhecimento (Carmo e Passos, 2022; Oliveira *et al.*, 2018). Para isso, considerou-se o aspecto da apropriação da informação sendo e essencial para compreender se a mediação da aprendizagem foi efetiva na sistematização do conhecimento.

As respostas foram organizadas conforme o nível de apropriação do conhecimento e categorizadas segundo o grau de sistematização, sendo consideradas como; consolidada, adequada e em construção. Isso vai ao encontro da ideia de que [...] o julgamento da aprendizagem deve se basear na comparação entre o que o estudante já alcançou e o que ainda não alcançou, sempre em relação aos objetivos previamente definidos para a situação de ensino-aprendizagem [...] (Ferreira, 2008).

Sob essa perspectiva, a Teoria de Resposta ao Item (TRI) surge nesse contexto como um referencial que possibilita compreender se o estudante acertou, por ter consolidado o conhecimento, ou errou, por não ter ainda tal consolidação. Pesquisadores da TRI defendem que esse processo de avaliação representa, de fato, a relação entre a probabilidade de um estudante responder corretamente a um item de acordo com suas habilidades (Valle, 2000; Andrade; Laros; Gouveia, 2010).

Por essa razão, foi utilizado a TRI, como ferramenta de auxílio na análise dos indicadores de aprendizagem, que foram consideradas como habilidades desenvolvidas, isto é, nível de sistematização do conhecimento, deduzindo-se, portanto, a dificuldade ou não das respostas fornecidas pelos estudantes. Nesse sentido, arbitrariamente, considerou-se que desempenhos iguais ou superiores a 70% indicaram a sistematização do conhecimento consolidado. Os resultados entre 50% e 70% foram considerados como conhecimento adequado e aqueles abaixo de 50% foram categorizados como em fase de construção, nesse caso, sinalizando que parte dos objetivos não foram atingidos, mas que outras ações deveriam ser realizadas para suprir esse evento.

O Quadro 09 detalha cada uma das categorias, relacionando-as com as respostas às perguntas correspondentes e, adicionalmente suas justificativas. Procurou-se evidenciar a coerência entre as respostas e os critérios estabelecidos.

Quadro 9 - Indicadores de aprendizagem segundo as respostas dadas.

Categoria	Perguntas/Questões	Justificativa
Sistematização consolidada do conhecimento.	4, 5, 9, 10 e 13	A análise dos dados da atividade investigativa revelou que mais de 70% dos estudantes demonstraram boa compreensão sobre os combustíveis fósseis e seus impactos ambientais, identificaram a diferença entre combustão completa e incompleta, suas condições e produtos formados. Compreenderam também os efeitos ambientais da queima inadequada de combustíveis, como a liberação de monóxido de carbono (CO) e gases do efeito estufa. Além disso, assimilaram a função dos catalisadores automotivos e os processos químicos que ocorrem neles, responsáveis por transformar poluentes tóxicos em substâncias menos nocivas.
	As respostas a essas perguntas superaram a marca de 70% de acertos, o que demonstrou um alto nível de proficiência e/ou forte consolidação dos conhecimentos relacionados aos seus respectivos tópicos.	
Sistematização adequada do conhecimento.	1, 2, 3, 6, 7, 8, 11, 12 e 14	Entre 50% e 70% dos estudantes demonstraram compressão dos processos de combustão e reconheceram a liberação de energia e formação de CO ₂ na queima da gasolina, e que o etanol é um combustível mais limpo por produzir menos poluentes ¹⁴ . Identificaram o monóxido de carbono (CO) como o principal gás tóxico resultante da combustão incompleta, compreendendo que esse gás se liga à hemoglobina, dificultando o transporte de oxigênio no organismo humano. Relacionaram a queima de combustíveis com a formação da chuva ácida, causada pela liberação de óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio. Reconheceram, com limitações, a importância dos catalisadores automotivos na redução de poluentes, e o seu papel em reações químicas como facilitador da transformação sem ser consumido no processo.
	As respostas a essas perguntas foram consideradas satisfatórias, mas há uma parcela considerável de estudantes que ainda não consolidou o conhecimento.	
Sistematização do conhecimento em construção.	15	O resultado reflete a complexidade maior do objeto de conhecimento dessa pergunta. Os estudantes, nesse caso deveriam compreender simultaneamente, o papel do catalisador, os estados físicos envolvidos no processo e a ideia de a reação química ocorrer em uma superfície sólida. Esses conceitos são mais abstratos, visto que exigem noções de química mais apuradas, a exemplo das interações a nível molecular.
	Menos de 50% dos estudantes responderam a essa pergunta, satisfatoriamente, evidenciando baixa apropriação do conhecimento.	

Fonte: elaboração própria, 2025.

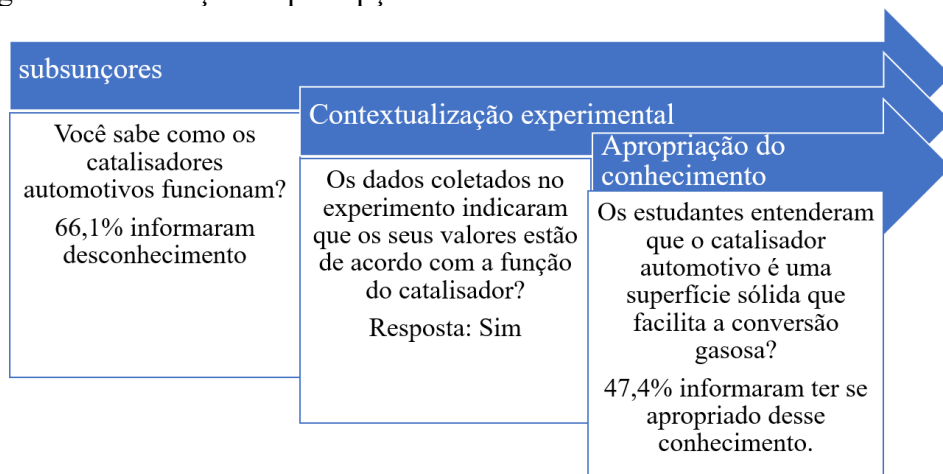
¹⁴ Do ponto de vista do aquecimento global, a redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂) é um aspecto positivo. Contudo, há debates relevantes que podem ser levantados em torno desse tema. Pode-se considerar, por exemplo, que determinados combustíveis possuem maior “crédito de carbono”, conceito frequentemente utilizado em práticas de compensação ambiental, como ocorre em companhias aéreas e outras empresas que adotam programas de créditos de carbono para mitigar seus impactos.

A análise detalhada das categorias de apropriação do conhecimento, conforme apresentado no Quadro 09, revelou, com base nos dados quantitativos, que os estudantes demonstraram domínio de conceitos abrangentes e interdisciplinares., como os impactos ambientais decorrentes das ações humanas, que perpassam áreas como Biologia e Geografia. Houve também um entendimento adequado da linguagem química e de representações simbólicas básicas, como as equações químicas.

Contudo, observou-se que o nível de apropriação do conhecimento diminuiu em questões que exigem maior sistematização e profundidade conceitual. Um exemplo notável é a menor compreensão dos estudantes acerca das reações químicas que ocorrem no catalisador automotivo, abordada na pergunta 15 do questionário. Entre as alternativas apresentadas aos estudantes, esperava-se que eles identificassem que o catalisador automotivo se apresentava no estado físico diferente das substâncias que reagiam entre si, mas que esta era facilitada em função do fenômeno ocorrer em uma superfície sólida. Consequentemente, se identificou essa dificuldade, isto é, mais da metade dos estudantes não conseguiram relacionar o conceito teórico da catálise heterogênea com essa aplicação prática.

Considerando que parte significativa dos estudantes tiveram dificuldade em correlacionar os dados empíricos com a função do catalisador automotivo, houve a necessidade de confrontar esse resultado aos demais para compreender a percepção dos estudantes. Isso foi essencial, tanto para diagnosticar possível falha na sequência didática, como para auxiliar na tomada de decisões acerca das intervenções pedagógicas. Portanto, os dados relativos aos conhecimentos que envolvem o catalisador automotivo foram reexaminados, considerando, desde os referentes aos subsunçores, passando pelos dados experimentais e chegando às respostas dos estudantes na pergunta de número 15.

Figura 21 - Evolução da percepção dos estudantes acerca do catalisador automotivo



Fonte: elaboração própria, 2025.

A figura 21 mostra que o percentual de estudantes que desconheciam o funcionamento de catalisador automotivo era de 66,1%, como já mencionado anteriormente. Trata-se de um percentual alto, mas de fácil compreensão, visto que esse dispositivo não faz parte do contexto de vida diário dos estudantes. Ao explorá-lo na contextualização no ensino de ciências, por meio da atividade investigativa proposta e com auxílio dos dados experimentais, os estudantes aumentaram, levemente, o nível de conhecimento. No entanto, os mecanismos de funcionamento não ficaram claros para eles, mas outros conhecimentos, que representam outras dimensões de aprendizagem, como as ambientais, passaram a integrar de forma mais significativa seus processos mentais, o que valida as teorias da aprendizagem nas quais esse trabalho se baseou.

É, portanto, natural que conceitos de maior complexidade sejam mais difíceis de serem sistematizados, pois são conhecimentos mais elaborados. Desta forma, levou-se em consideração que, os dados experimentais, a princípio, não foram suficientes para conclusões dessa magnitude. Existiu, portanto, necessidade de aprofundamentos conceituais que levassem os estudantes à construção do conhecimento de maneira mais significativa. No caso aqui em específico, tais aprofundamentos visou aprimorar a compreensão da função e aplicação dos catalisadores estudados.

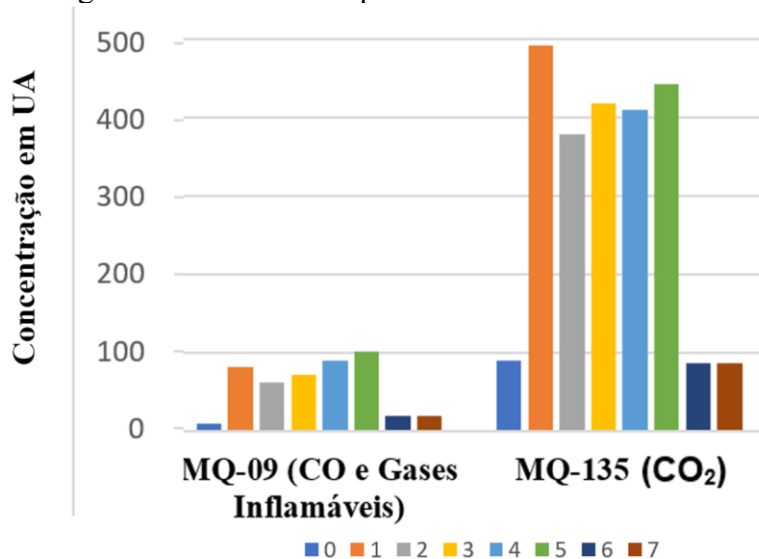
Por outro lado, é importante ressaltar que, por se tratar de um conhecimento em construção, os resultados não deixaram de ser animadores, haja vista que, 47,4% dos estudantes demonstraram compreender, simultaneamente, o papel do catalisador automotivo e os diferentes estados físicos envolvidos no processo, número que não pode ser desprezado. Essa quantidade significativa de estudantes, reconheceram a ocorrência de reações químicas que vão além da combustão, como as correspondentes à conversão dos gases que ocorre em uma superfície sólida. Esses conceitos são, sobretudo, abstratos para os estudantes, pois exigem noções de química mais apuradas, que envolvem interações moleculares que não são facilmente explicadas por meio de recursos convencionais de ensino.

Em vista dos resultados experimentais que foram apresentados nas Figuras 18 e 19 e, confrontando-os com as repostas do questionário, é possível afirmar que eles auxiliaram e levaram a aprendizagens efetivas, ainda que lacunas tenham sido observadas nas repostas dos estudantes, como a exposta acima. Portanto, os dados experimentais e suas análises nas aulas expositivas permitiram que os estudantes se apropriassem de informações relevantes da atuação do catalisador automotivo. Isso os levou a darem muitas respostas corretas, que só foram possíveis devido ao fato deles terem explorado o fenômeno.

Notadamente, a interpretação dos dados que foram mais fortemente associadas às aprendizagens, foram os referentes a conversão de monóxido de carbono (CO) em dióxido de carbono (CO₂). Isso ocorreu devido as análises demonstrarem valores que, a princípio já eram os esperados e, que de fato, foram comprovados na atividade experimental. Para corroborar essa afirmação foi feito o recorte desses valores que está indicado na figura 22.

Conforme o recorte abaixo, verificou-se que, durante o período de operação do veículo, considerando intervalos iguais de funcionamento, as concentrações de CO (monóxido de carbono) medidas foram menores, enquanto as concentrações de CO₂ (dióxido de carbono) foram maiores. Portanto, esses dados, analisados isoladamente, evidenciaram que a ação catalítica ocorreu, o que reforça o argumento de que, o uso do catalisador automotivo na contextualização do ensino de ciências e do Arduino, foram importantes para a mediação da aprendizagem, sobretudo, dando destaque ao Arduino como ferramenta pedagógica.

Figura 22 - Valores comparativos de CO e CO₂ medidos.



Fonte: elaboração própria, 2025.

No entanto, houve uma percepção de que na análise dos dados referentes aos gases, CO e CO₂, a consolidação de parte dos conhecimentos foi mais significativa, em detrimento das análises dos dados de outras conversões gasosas que ocorreram no catalisador. Essa percepção foi sobretudo maximizada e ficou mais evidente nas discussões das aulas expositivas, que tiveram papel fundamental para essa conclusão. O reforço dessa percepção se deu inclusive na maneira como os dados foram analisados, isto é, com maior ênfase na diferença das concentrações desses respectivos gases. É importante ressaltar que a prioridade nas discussões, foi demonstrar a função do catalisador, sendo que o real aprofundamento referente ao estudo

dos gases não deveria prejudicar o objetivo desse estudo. Logo, uma boa forma de explorar confusões conceituais foi tratá-las como ponto de partida para a intervenção pedagógica.

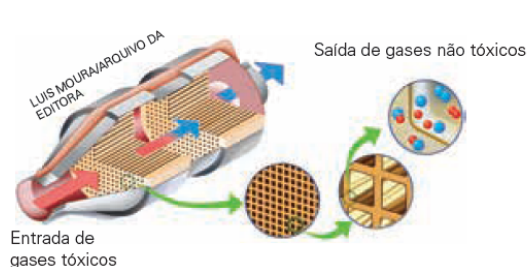
O fato de 37,1% dos estudantes terem respondido que o dióxido de carbono seria o principal produto da combustão incompleta mostrou que muitos deles ainda não diferenciavam combustão completa (gerando CO_2 e água) de combustão incompleta (gerando monóxido de carbono, fuligem e hidrocarbonetos não queimados). Esse dado não foi apenas registrado, mas discutido como evidência da necessidade de intervenção pedagógica, na qual a atividade experimental teve relevância. Nas intervenções o foco foi relacionar o papel dos catalisadores, demonstrando que eles existem justamente porque a combustão incompleta gera CO e hidrocarbonetos tóxicos, e não apenas CO_2 .

Outro fator que intensificou essa percepção é que, ainda que diante de dúvidas suscitadas acima com relação a prioridade da aprendizagem, ou, mais especificamente, quanto ao objetivo dessa aprendizagem almejada, elas decorreram da observação de posturas passivas demonstradas por parte dos estudantes, que em diversos momentos demonstraram baixa curiosidade. O reconhecimento de que essas posturas representam um desafio sensível para a educação revela, além da dificuldade em estimular o interesse pelo conhecimento, a necessidade de reestruturar práticas pedagógicas. Então para não impactar negativamente, foi adotada a estratégia de focar mais nesses gases.

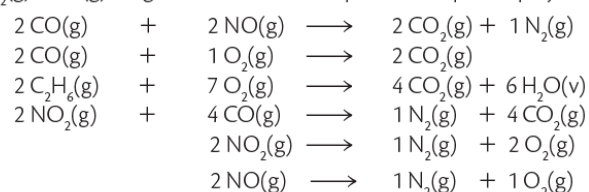
Sendo assim, para contornar esse comportamento passivo e ao mesmo tempo suprir o déficit de consolidação do conhecimento observado, as aulas expositivas, já previstas na SD, foram destinadas às discussões de questões subjetivas, mas que foram conduzidas estimulando a participação dos estudantes, em conjunto, isto é, perguntas foram direcionadas à turma, usando um estudo dirigido (Apêndice C) para que se pudesse a partir das respostas deles, diagnosticar e, ao mesmo tempo, ajudá-los na formulação das respostas as questões. Portanto, nesse momento, não ocorreu um diagnóstico que considerasse as particularidades individuais de apropriação do conhecimento, mas um diagnóstico de caráter geral, apoiado pelo estudo dirigido já mencionado, o qual foi útil como mediador do processo de aprendizagem.

Ainda com relação ao estudo dirigido utilizado, a apresentação de seus resultados nesse momento, se justifica por fazer parte dos dados e das observações referente às aprendizagens. Visto que, sua formulação foi baseada nos dados obtidos experimentalmente, portanto, estes foram usados e interpretados nessa atividade. Adicionalmente, foi usado o material didático da autora Martha Reis, que versa sobre o conversor catalítico.

Figura 23 - Representação das transformações gasosas.



Algumas das reações que transformam os gases tóxicos CO(g), NO₂(g) e NO(g) em gases não tóxicos são representadas pelas equações:

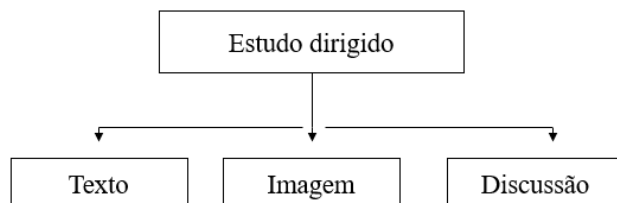


Fonte: Martha Reis. – 2ª. ed. - São Paulo: Ática, 2017.

Esse material foi bastante útil e ajudou na abordagem da explicação que se refere às conversões gasosas. A imagem abaixo, extraída do livro e adaptada nos slides utilizados nas aulas ilustram o quanto foi importante sua aplicabilidade.

A ilustração, apresenta informações essenciais, auxiliou, consequentemente, na apropriação do conhecimento referente as reações que ocorrem no catalisador. Nela se observa que existem seis equações que demonstram as conversões gasosas, isto é, a ação catalítica, um dos objetos de investigação desse estudo. Ela foi parte integrante do estudo dirigido, no qual, precedeu-se a leitura de um texto introdutório e, na sequência, as discussões, exploradas como perguntas.

Figura 24 - Elementos utilizados nos OPs.

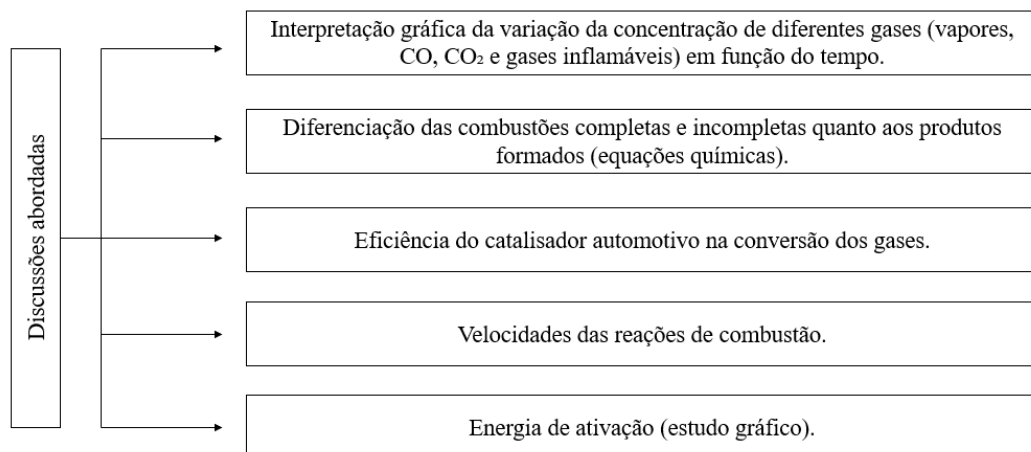


Fonte: elaboração própria, 2025.

A disposição sequencial que contém os elementos do estudo dirigido foi pensada na lógica de contemplar a TAS, no que se relaciona aos OPs, visto que se observou ausência de subsunçores. Logo, o uso dessa ferramenta pedagógica nas aulas expositivas, analisando os dados da atividade experimental, garantiu a consolidação de alguns conhecimentos. Portanto, os OPs, contribuíram para a organização das ideias, ajudaram os estudantes a transformar suas percepções iniciais em conhecimentos mais estruturados, relacionados aos impactos ambientais e científicos.

As discussões que constaram no estudo dirigido contemplaram as abordagens que estão indicadas na imagem abaixo.

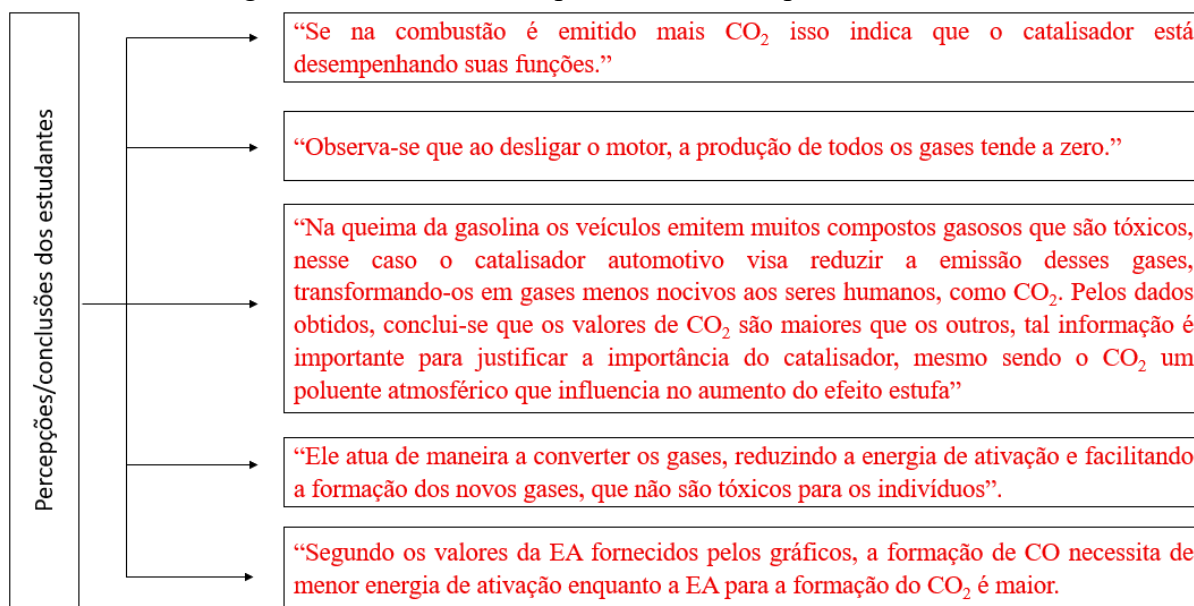
Figura 25 - Principais abordagens do estudo dirigido.



Fonte: elaboração própria, 2025.

Diante das discussões mediadas com o auxílio do estudo dirigido verificou-se que houve uma integração da teoria permeada pela prática na apropriação/consolidação do conhecimento. Abaixo estão as respostas obtidas, em conjunto.

Figura 26 - Síntese das respostas fornecidas pelos estudantes



Fonte: elaboração própria, 2025.

Antecipadamente, os resultados sugeriram que a atividade, embora tenha sofrido influência na forma como foi conduzida, não houve prejuízo quanto a sua característica de atuar como um instrumento de avaliação formativa, visto que os estudantes tiveram voz ativa na formulação das respostas, as quais se encontram sintetizadas na figura 26.

Para respaldar os resultados das aprendizagens apresentadas neste estudo que supostamente foram desenvolvidas em função das atividades propostas, fundamentou-se nas

teorias de aprendizagem, destacando-se, sobretudo, a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) e a Teoria da Mediação de Vygotsky (TMV). Essa defesa se faz necessário por reconhecer as dificuldades inerentes em mensurar com precisão o grau de aprendizagem. Portanto, essas teorias foram trazidas nesse trabalho como forma de defesa da compreensão de como os sujeitos atribuem sentido ao que se aprende e como a interação com o Catalisador e com o Arduino mediarão esse processo de construção/consolidação do conhecimento.

Em função desse reconhecimento, de que os processos cognitivos não se traduzem facilmente em números quantitativos, e, adicionalmente, por acreditar que existam lacunas metodológicas na educação, quanto ao processo avaliativo, optou-se, nas análises, de parte desses resultados, usar a Teoria de Resposta ao Item (TRI), adotado nas correções das questões do ENEM. Notadamente, essa estratégia permitiu avaliar os resultados das respostas ao questionário, indicados no quadro 9 de forma mais precisa e consistente.

Contudo, outros diagnósticos sobre os resultados das aprendizagens dos estudantes somaram-se aos percentuais mencionados, logo, se aproximaram de parâmetros mais confiáveis. Sejam eles oriundos dos subsunçores ou das respostas subjetivas. Ainda há que se referir aos dados experimentais, coletados com o Arduino. Estes, foram um dos pilares do estudo e, o método utilizado para expressá-los, encontrou respaldo com os referenciais teóricos utilizados. Dessa forma, conclui-se, portanto, que os resultados, a partir das observações não se limitaram a medir desempenhos isolados, mas revelaram que de forma mais ampla, as apropriações e consolidação dos conhecimentos tiveram sustentações adequadas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, foram vários os resultados obtidos nesse estudo, iniciando com os conhecimentos prévios dos estudantes, passando pelos resultados experimentais, que envolveram dois dispositivos tecnológicos. O primeiro, se refere ao catalisador automotivo, usado na contextualização no ensino de ciências, mais especificamente relacionado aos gases. O segundo, refere-se ao Arduino, dispositivo tecnológico essencial para a conclusão deste trabalho, tendo em vista que ele foi a base para a solução de um problema, qual seja, como identificar os gases provenientes da combustão e como compreender a conversão que eles sofrem?

As respostas dadas a essa problemática encontraram abrigo no estudo da cinética química, devido as afinidades existentes. Portanto, os seus objetos de conhecimento, devido essa aproximação identitária, foram desenvolvidos e estudados, opcionalmente em uma sequência didática. Essa opção foi a mais viável para inserir o estudo investigativo, entendendo-se que ela contemplou as contextualizações de aprendizagens.

As evidências das atividades propostas, bem como a suas imersões no estudo da cinética química, demonstraram significativamente o desenvolvimento de aprendizagens correlatas. Os padrões de aprendizagens observadas, principalmente com o uso do Arduino no ensino de Química, podem apresentar consistências, se, os dados desse estudo, já finalizado, forem confrontados com outros estudos ou experiências. Estudos futuros podem ser promissores para identificar as relações de aprendizagens do uso dessa ferramenta. O protótipo construído, cuja programação, identifica gases, pode ser relevante para outros objetivos de aprendizagem, a exemplo do estudo de compostos voláteis dentro de um contexto das interações intermoleculares. Outra aplicabilidade que pode ser sugerida com o uso do dispositivo é a possibilidade contextualizar o ensino de cálculo estequiométrico. Possivelmente, a aplicação dele pode alcançar bons desempenhos nas aprendizagens em Química.

Em razão disso, a implementação dessa proposta pedagógica mostrou-se eficaz, alcançando plenamente os objetivos estabelecidos. Todas as ações realizadas, com destaque para a atividade experimental, foram planejadas e executadas com sucesso. O aparato experimental desenvolvido para usar no escapamento do veículo, estudando o catalisador automotivo e a construção de um protótipo com Arduino, permitiu a quantificação dos gases emitidos na combustão da gasolina. Com isso, foi possível promover a compreensão das inter-relações científicas, tecnológicas, sociais e ambientais, demonstrando a pertinência e a aplicabilidade da proposta.

Os objetos de investigação apresentados mostraram-se plenamente articulados ao eixo central desta pesquisa, configurando-se como instrumentos pedagógicos relevantes para a contextualização do ensino, em especial no âmbito da cinética química e da catálise. Nesse sentido, todos os objetivos delineados inicialmente foram efetivamente alcançados, uma vez que o recurso contribuiu para a análise dos resultados, favorecendo a compreensão das reações de combustão completa e incompleta e sua vinculação aos fundamentos da cinética química. Ademais, as medições realizadas evidenciaram a eficácia do catalisador, constituindo indícios consistentes que subsidiaram a discussão acerca dos diversos impactos ambientais decorrentes da emissão dos diferentes gases.

Em linhas gerais, o objetivo principal da proposta, avaliar o potencial de aprendizagem em Química por meio de uma atividade experimental baseada no estudo da conversão dos gases emitidos pelos veículos automotores, foi plenamente atingido. De forma complementar, os objetivos específicos, definidos como ações coordenadas que viabilizaram a implementação da proposta pedagógica de caráter investigativo, também obtiveram êxito.

O planejamento do aparato experimental, voltado ao estudo do catalisador automotivo, incluiu a programação do software Arduino e a construção de um protótipo capaz de quantificar os gases emitidos na combustão da gasolina. Esse recurso permitiu abordar as inter-relações científicas, tecnológicas, sociais e ambientais envolvidas, contextualizando o ensino de cinética química com foco nas reações que ocorrem na presença do catalisador.

A implementação e aplicação da Sequência Didática (SD) foram fundamentais para o sucesso das atividades propostas, garantindo que o experimento fosse realizado no momento mais adequado. Isso potencializou a aprendizagem e possibilitou investigar o processo de ensino-aprendizagem em cinética química, valorizando sobretudo a abordagem CTSA no ensino de ciências. Os resultados obtidos, analisados por meio de gráficos, possibilitaram estabelecer relações entre os avanços tecnológicos e seus impactos ambientais, consolidando a integração entre ciência, tecnologia e sociedade no processo educativo.

A avaliação diagnóstica inicial permitiu identificar o nível de conhecimento dos estudantes sobre o uso do catalisador automotivo como recurso tecnológico, fornecendo subsídios para o desenvolvimento da proposta. Nesse sentido, o planejamento pedagógico precisou ser adaptado às condições estruturais e ao nível de aprendizagem do público-alvo, ajustes que se mostraram adequados diante das necessidades e dificuldades encontradas na execução da SD. Como exemplo, destaca-se o uso da estratégia mais adequada para aplicação do protótipo (Arduino) como ferramenta experimental, cuja quantificação e monitoramento dos gases catalisados da combustão deveria ter uma atenção especial.

Todavia, cabe destacar algumas reflexões que ampliam a análise crítica do estudo, principalmente no que se relaciona ao uso do Arduino. Primeiramente, é necessário ponderar que o recurso (protótipo elaborado) atuou efetivamente como um facilitador da aprendizagem, considerando, sobretudo, àqueles estudantes que foram mais participativos no processo de ensino. A estes, observou-se apropriação dos conhecimentos pelo uso do dispositivo.

Ao que se refere a complexidade da programação e da construção do protótipo, há que se ressaltar que essa configuração técnica não reduziu os estudantes à condição de meros operadores, pois eles deveriam compreender os princípios químicos envolvidos na conversão gasosa, dado que o dispositivo foi previamente construído e testado com essa finalidade, isto é, ser aplicado no processo de ensino aprendizagem para fazer o monitoramento dos gases, vale ressaltar que eles não participaram na construção do aparato.

Diante desse contexto, essa observação não representa uma fragilidade da pesquisa, mas demonstra que esse estudo também abre janelas de oportunidades para outras pesquisas que estejam relacionadas à autoria e protagonismos estudantis. Por exemplo, voltadas para aprendizagens que inclua a programação e construção de outros protótipos ou a reprodução do que foi apresentado nesse trabalho. Essa defesa se justifica pelo que foi discutido na revisão teórica (item 2.6), que versou sobre o uso de plataformas como o Arduino na potencialização do ensino e do estímulo a investigação científica. Nesse sentido, é pertinente e sugestivo que o produto elaborado possibilita ao estudante reprogramar ou modificar o circuito para explorar novas hipóteses, e/ou propor projetos alternativos. Essa possibilidade tem o potencial de elevar o impacto pedagógico valorizando práticas investigativas autorais.

Notadamente, na escolha do Arduino, como ferramenta pedagógica, é imprescindível considerar a viabilidade financeira e técnica das propostas para a aplicação na educação, haja vista, os diversos contextos escolares, especialmente aqueles com menor investimento. No caso do protótipo utilizado nessa pesquisa, os componentes utilizados, como os sensores e a placa Arduino Uno, tiveram baixo custo e, uma vez montado o circuito, não existe a necessidade de nenhuma manutenção complexa. Posto isto, essa alternativa pedagógica não corre o risco de comprometer o propósito de democratizar o ensino de Química por investigação. Assim, a análise da acessibilidade e da aplicabilidade em diferentes realidades educacionais constitui um ponto fundamental para consolidar os resultados deste trabalho. Dessa forma, o estudo cumpriu seus objetivos iniciais, abriu espaço para reflexões críticas podendo, consequentemente, orientar futuras pesquisas e aprimoramentos, ampliando o alcance pedagógico e social da proposta.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, Fernanda Welter; NUNES, Simara Maria Tavares. Catalisadores e o Ar que Respiramos: Proposição, Implementação e Avaliação de Inovações no Contexto Escolar a partir da Abordagem de Educação CTS. **Revista Debates em Ensino de Química**, Recife, v. 8, n. 3, p. 139-161, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/368378688_Catalisadores_e_o_Ar_que_Respiramos_Proposicao_Implementacao_e_Avaliacao_de_Inovacoes_no_Contexto_Escolar_a_partir_da_Abordagem_de_Educacao_CTS/fulltext/63e50182dea6121757974011/Catalisadores-e-o-Ar-que-Respiramos-Proposicao-Implementacao-e-Avaliacao-de-Inovacoes-no-Contexto-Escolar-a-partir-da-Abordagem-de-Educacao-CTS.pdf. Acesso em: 05 maio 2024.
- ANDRADE, Josemberg Moura; LAROS, Jacob Arie; GOUVEIA, Valdiney Veloso. O uso da teoria de resposta ao item em avaliações educacionais: diretrizes para pesquisadores. **Avaliação Psicológica**, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 421-435, 2010. Disponível em: https://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1677-04712010000300009. Acesso em: 01 out. 2025.
- ATKINS, Peter. **Físico-Química: Fundamentos**. 6. ed. Rio de Janeiro, LTC, 2018.
- AULER, Decio. **Interações entre ciência-tecnologia-sociedade no contexto da formação de professores de ciências**. 2002. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Educação), Centro de Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- AUSUBEL, David P. **The psychology of meaningful verbal learning**. New York: Grune & Stratton, 1963.
- BAIA, Renan Teixeira *et al.* Caracterização tecnológica de catalisadores automotivos desativados visando o aproveitamento de Pt, Pd e Rh. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**. São Paulo, v. 17, n. 4, p. 0-0, 2020. Disponível em: <https://tecnologiammm.com.br/article/10.4322/2176-1523.20202026/pdf/tmm-17-4-e2026.pdf>. Acesso em: 06 maio 2025.
- BATISTA, C. M; JÚNIOR, C. A. O. M. **Metodologia da pesquisa em educação e ensino de ciências**. 2. ed. Ponta Grossa, PR: Atena, 2023.
- BORGES, Antônio Tarciso. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002. Disponível em: <https://doceru.com/doc/xs15cees>. Acesso em: 04 abr. 2025.
- BROWN, L. S.; HOLME, T. A. **Química geral aplicada à engenharia**. Cengage Learning Brasil, São Paulo, 2021.
- BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna**. São Paulo: Blucher, 2018.
- CARDOSO, Fernanda Serpa *et al.* A complexidade e a interdisciplinaridade: breves reflexões nos contextos histórico e atual do ensino. **Revista Práxis**, v. 9, n. 18, 2017. Disponível em: <https://unifoa.emnuvens.com.br/praxis/article/view/733>. Acesso em 04 abr. 2025.
- CARMO, Gabriela Fernanda; DE ARAÚJO PASSOS, Vânia Maria. Avaliação classificatória x avaliação mediadora: a busca por uma avaliação que potencialize a construção da

aprendizagem. **Humanidades & Inovação**, v. 9, n. 22, p. 273-281, 2022. Disponível em: <https://revista.unitins.br/index.php/humanidadeseinovacao/article/view/8070>. Acesso em 11 nov. 2025.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. 152 p.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Construção do conhecimento e ensino de ciências. **Em Aberto**, v. 11, n. 55, p. 9-16, 1992. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000858162>. Acesso em: 05 set. 2024.

CORREIA, Francisco José; CANTANHEDE, Leonardo Baltazar; DA SILVA CANTANHEDE, Severina Coelho. O CONTEÚDO CATÁLISE NOS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA DO PNLD 2018/2020 E SUAS RELAÇÕES COM AS ORIENTAÇÕES CTSA. **Terra de Pretos: Revista Multidisciplinar**, p. 132-156, 2020. Disponível em: <https://cajapio.ufma.br/index.php/terradepretos/article/view/17089>. Acesso em: jun. 2025.

COSTA, Rafaela dos Santos; QUADRA, Gabrielle Rabelo; DE OLIVEIRA SOUZA, Helena. Química, Ecotoxicologia e Escola: propostas interdisciplinares. **Ecotoxicology and Environmental Contamination**, v. 17, n. 1, p. 22-32, 2022. Disponível em: <https://ecotoxbrasil.org.br/wp-content/uploads/2023/09/8.pdf>. Acesso em: set. 2025.

FERREIRA, Marcello *et al.* Ensino investigativo da combustão: a técnica SCAMPER e o fenômeno científico da transformação nos motores. **Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias**, v. 20, n. 2, 2025. Disponível em: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/GDLA/article/view/23485>. Acesso em: out. 2025.

FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L.; MOREIRA, M. A.; FRANZ, G. B.; PORTUGAL, K. O.; NOGUEIRA, D. X. P. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre óptica geométrica apoiada por vídeos, aplicativos e jogos para smartphones. **Revista Brasileira de Ensino de Física (Online)**, v. 42, p. 1-13, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/dJv9Vkf6434ffg5tJDPbpM/?format=html&lang=pt>. Acesso em: ago. 2025.

FERREIRA, Marcello; DA SILVA FILHO, Olavo Leopoldino. Proposta de Plano de Aula para o Ensino de Física. *Physicae Organum-Revista dos Estudantes de Física da UnB*, v. 5, n. 1, p. 39-44, 2019. Disponível em: <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA597515264&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=2446564X&sw=w&p=AONE&userGroupName=anon%7E518669bc&aty=open-web-entry>. Acesso em: set. 2025.

FERREIRA, Marcello; SILVA FILHO, OLAVO LEOPOLDINO DA; FONSECA, MARCOS ORSO DA; BATISTA, MICHEL CORCI. Educação em ciências por investigação e pedagogia da pergunta: relações, apostos e insurreições. **Temas & Matizes (Online)**, v. 17, p. 906-932, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Marcello-Ferreira-2/publication/378946687_Educacao_em_ciencias_por_investigacao_e_pedagogia_da_pergunta_relacoes_apostos_e_insurreicoes/links/65fb0365d3a085514236802c/Educacao-em-ciencias-por-investigacao-e-pedagogia-da-pergunta-relacoes-apostos-e-insurreicoes.pdf. Acesso em: 10 out. 2025.

GADIYAR, AH., SHAH, PR., & JOSHI, RM. (2017). Role Of Catalyst In Automobile Exhaust Emission Control. **International Journal of Advanced Mechanical Engineering**, 7(1), 1027-1030. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0920586106004196#:~:text=Its%20primary%20function%20is%20to,to%20the%20future%20research%20situation>. Acesso em: maio 2024.

GARCÍA-TUDELA, Pedro Antonio; MARÍN-MARÍN, José-Antonio. Use of Arduino in Primary Education: a systematic review. **Education Sciences**, v. 13, n. 2, p. 134, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-7102/13/2/134>. Acesso em: 15 ago. 2025.

GOMES, Cristiano Mauro Assis. Softwares educacionais podem ser instrumentos psicológicos. **Psicologia Escolar e Educacional**, v. 11, p. 391-401, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pee/a/TnXDDPZPMKRJZ4FFVGMKTYb/abstract/?stop=next&lang=es&format=html>. Acesso em: 15 ago. 2025.

GRASIÉLE, Sara. Utilização do Arduino como ferramenta pedagógica para o ensino de química. **Revista Sociedade Científica**, v. 7, n. 1, p. 1600-1612, 2024. Disponível em: <https://journal.scientificsociety.net/index.php/sobre/article/view/311>. Acesso em: 15 ago. 2025.

JOENK, Inhelora Kretzschmar. Uma introdução ao pensamento de Vygotsky. **Revista Linhas**, v. 3, n. 1, 2002. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/linhas/article/view/1276>. Acesso em 10 jul. 2025.

HECK, Ronald M.; FARRAUTO, Robert J. Automobile exhaust catalysts. **Applied Catalysis A: General**, v. 221, n. 1-2, p. 443-457, 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926860X01008183>. Acesso em: 08 set. 2024.

GUAITOLINI JUNIOR, Judismar Tadeu; RAMOS, Gabryel Silva; SILVA, Samir Lacerda da. **Avaliação do módulo da aceleração da gravidade local com Arduino**. In: ENCONTRO REGIONAL DE EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA DO ESPÍRITO SANTO, 2014, Serra. **Anais...** Serra: Ifes, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Samir-Da-Silva-2/publication/262107614_Avaliacao_do_modulo_da_aceleracao_da_gravidade_local_com_Arduino/links/0deec536ae834ebd8d000000/Avaliacao-do-modulo-da-aceleracao-da-gravidade-local-com-Arduino.pdf. Acesso em: 1 ago. 2025.

KAMIJÓ, Evandro Namitaro Seixas; ROSSI, Arley Silva. Projeto: uso de microcontrolador arduino para auxílio em titulações químicas. **Brazilian Journal of Development**, v. 10, n. 11, p. e74274-e74274, 2024. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/74274>. Acesso em: 2 ago. 2025.

KANG, Seong-Joo; YEO, Hye-Won; YOON, Jihyun. Applying chemistry knowledge to code, construct, and demonstrate an Arduino-carbon dioxide fountain. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 2, p. 313-316, 2019. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.jchemed.8b00663>. Acesso em: 1 ago. 2025.

LASKOWSKI, Piotr; ZIMAKOWSKA-LASKOWSKA, Magdalena. Simulation study of the effect of ethanol content in fuel on petrol engine performance and exhaust emissions. **Combust. Engines**, v. 201, p. 129-135, 2025. Disponível em: <https://www.combustion-engines.eu/pdf-204049-126308?filename=126308.pdf>. Acesso em: 10 out. 2025.

LIMA, Marcelo. **Protótipo de estação para monitoramento do material particulado atmosférico**. 2025. 99 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/46626>. Acesso em: nov. 2025.

LUCKESI, Cipriano Carlos. **Avaliação da aprendizagem escolar**: estudos e proposições. São Paulo: Cortez, 2014.

MCCORMICK, John. **Rumo ao Paraíso**: A história do movimento ambientalista. Tradução de Marco Antônio Esteves da Rocha e Renato Aguiar. Rio de Janeiro: Relume-Durnarã, 1992.

MONTEMOR, Raphael *et al.* **RDE Assessment of a Flex-Fuel 1.0L PFI Vehicle for PROCONVE L8 Emission Standards**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA (SIMEA), 29., 2022, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Blucher, 2022. p. 96-105. DOI: 10.5151/simea2022-PAP17. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/avaliacao-rde-e-solucoes-para-o-motor-flex-fuel-10-pfi-com-foco-na-futura-meta-de-poluentes-pl8-37470>. Acesso em: 14 ago. 2025.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. 3.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2023.

MOREIRA, M. A. **A teoria de aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília, DF: Editora da UnB, 2006. p. 13-42.

MUNHOZ, A. S. **ABP - Aprendizagem Baseada em Problemas**: Ferramenta de apoio ao docente no processo de ensino e aprendizagem. São Paulo, Cengage Learning, 2015.

NEVES, Ivone. Um Olhar sobre Paulo Freire. **Saber e Educar**, v. 31, n. 2, 2022. Disponível em: <https://revista.esepf.pt/article/view/29372>. Acesso em: 10 out. 2025.

NGUYEN, D *et al.* Arduino-Based Experiments: Leveraging Engineering Design and Scientific Inquiry in STEM Lessons. **International Journal of STEM Education for Sustainability**, v.4, n.1, 2024. Disponível em: <https://journal.gmpionline.com/index.php/ijses/article/view/317/237>. Acesso em: 8 mar 2025.

OSTERMANN, F; CAVALCANTI, C. J. H. **Teorias de Aprendizagem**. Porto Alegre: Evangraf; UFRGS, 2011.

PANTAROTO, Hermano Luis; VIEIRA, M.; FIGUEIREDO, Paulo Jorge Moraes. A eliminação do chumbo da gasolina. **Mostra Acadêmica UNIMEP**, v. 5, p. 16-22, 2007. Disponível em: <http://www.unimep.br/phpg/mostraacademica/anais/5mostra/5/167.pdf>. Acesso em: 06 maio 2025.

PORTO, Leandro Luiz *et al.* PROCONVE. O QUE MUDA? In: Anais do Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia. Anais...Diamantina (MG) Online, 2023. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/cobicet2023/659663-PROCONVE-O-QUE-MUDA>. Acesso em: 06 maio 2025.

RALL, Ricardo; MONTANHA, Luiz Eduardo Viera. Protótipo de uma estação meteorológica utilizando sistema embarcado de software e hardware livre. **Tekhne e Logos**, v. 13, n. 2, p. 71-86, 2022. Disponível em: <http://revista.fatecbt.edu.br/index.php/tl/article/view/760>. Acesso em 10 out. 2025.

RANGEL, Maria do Carmo; CARVALHO, Marly Fernandes Araújo. Impacto dos catalisadores automotivos no controle da qualidade do ar. **Química Nova**, v. 26, p. 265-277, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/K9MMZqLzNGmzYjTj6PjPsBr/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 06 set. 2025.

RAZUCK, Fernando Barcellos; RAZUCK, Renata Cardoso de Sá Ribeiro. A contextualização pelo trabalho e a possibilidade de aprendizagem de conceitos científicos. **Trabalho & Educação**, v. 29, n. 2, p. 121-132, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/trabedu/article/view/19823>. Acesso em: 06 set. 2024.

REIS, Martha. **Sistema de ensino ser: ensino médio, cadernos de 1 a 12: química: frente B: professor** / Martha Reis. 2. ed. - São Paulo: Ática, 2017.

ROCHA, Joselayne Silva; VASCONCELOS, Tatiana Cristina. Dificuldades de aprendizagem no ensino de química: algumas reflexões. Encontro Nacional de Ensino de Química, v. 18, p. 1-10, 2016. Disponível em: <https://eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R0145-2.pdf>. Acesso em: 06 set. 2024.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira; MALDANER, Otávio Aloísio. **Ensino de Química em Foco**. Ijuí: Ed Unijuí, 2011.

SANTOS, W. L. P. dos; MORTIMER, E. F. Abordagem de aspectos sociocientíficos em aulas de ciências: possibilidades e limitações. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 2, p. 191- 218, 2009. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/355>. Acesso em: 06 jul. 2025.

SANTOS *et al.* O Enfoque CTS e a Educação Ambiental: Possibilidades de “Ambientalização” da Sala de Ciências. **Ensino de Química em Foco IN: SANTOS, WLP**, 2012.

SANTOS, W. L. P., SCHNETZLER, R. P. **Educação em Química: compromisso com a cidadania**. 3. ed. Ijuí, RS: Editora Unijuí, 2003.

SILVA, Carlos Thiago Cruz; SILVA, Greice Mara Monteiro; SANTOS, Sonia Regina Mendes. Reflexões acerca da robótica na educação. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 21, n. 64, p. 254-270, 2025. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/17876>. Acesso em: 06 set. 2025.

STRAPASSON, A. B.; FERREIRA, M.; CRUZ-CANO, D.; WOODS, J.; SOARES, M. P. N. M.; SILVA FILHO, O. L. O uso da dinâmica de sistemas para educação em energia e meio

ambiente. **International Journal of Educational Technology in Higher Education**, v. 19, p. 5, 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35106364/>. Acesso em: 07 set. 2025.

TAY, Kheng Soo; ENG, Jeng Lu. Integrating Maker Education into the Research Project of Undergraduate Chemistry Program: Low-Cost Arduino-Based 3D Printed Autotitrator. **Journal of Chemical Education**, v. 101, n. 12, p. 5430-5436, 2024. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jchemed.4c00486>. Acesso em: 06 out. 2025.

TRINDADE, B. F. A.; SILVA, C. S. Uma proposta didática para temática catalisadores automotivos na perspectiva da abordagem ciência-tecnologia-sociedade (cts) a partir da questão sociocientífica a evolução dos automóveis e a química como protetores do meio ambiente. **IX CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO – CONEDU**. Campina Grande: Realize Editora, 2023. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2023/TRABALHO_COMPLETO_EV185_MD4_ID47_TB8414_21082023180655.pdf. Acesso em: 10 abr. 2025.

VALLE, Raquel da Cunha. Teoria de resposta ao item. **Estudos em Avaliação educacional**, n. 21, p. 07-92, 2000. Disponível em: <http://educa.fcc.org.br/pdf/eae/n21/n21a02.pdf>. Acesso em: 10 Out. 2025.

VALLEJO, William; DIAZ-URIBE, Carlos; FAJARDO, Catalina. Do-it-yourself methodology for calorimeter construction based in Arduino data acquisition device for introductory chemical laboratories. **Heliyon**, v. 6, n. 3, 2020. Disponível em: [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(20\)30436-9](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(20)30436-9). Acesso em: 06 set. 2025.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. São Paulo: Miguel Fontes, 1998.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e linguagem**. São Paulo: Miguel Fontes, 1993.

VILCHES, Amparo; PEREZ, Daniel Gil; PRAIA, João. De CTS a CTSA: educación por un futuro sostenible. In: **CTS e educação científica: desafios, tendências e resultados de pesquisa**. Brasília, DF: Editora Universidade de Brasília, 2011. p. 161-185.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar**. São Paulo, Artmed, 1998.

ANEXO A - PEDIDO DE AUTORIZAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DE PESQUISA



Universidade Federal do Triângulo Mineiro
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E EDUCAÇÃO
Av. Randolfo Borges Junior, nº 1400 – Bairro Univerde – CEP 38.064-200 – Cidade – MG
34 3331-314

Assunto: Pedido de autorização para realização de pesquisa

1. Solicitamos, respeitosamente, autorização para aplicar uma Sequência Didática (SD) aos alunos do 2º ano do Ensino Médio (EM) do **Colégio Estadual Professor Benedito Vieira de Sá**, como parte da pesquisa intitulada “**Ensino por Investigação: Cinética Química e Catalisadores**”, sob a responsabilidade do mestrando **José Airton Mesquita Pinto** e da Professora Doutora **Sandra Cristina Dantas** (orientadora). O objetivo desta pesquisa é elaborar, aplicar e avaliar uma Sequência Didática (SD) composta por metodologias ativas, aprendizagem baseada em problemas e atividades investigativas, abordando o conhecimento científico de cinética química e suas relações científicas, tecnológicas, sociais e ambientais. Para alcançarmos os resultados desta pesquisa, será necessária a participação dos alunos como parte da metodologia proposta para atingir os objetivos estabelecidos no projeto.

2. Salientamos que esta autorização é indispensável para a submissão do projeto junto ao Comitê de Ética em Pesquisa da UFTM, órgão responsável pela apreciação ética em pesquisa com seres humanos. E conforme prevê a Resolução 466/12 CNS, a pesquisa somente será iniciada a partir da aprovação do referido comitê.

3. Sem mais para o momento, agradecemos a atenção e nos colocamos a disposição para eventuais esclarecimentos.

Atenciosamente,

Documento assinado digitalmente
 **SANDRA CRISTINA DANTAS**
Data: 25/11/2024 10:47:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Drª. Sandra Cristina Dantas
Orientadora do projeto
(34) 99650-3661

De acordo com a realização da pesquisa:

☒ (X) deferido

☐ () indeferido

Documento assinado digitalmente
 **CLAUDIO MARCIO PEREIRA DOS REIS**
Data: 25/11/2024 11:01:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente
 **JOSE AIRTON MESQUITA PINTO**
Data: 25/11/2024 11:26:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do Responsável do setor

Novo Gama-GO, 25/11/2024

ANEXO B - OFÍCIO DE SOLICITAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DE PESQUISA

Ofício de Solicitação de Autorização para Realização de Pesquisa

Uberaba, 10/01/2025

À Superintendência de Apoio ao Desenvolvimento Curricular Secretaria de Estado da Educação do Estado de Goiás

Assunto: Solicitação de Autorização para Realização de Pesquisa Acadêmica na Unidade Escolar Colégio Estadual Professor Benedito Vieira de Sá, vinculada à CRE de Novo Gama.

Prezados(as) Senhores(as),

Eu, **José Aírton Mesquita Pinto**, mestrando do Programa de Pós-Graduação no **MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL** da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (**UFTM**), sob a orientação da Professora Doutora **Sandra Cristiana Dantas**, venho, respeitosamente, por meio deste, solicitar a autorização para a realização de pesquisa na unidade escolar Colégio Estadual Professor Benedito Vieira de Sá, vinculada à Coordenação Regional de Educação (CRE) do município de Novo Gama.

A pesquisa, que integra as exigências acadêmicas para a obtenção do título de Mestre, tem como objetivo aplicar uma sequência didática, abordando a temática em Cinética Química no contexto educacional. O estudo será conduzido de acordo com os princípios éticos estabelecidos para pesquisas acadêmicas, respeitando a legislação vigente e assegurando a confidencialidade e o bem-estar dos participantes.

O desenvolvimento da pesquisa não causará prejuízos à rotina escolar, sendo todas as atividades planejadas em consonância com a direção da unidade e o corpo docente. Além disso, estamos à disposição para discutir detalhes do cronograma e dos procedimentos.

Certos da compreensão e colaboração de Vossas Senhorias, agradecemos antecipadamente pela atenção dispensada e colocamo-nos à disposição para quaisquer esclarecimentos adicionais.

Atenciosamente,

José Aírton Mesquita Pinto: Mestrando do Programa de Pós-Graduação em MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL

Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM)

E-mail: d202410290@uftm.edu.br

Telefone: 61-996946241

Orientadora Professora Doutora Sandra Cristiana Dantas

Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM)

E-mail: Sandra.dantas@uftm.edu.br

Telefone: 34-996503661

ANEXO C – CARTA DE ANUÊNCIA

06/02/25, 08:05

SEI/GOVERNADORIA - 70324560 - Carta

Secretaria de
Estado da
Educação



ESTADO DE GOIÁS
SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO

Carta nº 81/2025 - SEDUC

Goiânia, 05 de fevereiro de 2025.

Carta de Anuência

Assunto: Solicitação de pesquisa

A Secretaria de Estado da Educação (Seduc), por meio da Superintendência de Apoio ao Desenvolvimento Curricular (SUPADEC), declara ter realizado análise dos documentos constantes nos presentes autos, referentes à solicitação de autorização de pesquisa intitulada "Ensino por Investigação: Cinética Química e Catalisadores", do estudante de mestrado, José Aírton Mesquita Pinto, do curso de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional, da Universidade Federal do Triângulo Mineiro - UFTM, sob a orientação da professora Dra. Sandra Cristina Dantas.

A referida pesquisa tem por objetivo geral desenvolver, aplicar e avaliar uma Sequência Didática que integre metodologias ativas, Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e atividades investigativas para explorar conceitos de cinética química e suas conexões científicas, tecnológicas, sociais e ambientais.

A pesquisa será desenvolvida com estudantes da 2ª série do Ensino Médio, do Colégio Estadual Professor Benedito Vieira de Sá, situado no município de Novo Gama-GO. A coleta de dados será feita por meio da aplicação de uma avaliação diagnóstica, com objetivo de identificar os conhecimentos prévios dos estudantes, na sequência será aplicada uma Sequência Didática com questionários semiestruturados, roda de conversa e debates.

Isso posto, a Secretaria de Estado da Educação (Seduc), por meio da Superintendência de Apoio ao Desenvolvimento Curricular (SUPADEC) e, mediante análise e manifestação da Superintendência de Ensino Médio/Gerência de Ensino Médio, no uso de suas atribuições legais se manifesta favorável à supracitada solicitação de pesquisa desde que:

- seja organizado, junto ao grupo gestor da unidade escolar, os momentos para a aplicação da pesquisa de campo, de modo que não inviabilize o acesso de professores e estudantes às atividades pedagógicas planejadas, visto que a escola é um local dinâmico e que a rotina escolar não deverá ser comprometida;
- sejam apresentadas ao grupo gestor todas as ações/instrumentos de coleta, que serão utilizados na realização da pesquisa, a fim de que sejam analisados, considerando o público participante;
- o referido projeto, não sobreponha ao cumprimento da carga horária do mestrando, uma vez que este é professor regente da referida unidade escolar, onde será realizado.

https://sei.go.gov.br/sei/controlador.php?acao=documento_imprimir_web&acao_origem=arvore_visualizar&id_documento=73082473&infra_siste...

Diante do exposto, orienta-se, ainda, que caso seja de interesse do mestrando, seguir a proposta de pesquisa na referida unidade escolar, que ajuste/adeque os horários da pesquisa de forma a não interferir na execução de suas aulas, bem como no cumprimento do planejamento curricular, conforme a organização pedagógica da unidade escolar, a fim de se evitar quaisquer prejuízos pedagógicos aos estudantes.

Assim, esta Superintendência se coloca à disposição para quaisquer iniciativas que preconizam a construção do conhecimento científico como responsabilidade social da ciência da informação.

NAYRA CLAUDINNE GUEDES MENEZES COLOMBO
Superintendente de Apoio ao Desenvolvimento Curricular
APARECIDA DE FÁTIMA GAVIOLI SOARES PEREIRA
Secretária de Estado da Educação



Documento assinado eletronicamente por **NAYRA CLAUDINNE GUEDES MENEZES COLOMBO, Superintendente**, em 05/02/2025, às 15:13, conforme art. 2º, § 2º, III, "b", da Lei 17.039/2010 e art. 3ºB, I, do Decreto nº 8.808/2016.



Documento assinado eletronicamente por **APARECIDA DE FÁTIMA GAVIOLI SOARES PEREIRA, Secretário (a) de Estado**, em 05/02/2025, às 16:12, conforme art. 2º, § 2º, III, "b", da Lei 17.039/2010 e art. 3ºB, I, do Decreto nº 8.808/2016.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site http://sei.go.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=1 informando o código verificador **70324560** e o código CRC **0CD7EE76**.

SUPERINTENDÊNCIA DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO CURRICULAR
AVENIDA QUINTA AVENIDA Nº 212, QUADRA 71 - Bairro SETOR LESTE VILA NOVA -
GOIÂNIA - GO - CEP 74643-030 - 62322436807.



Referência: Processo nº 202500006009258



SEI 70324560

APÊNDICE A - SUGESTÃO DE USO DO PROTÓTIPO EM OUTRO CONTEXTO DE ENSINO

Os resultados que estão apresentados no quadro 1 e nos gráficos abaixo, referem-se aos testes de volatilidade de algumas substâncias que compõem alguns materiais. Os testes foram realizados usando o protótipo. Os valores numéricos verificados no display LCD, demonstram a volatilidade de alguns materiais quando o sensor MQ-135 é aproximado a eles. Observou-se que o comportamento muda conforme o material.

Quadro 1 - Valores medidos

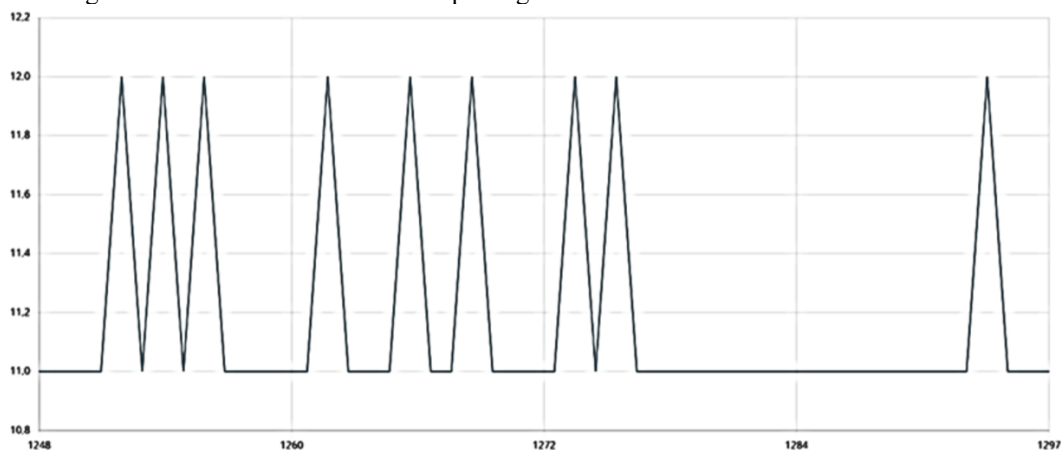
Material	Leitura MQ-135		Monitor Serial
	Leitura inicial*	Leitura máxima**	
Água	11	12	Figura 6
Gasolina	11	310	Figura 7
Etanol	11	80	Figura 8
Acetona	11	268	Figura 9
Esmalte	11	127	Figura 10

*A leitura inicial indica o sensor sem nenhum contato com o material.

**A leitura máxima indica o valor representado no gráfico com a oscilação congelada.

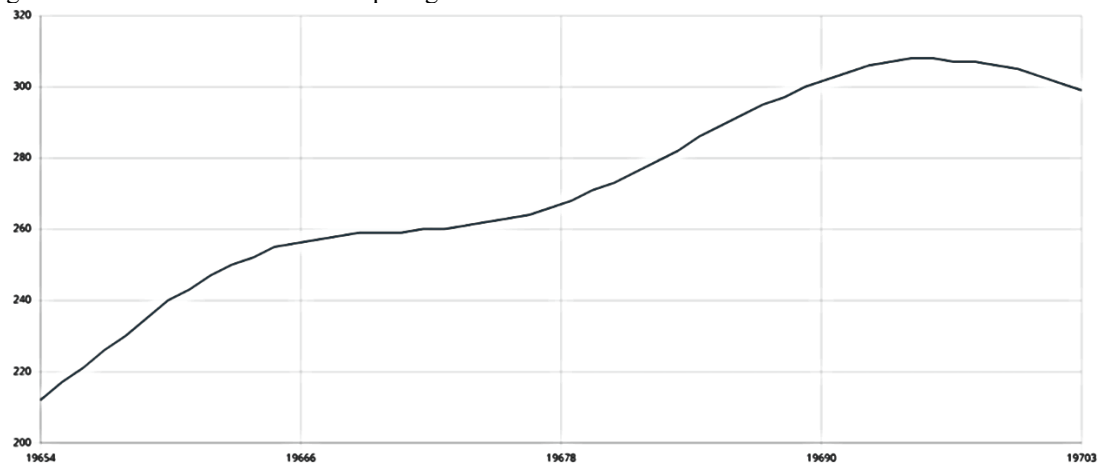
O software do Arduino possui um monitor serial onde os dados são representados graficamente. Os gráficos abaixo, referem-se a essas leituras. Cada material apresenta oscilações próprias visíveis no monitor, e vale ressaltar que os dados do monitor serial variam constantemente, dada a característica da programação, isto é, na programação do Arduino está prevista 50 leituras por segundo e logo em seguida a média delas. Logo, os gráficos se referem a uma imagem congelada (leitura momentânea) de uma dada oscilação, sendo ela contínua.

Figura 1 - Gráfico do monitor serial para água



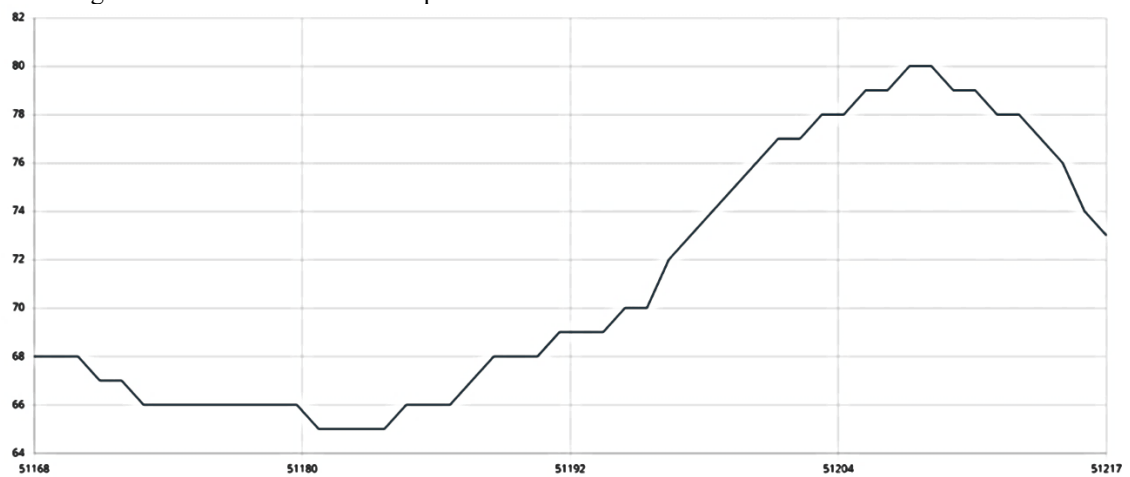
Fonte: IDE/Arduino

Figura 2 - Gráfico do monitor serial para gasolina



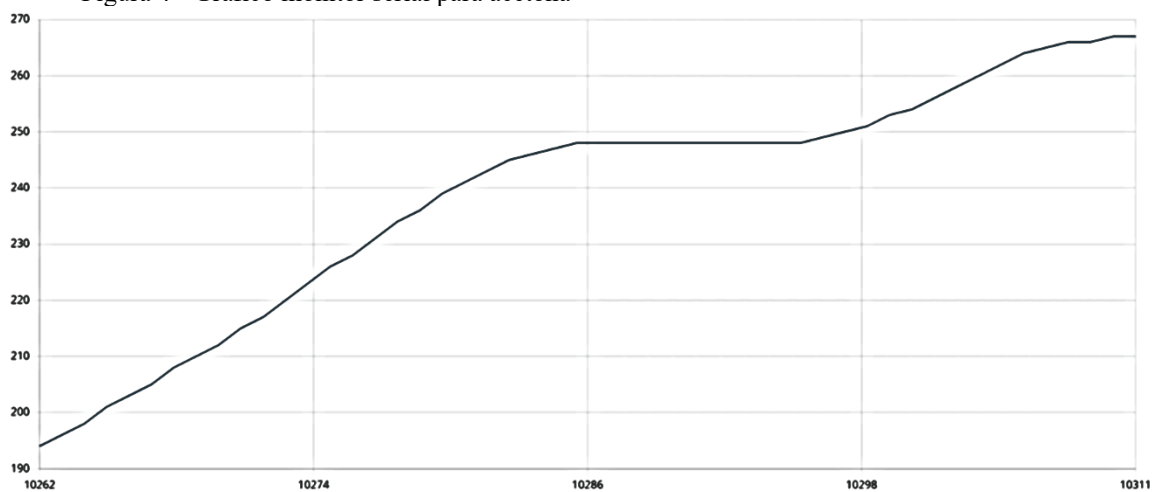
Fonte: IDE/Arduino

Figura 3 - Gráfico monitor serial para etanol



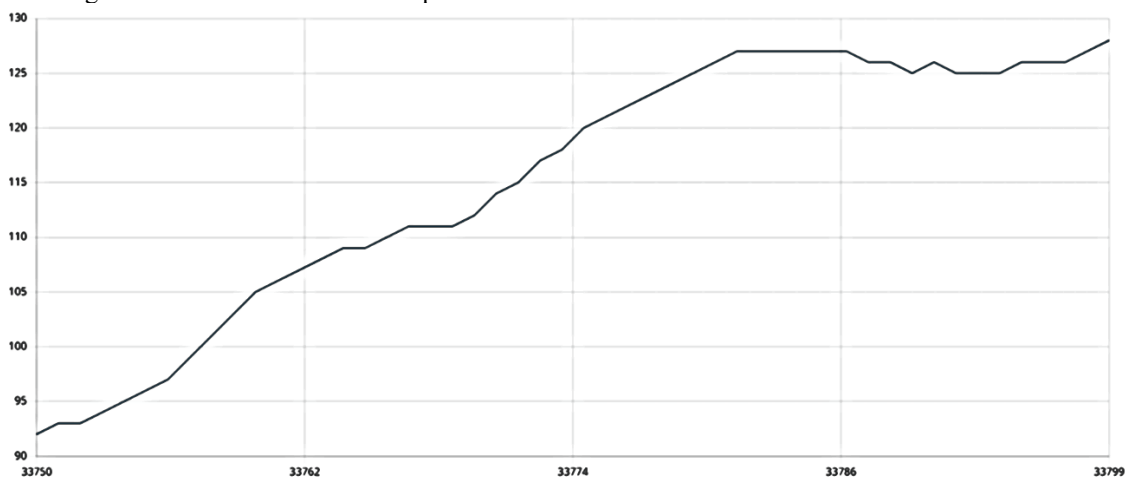
Fonte: IDE/Arduino

Figura 4 - Gráfico monitor serial para acetona



Fonte: IDE/Arduino

Figura 5 – Gráfico monitor serial para o esmalte



Fonte: IDE/Arduino

Com relação aos dados acima, eles não foram analisados em um contexto de ensino, pois o objetivo foi apenas na realização de testes, ficando nesse caso como uma sugestão para o uso do protótipo. Ainda assim, sua apresentação neste trabalho se justifica por se tratar de uma proposta metodológica promissora, que pode ser utilizada para ensinar outros objetos de conhecimento mediados pelo protótipo, como facilitar a aprendizagem de conhecimentos relacionados às interações intermoleculares.

APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO – LEVANTAMENTO DE SUBSUNÇORES

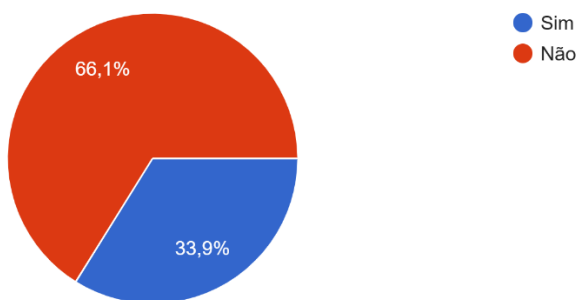
O que você entende por catalisadores automotivos?

62 respostas



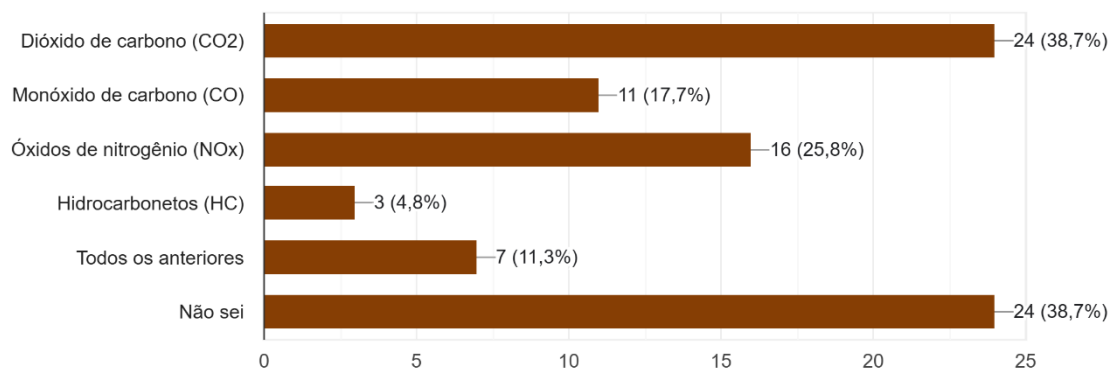
Você sabe como os catalisadores automotivos funcionam?

62 respostas



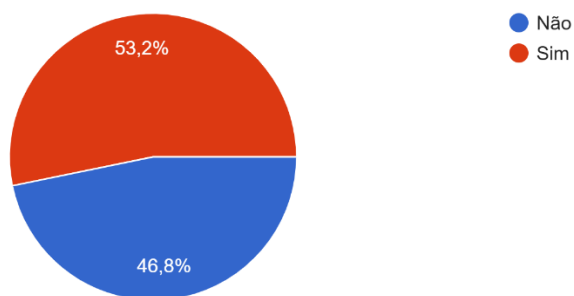
Quais representações você tem familiaridade? Você sabe o que elas indicam?

62 respostas



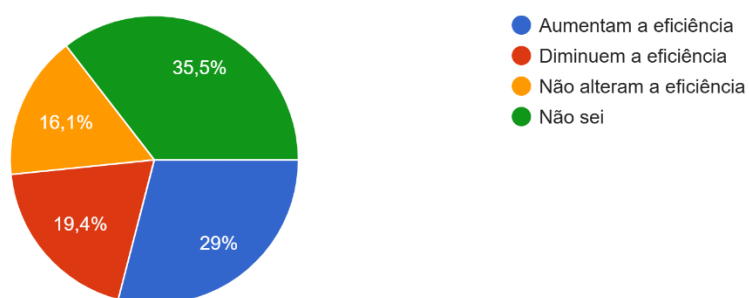
Você já ouviu falar sobre os metais platina, paládio e ródio?

62 respostas



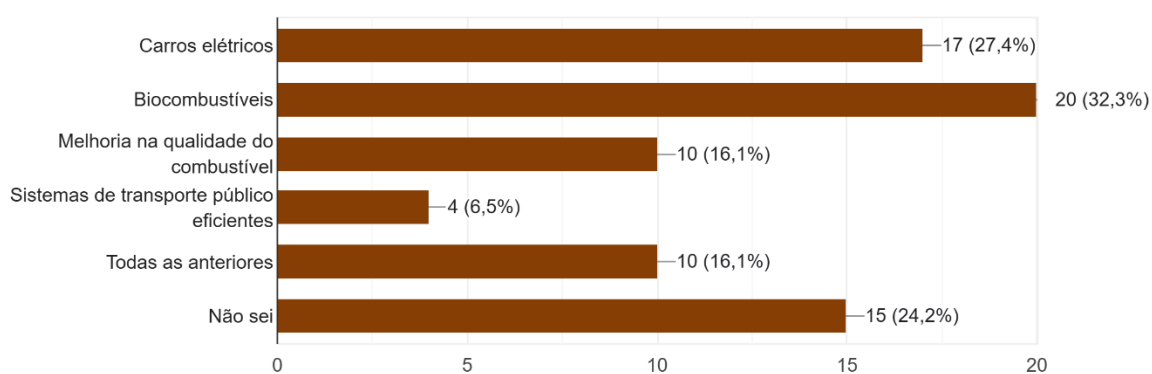
Como você acredita que os catalisadores automotivos impactam a eficiência energética dos veículos?

62 respostas



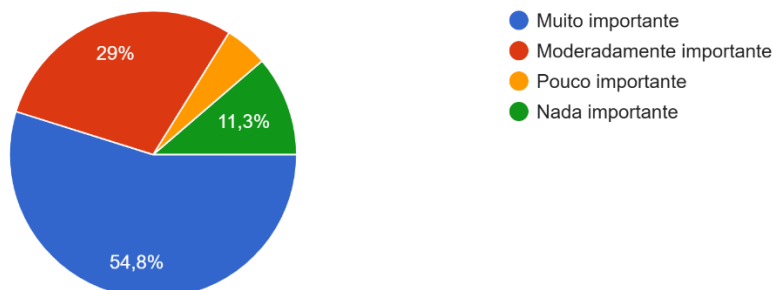
Quais são as alternativas aos catalisadores automotivos para a redução da poluição veicular?

62 respostas



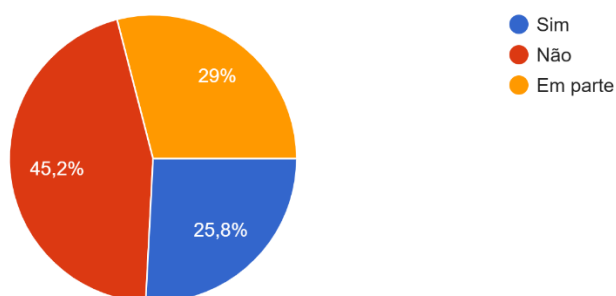
Na sua opinião, o quanto é importante o uso de catalisadores automotivos para a redução da poluição?

62 respostas



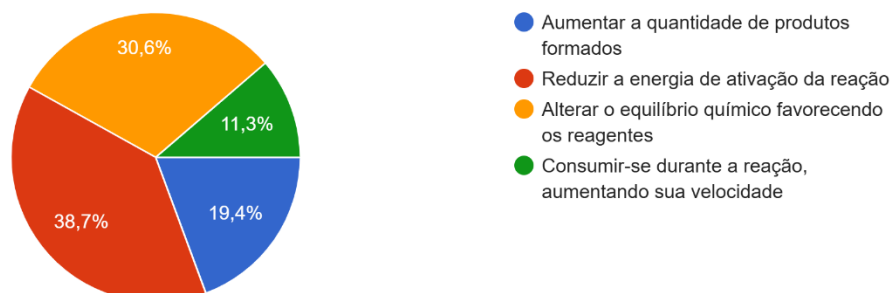
Você se sente bem informado sobre o papel dos catalisadores automotivos na redução da poluição?

62 respostas



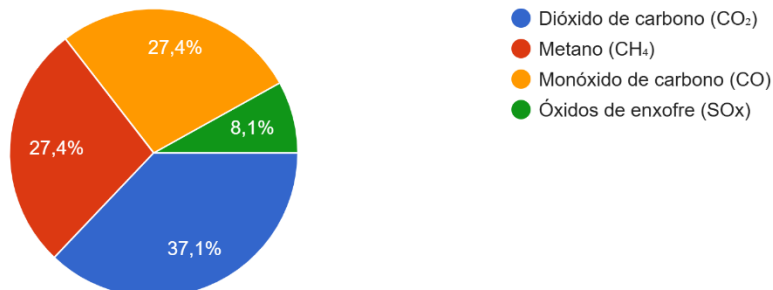
Qual é a principal função de um catalisador em uma reação química?

62 respostas



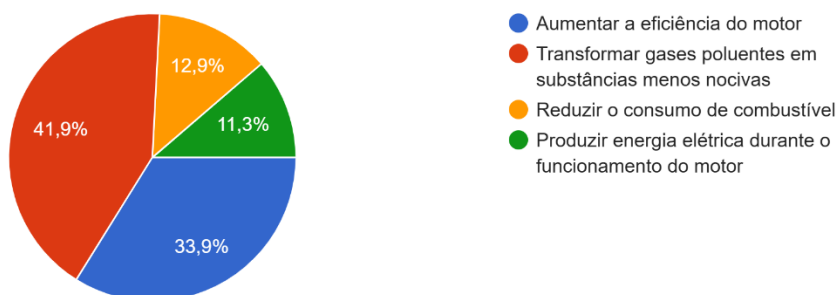
Qual dos seguintes poluentes é gerado em maior quantidade na combustão incompleta de combustíveis fósseis?

62 respostas



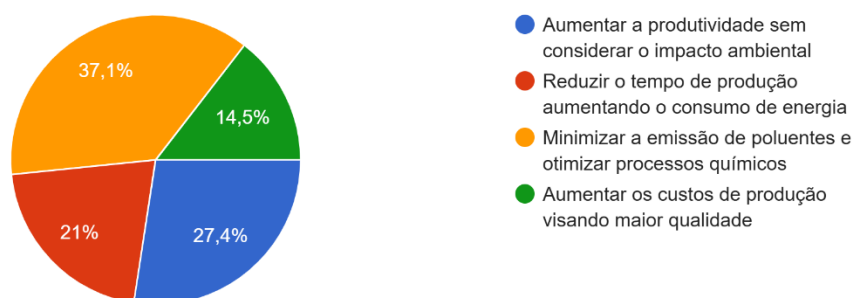
Os catalisadores automotivos (catalisadores veiculares) têm como principal função:

62 respostas



A utilização de tecnologias limpas e catalisadores nas indústrias busca principalmente:

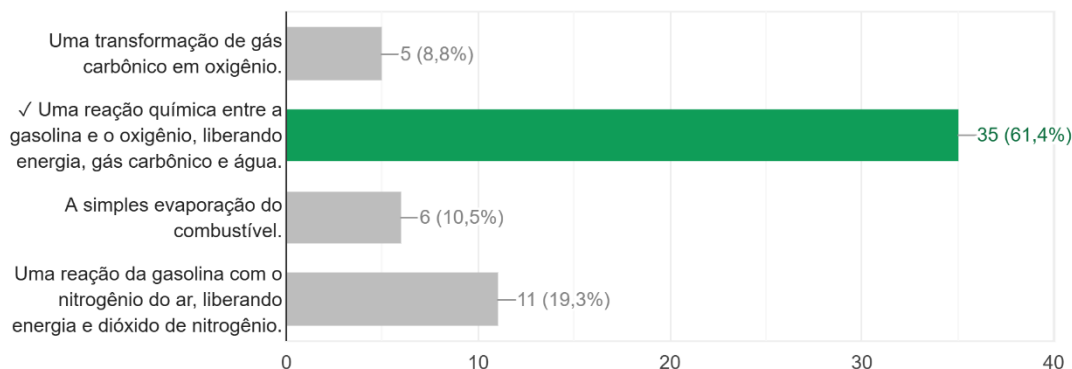
62 respostas



APÊNDICE C – RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO/AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA DA APROPRIAÇÃO DOS CONHECIMENTOS

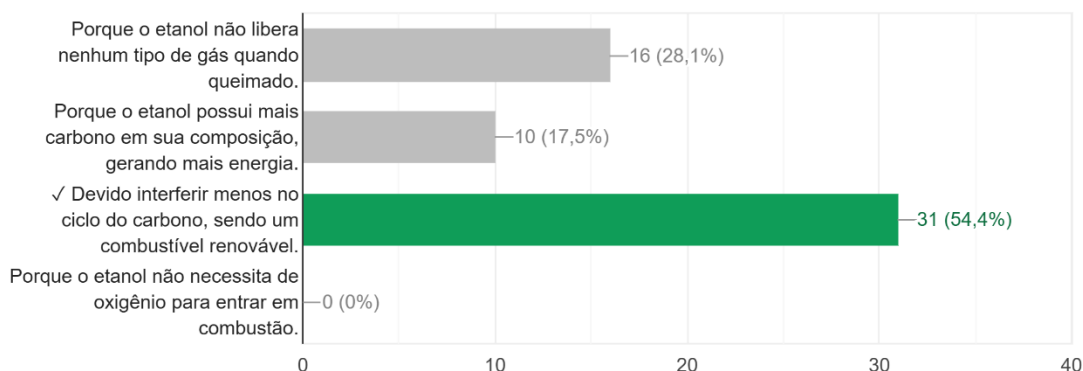
O que ocorre principalmente durante a queima da gasolina dentro de um motor de carro?

35/57 respostas corretas



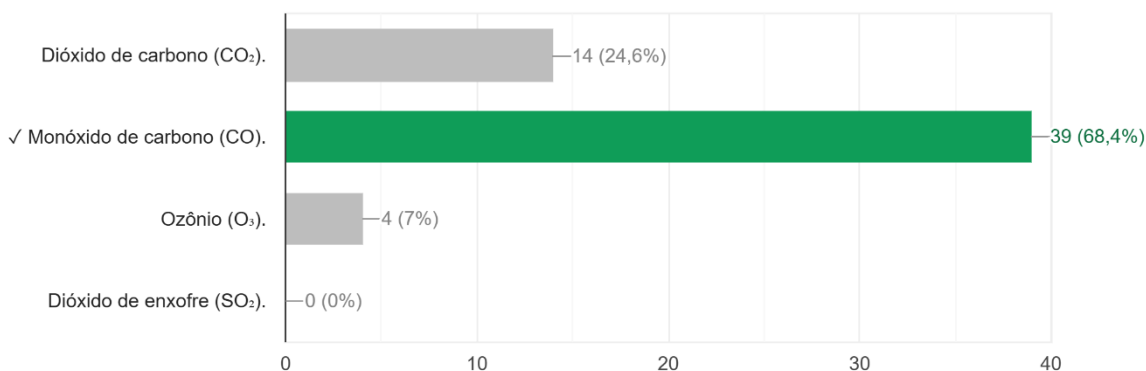
Por que o etanol é frequentemente considerado um combustível "mais limpo" em comparação com a gasolina?

31/57 respostas corretas



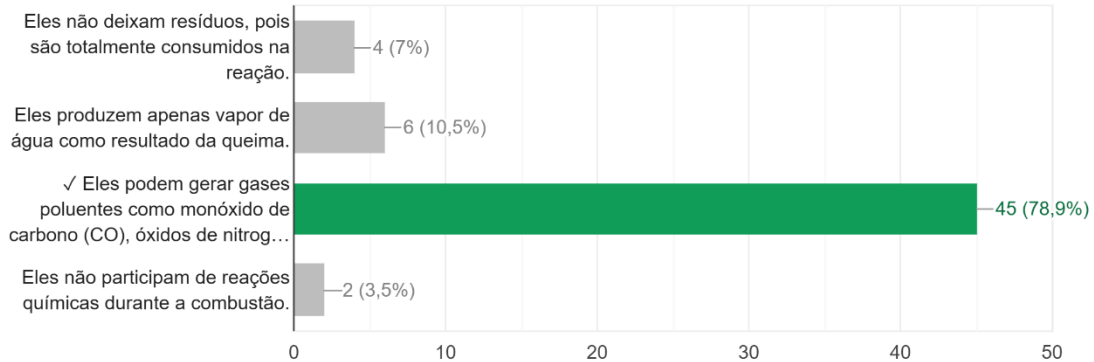
Qual é o principal gás poluente formado quando a gasolina não queima completamente?

39/57 respostas corretas



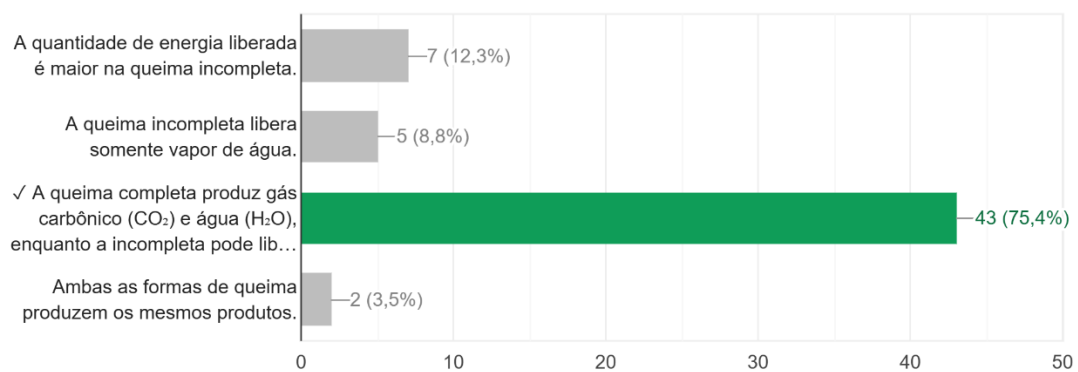
Considerando os combustíveis fósseis, como a gasolina, qual das opções descreve melhor seu impacto nas reações de combustão?

45/57 respostas corretas



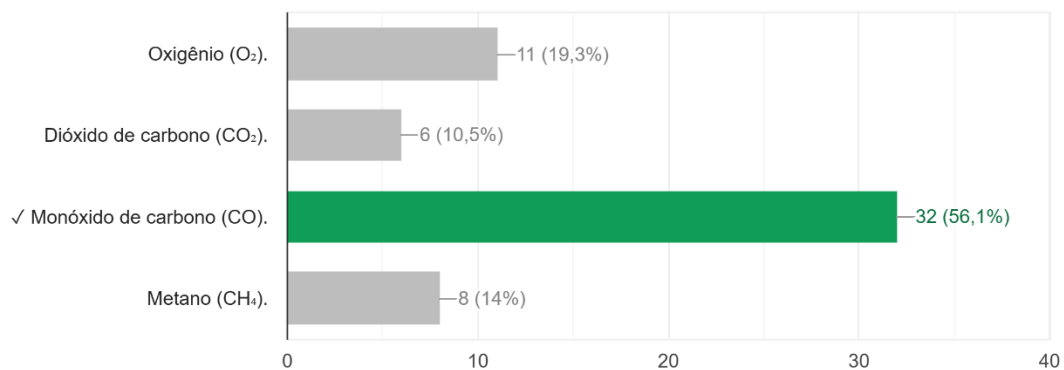
Qual é a diferença fundamental entre a queima completa e a queima incompleta de um combustível?

43/57 respostas corretas



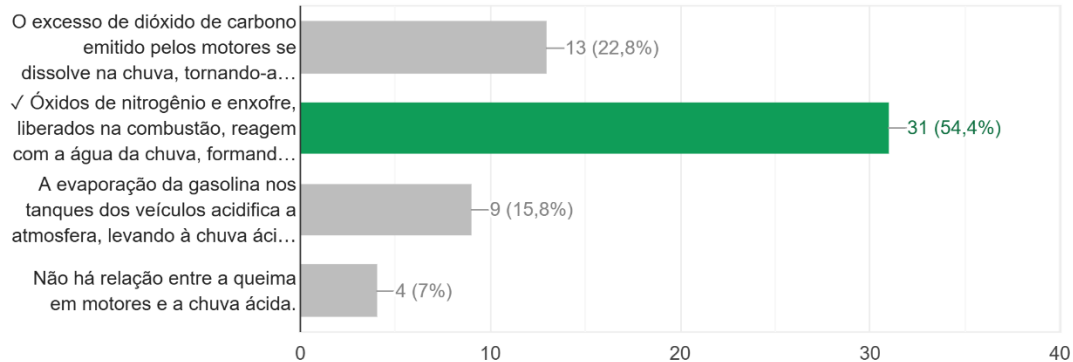
Qual gás liberado pelos veículos pode prejudicar diretamente a saúde humana ao se ligar à hemoglobina no sangue, dificultando o transporte de oxigênio?

32/57 respostas corretas



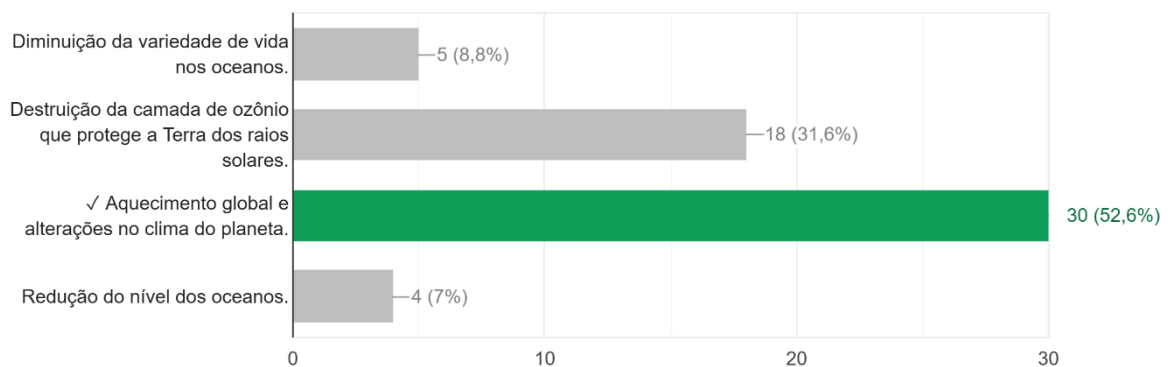
Como a queima de combustíveis (gasolina e óleo diesel) em motores de carros está relacionada ao fenômeno da "chuva ácida"?

31/57 respostas corretas



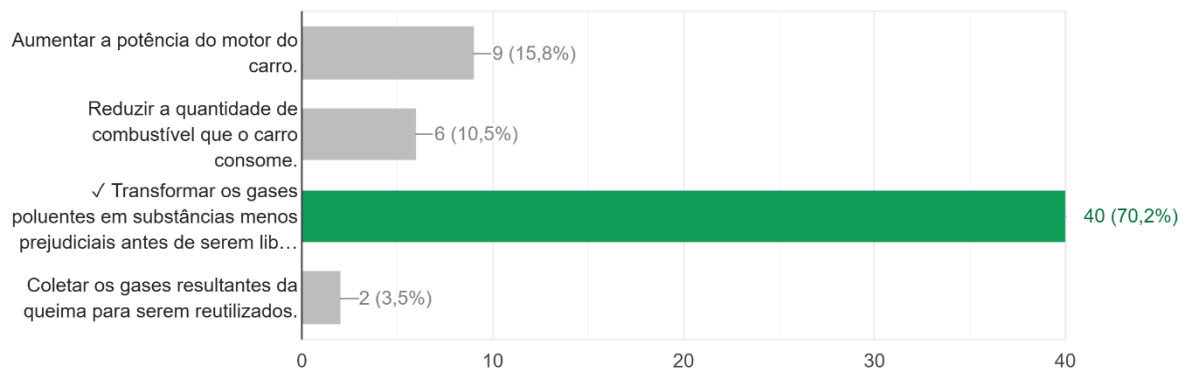
Qual é o principal impacto ambiental associado ao aumento da concentração de gás carbônico (CO₂) na atmosfera?

30/57 respostas corretas



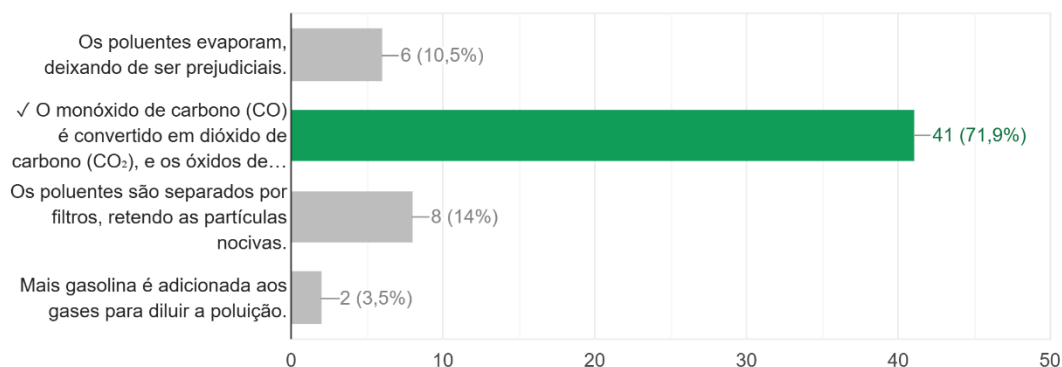
Qual é a principal função do catalisador presente nos veículos automotores?

40/57 respostas corretas



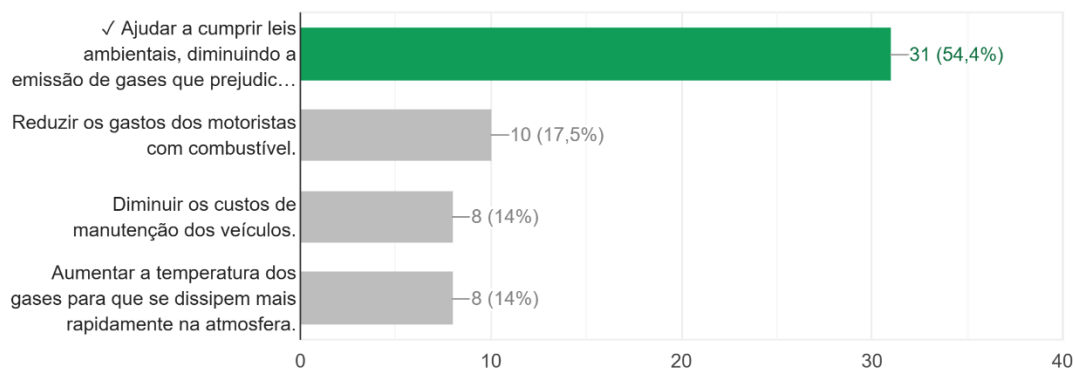
Que tipo de transformação química ocorre dentro do catalisador automotivo?

41/57 respostas corretas



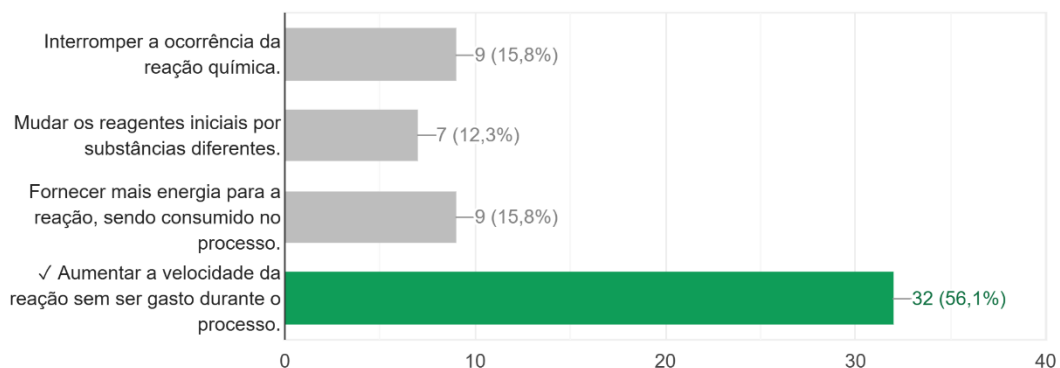
Qual é uma das principais razões para a obrigatoriedade do uso de catalisadores automotivos em muitos países?

31/57 respostas corretas



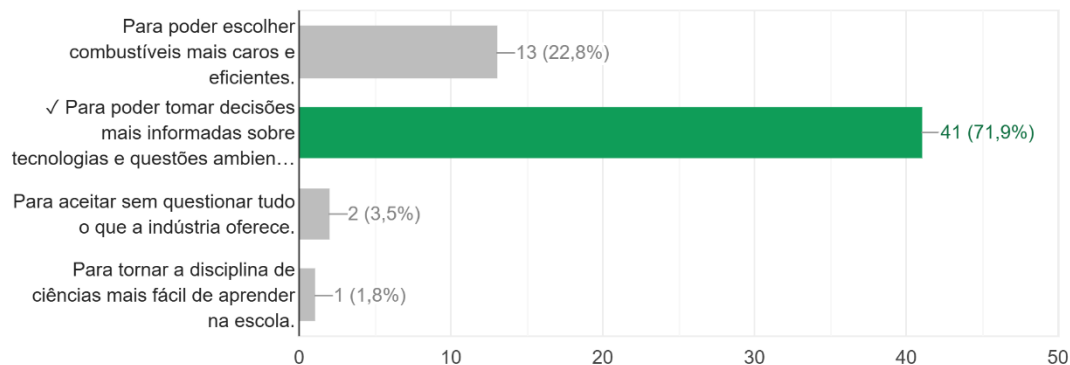
Em uma reação química, qual é o papel de um catalisador?

32/57 respostas corretas



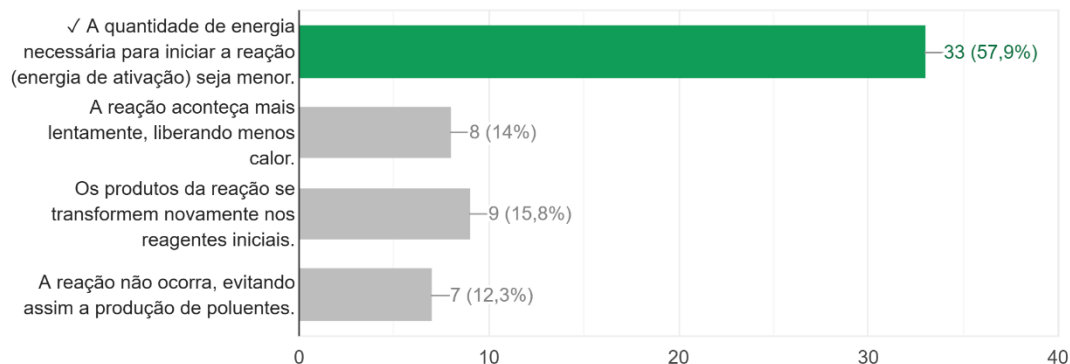
Por que é importante entender conceitos científicos, como o uso de catalisadores, na sociedade atual?

41/57 respostas corretas



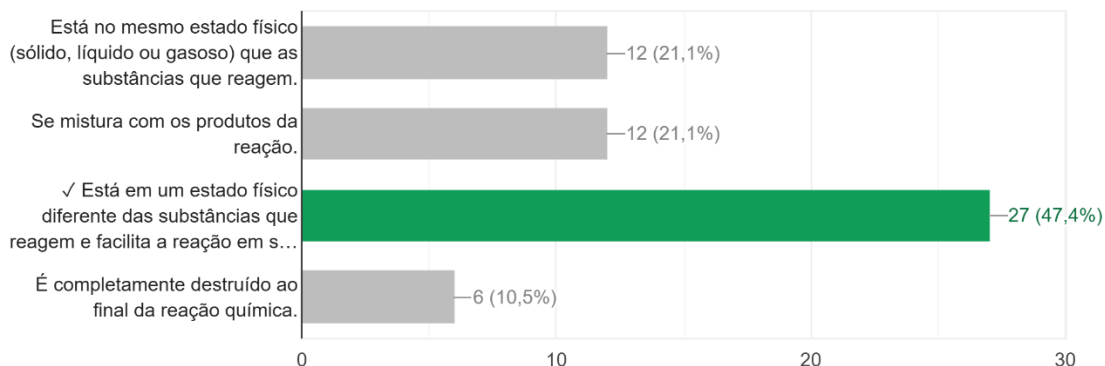
O uso de um catalisador em uma reação química permite que:

33/57 respostas corretas



Na reação química, como a que ocorre no catalisador automotivo, o catalisador:

27/57 respostas corretas



APÊNDICE D - ESTUDO DIRIGIDO

Conversor catalítico

O conversor catalítico é um exemplo de catálise heterogênea e ocorre nos conversores catalíticos de automóveis.

Os combustíveis utilizados em veículos automotivos no Brasil são basicamente a gasolina e o álcool (etílico e metílico), cuja queima libera os seguintes produtos:

Gasolina: a queima completa produz $\text{CO}_2(\text{g})$ e $\text{H}_2\text{O}(\text{v})$; a queima incompleta produz $\text{CO}(\text{g})$ e vapores de hidrocarbonetos, como o etano, $\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$. Dependendo das impurezas presentes, a queima da gasolina também pode produzir $\text{NO}(\text{g})$ e $\text{NO}_2(\text{g})$.

Álcool: a queima completa produz $\text{CO}_2(\text{g})$ e $\text{H}_2\text{O}(\text{v})$; a queima incompleta produz aldeídos, como metanal, $\text{CH}_2\text{O}(\text{v})$, e etanal, $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}(\text{v})$.

Como as substâncias poluentes que causam mais problemas à saúde humana são aquelas provenientes da queima incompleta (ou da queima de impurezas), os veículos passaram a ser fabricados com dispositivos antipoluição, denominados conversores catalíticos (ou catalisadores), que transformam os gases tóxicos em gases não tóxicos, como $\text{CO}_2(\text{g})$, $\text{N}_2(\text{g})$, $\text{O}_2(\text{g})$ e $\text{H}_2\text{O}(\text{v})$.

O conversor é constituído de um suporte na forma de colmeia, em geral de material cerâmico (às vezes metálico) revestido de óxido de alumínio, $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{s})$.

Sobre o óxido de alumínio que recobre a colmeia é fixada a substância que atua de fato como catalisador. Em geral, são utilizadas finas camadas, com aproximadamente 1,5 g no total, de uma liga de paládio e ródio para os motores a gasolina ou de uma liga de paládio e molibdênio para os motores a álcool.

A colmeia é então envolta por uma manta cerâmica termo expansiva, ou seja, que isola termicamente o catalisador e oferece proteção mecânica à colmeia. Em seguida, todo o conjunto – denominado conversor catalítico – é montado dentro de uma carcaça de aço inoxidável e instalado no cano de escape do automóvel.

Fonte: Martha Reis. - 2. ed. - São Paulo: Ática, 2017.

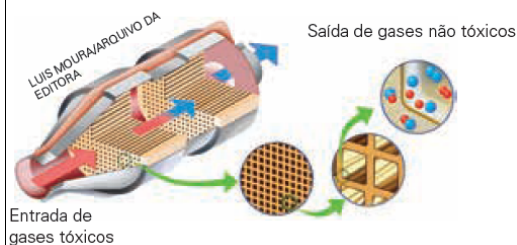
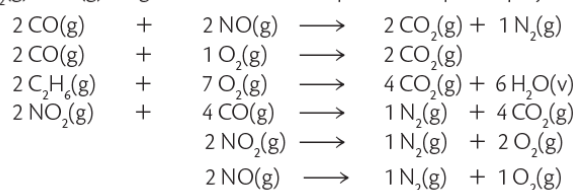


Fig. 2 – Ilustração esquemática de um conversor catalítico.

Algumas das reações que transformam os gases tóxicos $\text{CO}(\text{g})$, $\text{NO}_2(\text{g})$ e $\text{NO}(\text{g})$ em gases não tóxicos são representadas pelas equações:



Martha Reis. - 2. ed. - São Paulo: Ática, 2017.

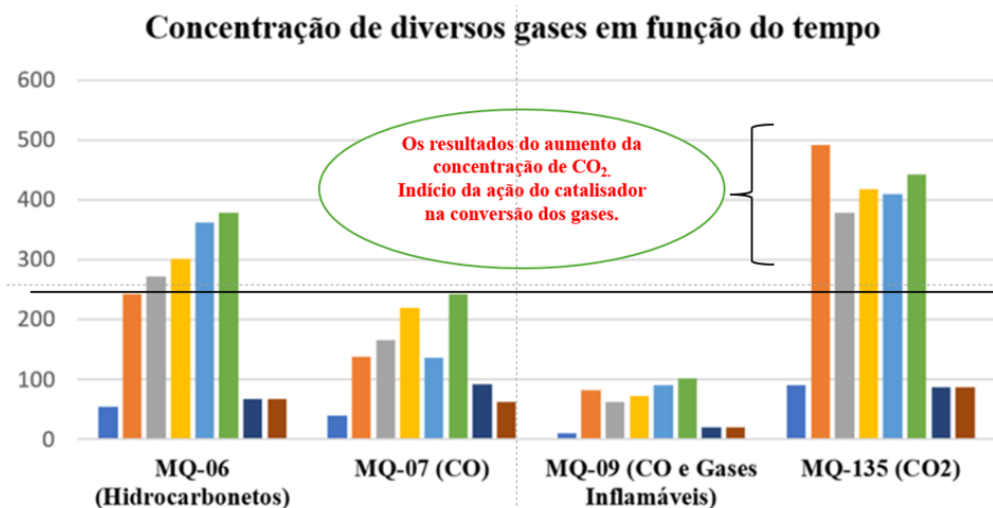
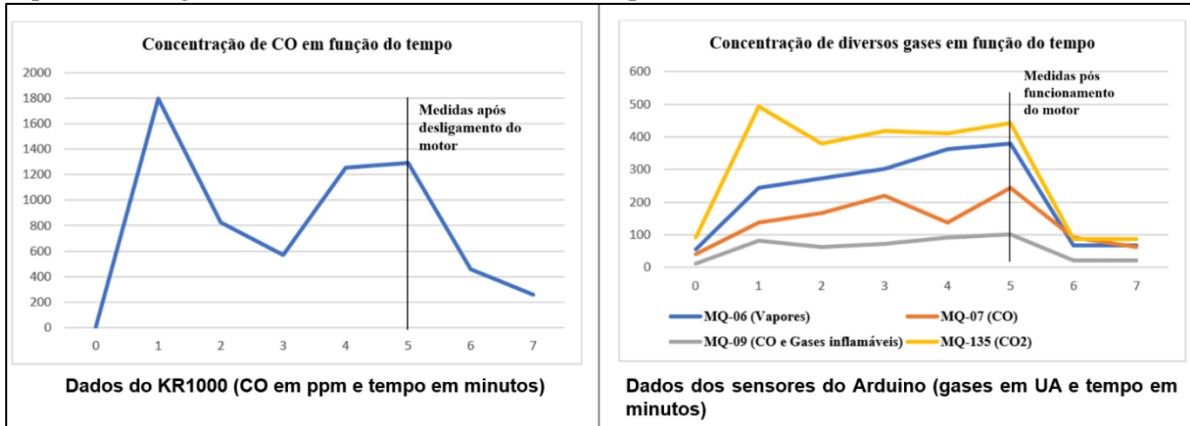
Os dados abaixo referem-se aos valores obtidos no experimento prático usando o protótipo do Arduino. O objetivo dele foi coletar a emissão de gases do escapamento. Com base na análise deles e dos gráficos construídos a partir dos valores numéricos responda às questões, nas quais você deve interpretar os dados para verificar a apropriação conceitual.

Valores medidos

Condição	Tempo (min)	KR1000 (CO)	MQ-06 (Vapores)	MQ-07 (CO)	MQ-09 (CO e Gases inflamáveis)	MQ-135 (CO ₂)
Medidas com o motor em funcionamento	0	0	54	40	11	91
	1,0	1800	243	138	82	492
	2,0	825	272	166	63	378
	3,0	567	302	220	72	418
	4,0	1257	362	137	90	410
	5,0	1294	378	243	102	443
	6,0	458	68	92	21	87

Medidas após desligamento do motor	7,0	256	68	62	21	87
------------------------------------	-----	-----	----	----	----	----

Representação gráfica das medidas em função do tempo



Questões:

01) O gráfico apresenta a variação da concentração de diferentes gases (vapores, CO, CO₂ e gases inflamáveis) em função do tempo após o funcionamento de um motor movido a gasolina sem aceleração.

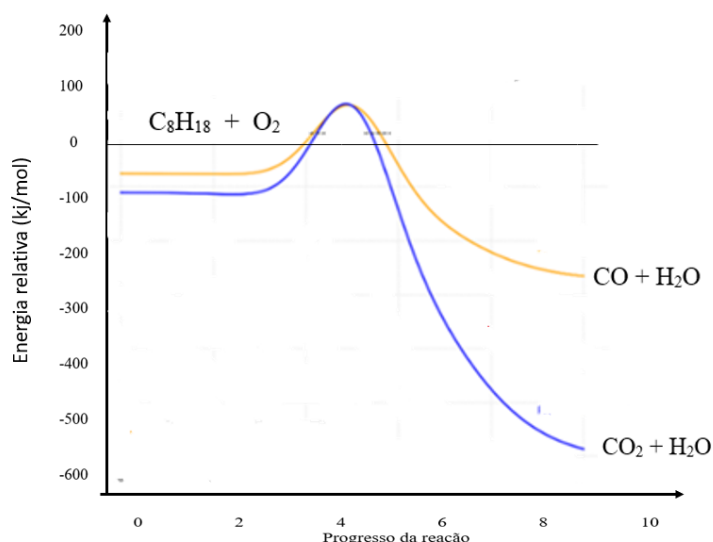
Durante a combustão da gasolina (hidrocarbonetos), podem ocorrer:

- Queima completa: formação predominante de dióxido de carbono (CO₂) e água (H₂O).
- Queima incompleta: formação de monóxido de carbono (CO), fuligem e outros compostos devido à insuficiência de oxigênio.

Com base nos dados e nas informações apresentadas:

- a) Identifique, no gráfico, quais gases indicam a ocorrência de queima completa e incompleta da gasolina.
- b) Escreva as reações da combustão completa e incompleta.
- c) Determine, a partir da variação da concentração dos gases no tempo, em que intervalo a reação química de combustão produziu mais CO₂. Justifique sua resposta considerando a formação dos produtos de combustão e a influência do catalisador automotivo no processo.

- d) Explique como a análise das curvas dos gases permite comparar a eficiência do catalisador automotivo na conversão gasosa após o processo de combustão no motor.
- 02) Com base nos dados coletados pelo Arduino, quais diferenças você observou na quantidade de gases emitidos (como CO, CO₂, NO_x ou hidrocarbonetos) em diferentes condições do motor (ex.: motor em funcionamento e após o desligamento do motor)? O que esses resultados indicam?
- 03) Como os resultados do experimento ajudam a entender o papel do catalisador automotivo na redução da poluição atmosférica? Explique usando exemplos dos dados medidos.
- 04) Durante o funcionamento do motor, a emissão de gases ocorre a partir de reações químicas de combustão. Com base nisso, como a velocidade dessas reações influencia a quantidade e o tipo de gases liberados no escapamento?
- 05) O catalisador atua diminuindo a energia de ativação das reações químicas. Os dados coletados pelo Arduino evidenciam a combustão completa e incompleta. O gráfico abaixo mostra os perfis de energia de duas rotas hipotéticas de combustão. Os valores de energia e as barreiras mostradas no gráfico são apenas ilustrativos (aparentes) e não representam valores experimentais. Responda com base nele, qual das reações (completa e incompleta) possui maior energia de ativação?



APÊNDICE E – PRODUTO EDUCACIONAL

Este produto educacional, apresentado neste apêndice é constituído pelo artigo **“Desenvolvimento e Implementação de Atividades Investigativas com Arduino para o Ensino de Química”**, resultou de uma pesquisa que investigou o uso do Arduino como recurso pedagógico no ensino de Química. Seu objetivo principal é incentivar pesquisas e práticas educativas que integrem o Arduino e atividades investigativas, contribuindo para aprendizagens mais significativas e contextualizadas.

Destinado a professores, estudantes e pesquisadores da área de Ensino de Química, o material fundamenta-se em pressupostos da aprendizagem ativa e da investigação científica. O artigo apresentou a atividade desenvolvida nessa dissertação, considerando que suas análises, pelos pesquisadores em ensino podem propor adaptações a diferentes contextos educacionais. Portanto, servindo como referência para o desenvolvimento de novas propostas pedagógicas e investigações na área.

Desenvolvimento e implementação de atividade investigativa com Arduino para o Ensino de Química

Development and implementation of an investigative activity with Arduino for Chemistry Teaching

Desarrollo e implementación de una actividad investigativa con Arduino para la Enseñanza de Química

DOI: 10.54033/cadpedv22n12-086

Originals received: 9/5/2025

Acceptance for publication: 9/29/2025

José Airton Mesquita Pinto

Especialista em Ensino de Ciências

Instituição: Universidade do Federal do Triângulo Mineiro (UFTM)

Endereço: Uberaba, Minas Gerais, Brasil

E-mail: airton.quimica1@gmail.com

Priscila Pereira Silva

Doutora em Engenharia Química

Instituição: Universidade do Federal do Triângulo Mineiro (UFTM)

Endereço: Uberaba, Minas Gerais, Brasil

E-mail: priscila.silva@uftm.edu.br

Sandra Cristina Dantas

Doutora em Engenharia Química

Instituição: Universidade do Federal do Triângulo Mineiro (UFTM)

Endereço: Uberaba, Minas Gerais, Brasil

E-mail: sandra.dantas@uftm.edu.br

RESUMO

Para promover uma aprendizagem mais qualificada e superar a distância entre a teoria e a prática no ensino de Química, novas estratégias pedagógicas que integrem experimentação e tecnologia são cada vez mais necessárias. Este artigo investiga o potencial do uso de atividades investigativas mediadas por Arduino como estratégia pedagógica para o ensino de conceitos em Química. O estudo envolveu o desenvolvimento de protótipos de Arduino, com a respectiva programação no software (IDE), e sua aplicação em sala de aula, demonstrada por uma atividade de análise da emissão de gases provenientes da combustão de combustíveis automotivos. Fundamentado na Teoria da Mediação Cognitiva de Vygotsky, que enfatiza a relação entre linguagem e processos mentais superiores, buscou-se qualificar a aprendizagem por meio da experiência prática

e da interação. A avaliação, realizada através de questões específicas, visou medir a apropriação e a consolidação de conhecimentos pelos estudantes, priorizando a compreensão em detrimento da memorização. Os resultados evidenciaram que a metodologia implementada é promissora no desenvolvimento de competências científicas e na promoção de uma aprendizagem significativa em Química. Verificou-se que 71,9% dos estudantes compreenderam que o catalisador atua na conversão dos gases. Este estudo sugere o Arduino como uma ferramenta eficaz para mediar a aprendizagem investigativa, apontando para a relevância de futuras investigações que ampliem o escopo de aplicação dessa abordagem.

Palavras-chave: Arduino. Catalisador. Combustão. Gases. Mediação.

ABSTRACT

To promote more qualified learning and bridge the gap between theory and practice in Chemistry teaching, new pedagogical strategies that integrate experimentation and technology are increasingly necessary. This article investigates the potential of using Arduino-mediated investigative activities as a pedagogical strategy for teaching Chemistry concepts. The study involved the development of Arduino prototypes, with their respective software (IDE) programming, and their application in the classroom, demonstrated through an activity analyzing the emission of gases from the combustion of automotive fuels. Grounded in Vygotsky's Cognitive Mediation Theory, which emphasizes the relationship between language and higher mental processes, the aim was to qualify learning through practical experience and interaction. The evaluation, conducted through specific questions, sought to measure students' appropriation and consolidation of knowledge, prioritizing understanding over memorization. The results showed that the implemented methodology is promising for developing scientific competencies and promoting meaningful learning in Chemistry. It was observed that 71.9% of the students understood that the catalyst acts in the conversion of gases. This study suggests Arduino as an effective tool for mediating investigative learning, highlighting the relevance of future investigations that expand the scope of application of this approach.

Keywords: Arduino. Catalyst. Combustion. Gases. Mediation.

RESUMEN

Para promover un aprendizaje más cualificado y superar la distancia entre la teoría y la práctica en la enseñanza de la Química, nuevas estrategias pedagógicas que integren experimentación y tecnología son cada vez más necesarias. Este artículo investiga el potencial del uso de actividades investigativas mediadas por Arduino como estrategia pedagógica para la enseñanza de conceptos en Química. El estudio implicó el desarrollo de prototipos de Arduino, con su respectiva programación en el software (IDE), y su aplicación en el aula, demostrada a través de una actividad de análisis de la emisión de gases provenientes de la combustión de combustibles automotrices. Fundamentado en la Teoría de la Mediación Cognitiva de Vygotsky, que enfatiza la relación entre el lenguaje y los procesos mentales superiores, se buscó

cualificar el aprendizaje mediante la experiencia práctica y la interacción. La evaluación, realizada a través de preguntas específicas, tuvo como objetivo medir la apropiación y consolidación de conocimientos por parte de los estudiantes, priorizando la comprensión sobre la memorización. Los resultados evidenciaron que la metodología implementada es prometedora en el desarrollo de competencias científicas y en la promoción de un aprendizaje significativo en Química. Se verificó que el 71.9% de los estudiantes comprendió que el catalizador actúa en la conversión de los gases. Este estudio sugiere Arduino como una herramienta eficaz para mediar el aprendizaje investigativo, señalando la relevancia de futuras investigaciones que amplíen el alcance de aplicación de este enfoque.

Palabras clave: Arduino. Catalizador. Combustión. Gases. Mediación.

1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico tornou os recursos eletrônicos essenciais na aprendizagem de conceitos científicos. Um exemplo notável é o estudo dos fenômenos que envolvem o comportamento físico dos gases. Diversas abordagens demonstram o potencial de aprendizagem com essas ferramentas, como softwares que associam fenômenos gasosos a modelos particulados (Lima, 2025). Estes impactam qualitativamente o desenvolvimento cognitivo dos estudantes. Rodrigues (2024), nessa perspectiva, defende simuladores interativos como mediadores do ensino-aprendizagem. Argumentos que os validam incluem a eficácia na compreensão de conceitos abstratos, especialmente os aspectos microscópicos e macroscópicos das transformações de gases sob variações de temperatura e pressão (Oliveira *et al.*, 2020).

Plataformas como PhET, GasLab (Modellus) e OPhysics (Rodrigues, 2024; Lopes *et al.*, 2017) são exemplos notáveis de simuladores. Intuitivos e interativos, eles facilitam a apropriação de conhecimentos complexos em Química, como as leis dos gases e a teoria cinética. O comportamento dos gases possui forte relação interdisciplinar entre física e química, essencial para a compreensão de questões ambientais. A análise de resíduos gasosos, naturais ou industriais, é fundamental para uma educação que vise reduzir o agravamento dos problemas ambientais (Mainardi *et al.*, 2020). O estudo desses fenômenos,

portanto, ganha importância pela responsabilidade social de minimizar os impactos da emissão de gases gerados por processos como a combustão.

Os simuladores contribuem significativamente para a compreensão de conceitos físicos, muitas vezes abstratos. Contudo, a contextualização de problemas ambientais decorrentes dos gases requer uma abordagem que não seja meramente reprodutiva, nem limite o desenvolvimento de conhecimentos complexos. Diante disso, propõe-se uma abordagem mais ampla com foco no ensino por investigação. Essa proposta vincula a aprendizagem a percepções visuais e à lógica (Araújo *et al.*, 2021), permitindo que estudantes explorem ativamente os fenômenos estudados e se apropriem de conhecimentos físico-químicos dos gases aplicáveis no cotidiano.

Este estudo implementou uma atividade investigativa, baseada na lógica de programação, como alternativa ao ensino de conhecimentos complexos sobre gases, produtos da combustão. Apoiou-se na Teoria da Mediação Cognitiva de Vygotsky para verificar como os estudantes se apropriam do conhecimento e constroem aprendizagens significativas nesta área.

Para tal, utilizou-se um protótipo com programação prévia no software Arduino (plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto) para medir e identificar gases da combustão de gasolina. Este recurso buscou ampliar a compreensão dos fenômenos de formação dessas substâncias, especialmente da câmara de combustão automotiva. Com este método de ensino, visou-se ao protagonismo do estudante (Silva *et al.*, 2025) na utilização e/ou construção de protótipos eletrônicos baseados na programação do Arduino.

Assim, esta proposta didático-pedagógica visa ampliar possibilidades e formas de ensino-aprendizagem para o estudo dos gases. Contudo, a quantificação dos gases formados pela atividade investigativa proposta apresentou desafios, pois exigiria procedimentos laboratoriais específicos, não sendo o objetivo desta proposta. O método experimental, assim, buscou auxiliar no desenvolvimento de outras habilidades nos estudantes, diferenciando-se de práticas teóricas e/ou simuladas exaustivamente utilizadas (Lourenço *et al.*, 2003).

2 REVISÃO TEÓRICA

A apropriação do conhecimento é um dos objetivos essenciais que fundamenta o processo de ensino-aprendizagem, para isso é importante que os processos para o atingir estejam coordenados e alinhados com as atividades mentais superiores, isto é, aos processos cognitivos mais complexos. Este trabalho busca na Teoria da Mediação de Vygotsky (TMV¹) enfatizar a importância que deve ser dada aos instrumentos, signos e linguagem na construção do conhecimento (Vygotsky, 1993; 1998). Segundo ele, o desenvolvimento humano acontece porque as pessoas absorvem práticas construídas social e historicamente. Isso significa que aprender depende das relações sociais, já que nossas capacidades intelectuais mais avançadas nascem do convívio entre indivíduos (Ostermann *et al.*, 2011).

No processo de mediação do aprendizado, é salutar enfatizar a interação entre indivíduos na construção do conhecimento, uma vez que ela ocorre no ambiente sociocultural (Didier, 2008). Nesse contexto, atividades que torna o estudante mais ativo no processo de aprendizagem, como propor a criação de protótipos eletrônicos, vai ao encontro dessa proposta (Silva *et al.*, 2025). Partindo dessa perspectiva, o Arduino, como ferramenta educacional, insere-se, nesse estudo, como objeto mediador da aprendizagem em Química, sendo ele o artefato essencial que dialoga como facilitador da compreensão dos conceitos científicos acerca dos fenômenos relacionados às reações gasosas (Araújo, 2017).

A prototipagem, usando a plataforma do Arduino, é desafiadora, não apenas pelo grau de dificuldades que possam existir, tal como a questão da programação e o próprio acesso ao *hardware*, que infelizmente não é disponibilizado com facilidade nas redes de educação, contudo, os desafios devem ser enfrentados e adaptados às diferentes realidades educacionais. Dadas a devidas proporções aos problemas aqui apresentados, deve-se atentar

¹ A Teoria da Mediação de Vygotsky destaca a importância do contexto social e cultural no desenvolvimento cognitivo. A interação social, a mediação por ferramentas e signos, e a atuação na Zona de Desenvolvimento Iminente são elementos-chave para o aprendizado e desenvolvimento dos indivíduos.

aos ganhos pedagógicos do seu uso na formação cognitiva dos estudantes. Ainda mais no mundo conectado e tecnológico vivenciados na atualidade (Gomes, 2007).

A inserção de atividades investigativas que envolvem o Arduino, ao demandar a interação entre seus componentes físicos (hardware) e a lógica de programação (software via Arduino IDE - Ambiente de Desenvolvimento Integrado), cria um ambiente propício para a apropriação de conceitos. Essa dualidade entre o concreto e o abstrato, onde o código se materializa em ação e permite manipular fenômenos, é fundamental para o desenvolvimento de projetos eletrônicos adaptáveis ao ensino de ciências, como os conhecimentos da Química, propostos neste estudo (Grasiéle, 2024).

Consequentemente, deve-se de maneira justa contemplar nessa proposta a valoração da TMV, inserindo, a esse tempo, o que Vygotsky explica como a Zona de Desenvolvimento Iminente (ZDI). De acordo com o autor, o aprendizado ocorre de forma mais eficaz quando há um suporte adequado (andaime), permitindo que os estudantes realizem atividades que, inicialmente, não conseguiriam sozinhos (Martins *et al.*, 2012; Moreira, 1999; Ferreira *et al.*, 2021; Ferreira *et al.*, 2023a). O uso do Arduino, como andaime, facilita esse processo ao possibilitar que estudantes, com orientação de professores ou pares mais experientes, desenvolvam projetos interativos que aprofundam sua compreensão dos conceitos da Química.

Considerando as perspectivas de Vygotsky, é importante ressaltar que a aprendizagem, para ele é uma ação social, construída num contexto de compartilhamento e de colaboração. Nesse sentido, os conhecimentos construídos ganham significados mais amplos e duradouros. Portanto, a aprendizagem também está vinculada a tomada de decisões, isto é, os conceitos teóricos ganham mais relevâncias quando estes estão relacionados as práticas experimentais (Araújo *et al.*, 2021). Logo, a prototipagem com Arduino vai ao encontro do que preconiza a TMV, isto é, a mediação da aprendizagem com auxílio de ferramentas e signos culturais (Moreira, 1999).

2.1 ESTADO DA ARTE

A aplicação de metodologias de ensino que valorizam o uso de ferramentas de programação, como o Arduino, tem demonstrado ao longo dos anos, ser um recurso interessante e apresentado bons resultados como mediadores da aprendizagem (Silva *et al.*, 2025). Destacam-se, entre eles, a apropriação de conhecimentos da linguagem computacional e o caráter investigativo que pode ser implementado nos processos de ensino de conceitos científicos (Garcia, 2023). Mediações de aprendizagem nesse sentido, são observadas no trabalho de Vallejo *et al.* (2020), no qual se descreve a criação de um calorímetro de baixo custo usando como suporte o Arduino, nele se acopla um sensor para aquisição de dados. Os autores forneceram detalhes técnicos de montagem e explicaram os testes do dispositivo na determinação do calor de dissolução do hidróxido de sódio (NaOH) em água.

As pesquisas que evidenciam a adoção de novas metodologias no ensino da mediação da aprendizagem com o uso do Arduino são significativas, sobretudo, pela sua estreita relação em demonstrar o desenvolvimento de experimentos que favorecem a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL). Segundo Garcia (2023), [...] possibilitam o desenvolvimento do pensamento computacional e a aquisição de conhecimentos tecnológicos, entre outras conquistas. [...].

Nesse contexto, se destacam alguns trabalhos relevantes, como o proposto por Kang *et al.* (2019) e Tay *et al.* (2024) defensores do movimento Maker na educação. O primeiro, desenvolveu um experimento, automatizado com o Arduino para a aprendizagem de conceitos científicos, como solubilidade, pressão e vácuo. Na mesma linha de aplicação do Arduino, isto é, a automação em experimentos, Tay *et al.* (2024) integraram o Arduino ao ensino de química, promovendo o desenvolvimento de um autotitulado de baixo custo para análise de acidez em sucos, utilizando tecnologias acessíveis como Arduino, sensores de pH e impressão 3D. Contribuições nesse sentido também foram dadas por Kamijo, (2024) que desenvolveu um sistema microcontrolado com Arduino, aplicado à titulação de soluções. Ele usou um sensor de cor e com o auxílio de

um servomotor, programou o sistema para identificar a mudança de coloração no ponto de viragem da titulação de modo que o acionamento do sistema (fechamento da torneira do decantador) ocorresse automaticamente.

A mediação da aprendizagem com uso do Arduino é promissora, pois possibilita o emprego de metodologias versáteis, sobretudo o que se observa também no ensino de física. Há, nesta área, diversos estudos que abordam diferentes aplicações e metodologias, especialmente na coleta de dados. Macedo *et al.* (2013) realizaram estudo utilizando um sensor ultrassônico, no qual mediram as distâncias em função do tempo. De forma similar, Cavalcante *et al.* (2013) exploraram outras potencialidades, eles demonstraram que o Arduino pode ser usado como microcontrolador, o que se aplica ao estudo do funcionamento de controles remotos. Já Carvalho *et al.* (2016) utilizaram a plataforma para modelar fenômenos atmosféricos complexos, como as marés, enquanto Junior *et al.* (2014) demonstraram sua eficácia na medição da aceleração da gravidade em experimentos de queda livre. Em um estudo mais recente, Lima (2025) desenvolveu uma estação de monitoramento da qualidade do ar, voltada para a medição de material particulado fino e usaram o Arduino, por considerarem, entre outras vantagens, ser de baixo custo, fácil manuseio e permitir a coleta de dados de maneira imediata.

Por fim, verifica-se uma diversidade de aplicações que podem ser utilizadas com Arduino. Tais aplicações contemplam projetos simples, mas também outros, mais elaborados. A exemplo disso, destaca-se o desenvolvimento de um protótipo de estação meteorológica de baixo custo, que foi proposto por Rall *et al.* (2022). Eles propuseram usar o software do Arduino para coletar e disponibilizar em tempo real os dados climáticos como temperatura, umidade, luminosidade, pressão atmosférica e radiação ultravioleta, com resultados satisfatórios quanto ao armazenamento e acesso remoto das informações. Conclui-se, portanto que esse dispositivo pode ser um aliado especial no ensino dos conhecimentos científicos e de suas aplicabilidades.

3 METODOLOGIA

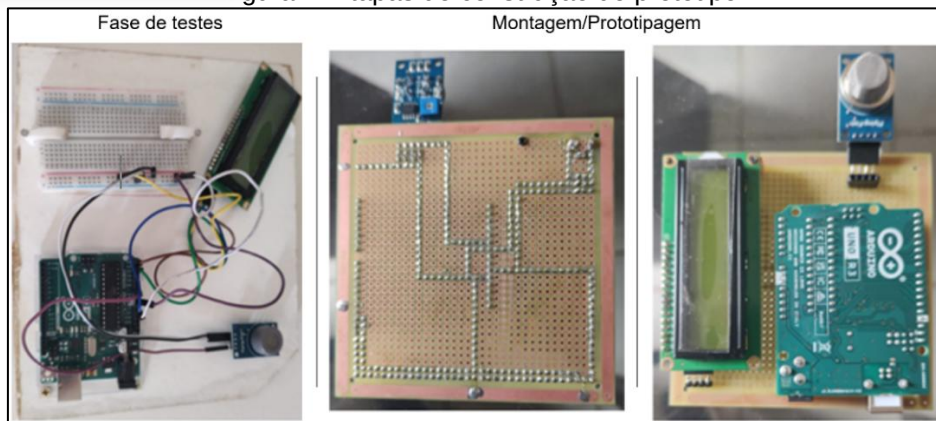
A proposta deste trabalho baseou-se no uso de um dispositivo eletrônico que foi construído utilizando a programação no *software* do Arduino. O intuito do projeto foi facilitar a compreensão de conceitos abstratos no ensino de Química, como a formação dos gases provenientes da combustão nos motores veiculares e suas respectivas transformações catalisadas. Para isso, como proposta experimental foi feita uma programação no software, no qual o objetivo foi coletar dados quantitativos dos gases emitidos e liberados pelo escapamento do veículo durante a queima deles nos motores.

Como suporte, o método empregado foi dividido em duas etapas. Na primeira, que consistiu em fazer a programação, usou-se sensores de gases, essenciais no projeto. Eles são dispositivos sobressalentes acoplados à placa do Arduino, os quais foram devidamente inseridos na programação. O programa criado na plataforma do Arduino (IDE²) faz a leitura dos valores de um determinado sensor de gás, calcula a média de 50 leituras para obter um resultado mais preciso e essa informação é exibida em um display LCD³. Além disso, ele também envia os valores para o computador por meio do monitor serial. A segunda etapa consistiu nas fases de testes e na construção do protótipo e do aparato experimental (Figura 1).

² O IDE do Arduino (Integrated Development Environment) é o software usado para escrever, compilar e enviar códigos para placas Arduino. Ele inclui um editor de código, um compilador e uma ferramenta para transferir o programa para a placa. Além disso, conta com um Monitor Serial, que permite visualizar dados enviados pelo Arduino em tempo real, facilitando testes e ajustes no projeto.

³ O display LCD (Liquid Crystal Display) é um módulo utilizado para exibir informações em projetos com Arduino. Ele permite mostrar textos, números e símbolos, facilitando a interação com o usuário.

Figura 1. Etapas de construção do protótipo



Fonte: Elaboração própria.

As etapas do planejamento, seleção dos componentes e suas funções, para a construção do protótipo foram previamente explicadas aos estudantes. Como complemento metodológico, esse trabalho contemplou o ensino por investigação da aprendizagem, nesse caso o foco teve aspecto qualitativo, investigando a aprendizagem de 57 estudantes voluntários, regularmente matriculados em turmas de 2º e 3º anos do Ensino Médio. Essa investigação foi implementada no ano letivo de 2025, nos meses de abril e maio, em uma escola pública da rede estadual pertencente ao município do Novo Gama, no Estado do Goiás. Consistiu inicialmente na verificação de conhecimentos prévios dos estudantes acerca do catalisador automotivo e os impactos ambientais. Sequencialmente deu-se a aplicação do protótipo, o intuito foi coletar dados experimentais para subsidiar os estudantes nas respostas a um questionário do *Google forms*. A ideia central foi verificar a aprendizagem de conceitos estruturantes por meio da TMV. Em termos práticos, diagnosticar se os estudantes, utilizando a ferramenta proposta, apropriaram-se dos conhecimentos esperados, isto é, a apropriação e a consolidação de conhecimentos, priorizando a compreensão em detrimento da memorização.

Importante ressaltar que este projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) sob o parecer número 85011024.2.0000.5154, garantindo a conformidade com as diretrizes éticas e de pesquisa.

3.1 APLICAÇÃO DA ATIVIDADE INVESTIGATIVA

Na coleta dos dados várias medidas de segurança foram implementadas, entre elas, a redução da quantidade de estudantes na proximidade do escapamento do veículo analisado. Aos que foram autorizados maior proximidade, estes o fizeram com máscaras apropriadas. Outra medida de segurança deu-se na inserção de um cano PVC na extremidade do cano de descarga com intuito de alongá-lo, essa medida foi útil para obter um afastamento maior da fonte. Ainda com relação aos cuidados de segurança, foi adicionado ao sistema um cabo USB de 1,30 m, para que os demais estudantes pudessem fazer as leituras no monitor do computador (notebook) a uma distância segura.

A execução do experimento envolveu a verificação da conexão correta dos sensores ao Arduino e o funcionamento do código no Arduino IDE. Durante a coleta dos dados, o veículo foi posicionado em uma área ventilada, o dispositivo com o sensor foi aproximado a extremidade do escapamento. Aguardou-se 5 minutos até que o sensor estabilizasse a leitura. Somente após a estabilização o motor foi ligado, sem aceleração, funcionando por 5 minutos. Nessa condição, as leituras foram registradas. Decorridos os 5 minutos, duas novas medidas foram coletadas e registradas com o motor desligado. Na atividade experimental foram usados os sensores MQ-6, MQ-7, MQ-9 e MQ-135⁴. Estes são projetados para detectar diferentes gases, como vapores de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, gases inflamáveis, amônia, dióxido de carbono e compostos orgânicos voláteis.

Ainda com relação a essa etapa, da coleta de dados, foi prevista o uso de medidor portátil (KR1000⁵), simultaneamente com o sensor MQ-7. Justifica-se essa iniciativa devido a necessidade de poder comparar medidas de dispositivos diferentes, visto que o medidor foi calibrado e configurado pelo fabricante para a

⁴ Todos operam com princípio semelhante, mas são otimizados para diferentes tipos de gases.

⁵ O KR1000 é um medidor portátil utilizado para medir a concentração de monóxido de carbono (CO) no ar, além de registrar a temperatura ambiente. Ele possui um visor LCD iluminado, alarmes configuráveis para limites de CO, registra valores máximos e médios, e oferece a função HOLD para congelar leituras no visor.

leitura de monóxido de carbono em ppm. Desta forma, os resultados obtidos via programação do Arduino foram fidedignos. Os dois dispositivos foram posicionados e as leituras registradas em ppm para o KR1000 e no caso do sensor, optou-se por utilizar uma Unidade Arbitrária (UA⁶).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para explorar os recursos utilizados na verificação das aprendizagens, foi realizado uma avaliação diagnóstica dos conhecimentos prévios dos estudantes acerca dos catalisadores automotivos e da influência deles quanto aos impactos ambientais. Os resultados estão apresentados no Quadro abaixo.

Quadro 1. Conhecimentos prévios dos estudantes

Categoria das respostas	Percentual	Exemplos de respostas
Não sabe/sem resposta	55%	“não sei”, “sei lá”, “n sei”, “não sei oq é são catalisadores automotivos, então n sei para q servem”
Impacto positivo sem justificativa	15%	“Eu acho que tem um impacto positivo”, “Sim”, “Acho que sim.”
Impacto positivo com justificativa	25%	“positivo o, porque ajudam a evitar a emissão de gases veiculares”, “Os catalisadores automotivos têm um papel fundamental na redução da poluição...transformam gases altamente tóxicos em substâncias muito menos nocivas”, “reduzem a poluição que sai pelo escapamento...deixando o ar mais limpo e contribuindo para a saúde das pessoas e do planeta”.
Impacto negativo	5%	“Negativo”, acho que sim, pois soltam radiação no ar”, “depende”

Fonte: Elaboração própria

Os resultados apontaram que a maioria dos estudantes não tinham compreensão da função do catalisador automotivo, evidenciou-se, portanto, lacunas conceituais relevantes. À luz da Teoria da Mediação de Vygotsky, esse dispositivo foi explorado como recurso pedagógico, juntamente com o protótipo construído. Nesse contexto, a Figura 2 e os dados contidos no Quadro 2 exemplificam a aplicação prática do protótipo em uma aula experimental,

⁶ Unidade de medida não padronizada usada para expressar quantidades relativas ou comparativas quando não há uma escala absoluta definida ou quando a escala exata não é relevante. O termo é frequentemente utilizado em contextos científicos, técnicos e experimentais.

evidenciando a interação ativa dos estudantes no processo de apropriação do conhecimento. Os valores registrados referem-se à concentração dos gases que foram medidos por diferentes sensores no intervalo de tempo com o motor ligado e sem aceleração.

Figura 2. Momento da execução do projeto pelos estudantes



Fonte: Própria

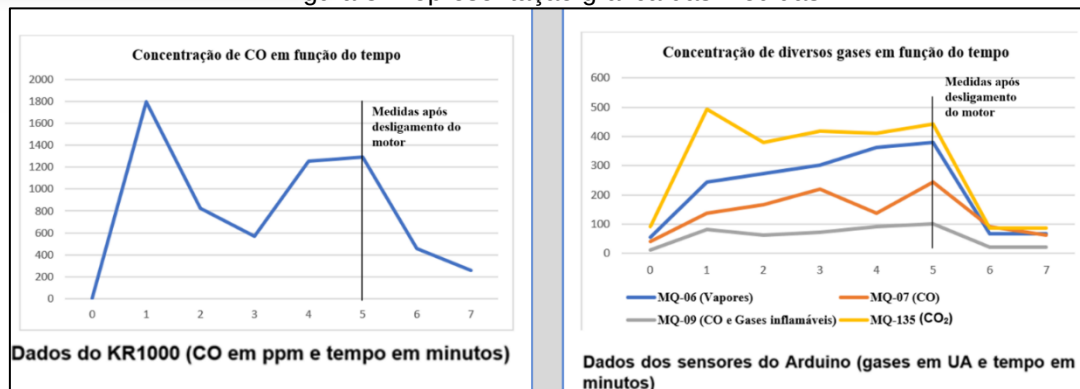
Quadro 2. Valores medidos

Condição	Tempo (min)	KR1000 (CO)	MQ-06 (Vapores)	MQ-07 (CO)	MQ-09 (CO e Gases inflamáveis)	MQ-135 (CO ₂)
Medidas com o motor ligado	0	0	54	40	11	91
	1,0	1800	243	138	82	492
	2,0	825	272	166	63	378
	3,0	567	302	220	72	418
	4,0	1257	362	137	90	410
	5,0	1294	378	243	102	443
Medidas após desligamento do motor	6,0	458	68	92	21	87
	7,0	256	68	62	21	87

Fonte: Dados experimentais

Os dados coletados foram representados graficamente conforme se observa nos gráficos das Figuras 3 e 4.

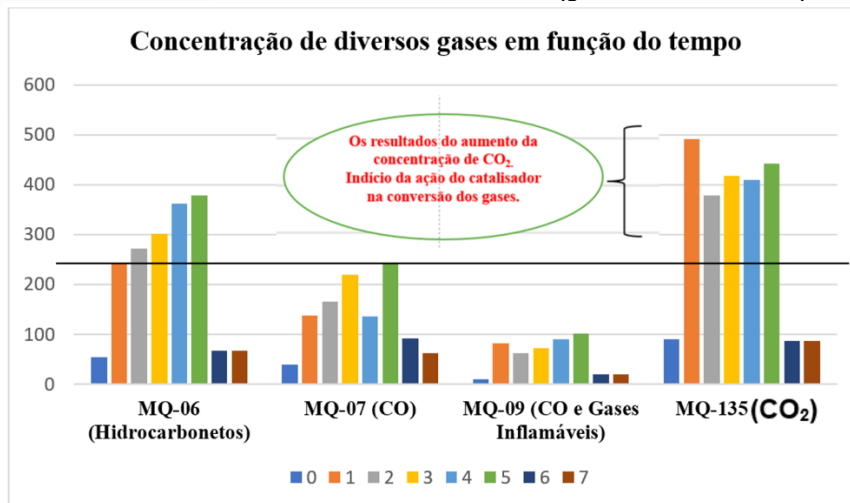
Figura 3. Representação gráfica das medidas



Fonte: Elaboração própria

A análise dos dados apresentados revelou o comportamento dinâmico da concentração dos gases monitorados. Observou-se que, a partir do tempo inicial (0 min), todos os sensores (KR1000, MQ-06, MQ-07, MQ-09 e MQ-135) registraram um aumento significativo nos valores iniciais, indicando a emissão imediata dos gases provenientes da combustão veicular. Durante o período de funcionamento do motor (de 1 a 5 minutos), as concentrações dos gases apresentaram flutuações e oscilações, mas a tendência geral se manteve em patamares coerentes, como se observa no gráfico da figura 4, em que a concentração de CO₂ é maior que os demais gases. Contudo, após os 5 minutos de operação do motor, nas medidas pós-funcionamento (6 e 7 minutos), há uma queda acentuada nos valores de todos os sensores, refletindo a diminuição das concentrações dos gases analisados à medida que a fonte de emissão cessa ou diminui, com tendência a zero.

Figura 4. Gráfico das medidas dos sensores do Arduino (gases em UA e tempo em minutos)



Fonte: Elaboração própria

Os padrões observados têm o potencial de subsidiar discussões científicas sobre a combustão completa e incompleta, bem como tecnológicas, acerca dos impactos ambientais frente a eficiência do catalisador automotivo. Apesar de possíveis limitações metodológicas, como a influência de fatores externos, tal como a calibração dos sensores, os dados em si, demonstram o enriquecimento do ensino de conceitos químicos relacionados a combustão.

Para avaliar a efetividade da metodologia na apropriação desses conceitos pelos estudantes, e demonstrar o valor da aprendizagem mediada pelo Arduino, incluiu-se neste estudo um método avaliativo da apropriação dos conhecimentos. Essa avaliação buscou aferir a compreensão dos estudantes sobre diversos objetos de aprendizagem em Química, como tipos de combustíveis, reações de combustão (reagentes e produtos), combustão completa e incompleta, poluição atmosférica e cinética química, com ênfase na catálise heterogênea. Para isso, os estudantes responderam a um questionário de 15 questões. Os resultados deste questionário, apresentados no Quadro 3, expressam as respostas esperadas e a respectiva porcentagem de acertos, fornecendo uma mensuração da apropriação/sistematização do conhecimento dos participantes.

A análise da apropriação do conhecimento, conforme representado na Figura 5 e nos dados do Quadro 3, foi realizada com base no percentual de acertos em cada questão, porém sem critério classificatório (Ferreira, 2008). As

respostas foram organizadas conforme o nível de apropriação do conhecimento sistematizado: consolidada, adequada e em construção (Oliveira *et al.*, 2018). O Quadro 4 detalha cada um desses níveis, relacionando-os com as questões correspondentes e suas justificativas.

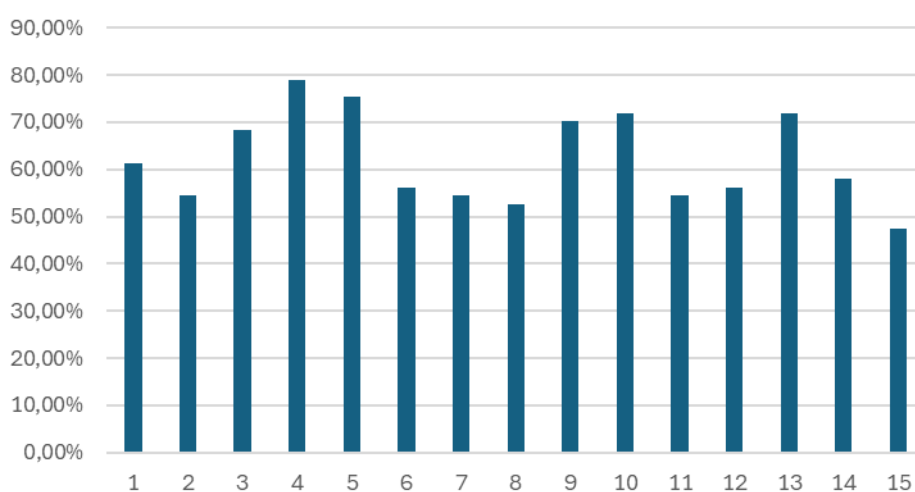
Quadro 3. Resultado do questionário

Pergunta	Resposta esperada	Porcentagem
1. O que ocorre principalmente durante a queima da gasolina dentro de um motor de carro?	Uma reação química entre a gasolina e o oxigênio, liberando energia, gás carbônico e água.	61,4%
2. Por que o etanol é frequentemente considerado um combustível "mais limpo" em comparação com a gasolina?	Devido interferir menos no ciclo do carbono, sendo um combustível renovável.	54,4%
3. Qual é o principal gás poluente formado quando a gasolina não queima completamente?	Monóxido de carbono (CO).	68,4%
4. Considerando os combustíveis fósseis, como a gasolina, qual das opções descreve melhor seu impacto nas reações de combustão?	Eles podem gerar gases poluentes como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos que não foram totalmente queimados.	78,9%
5. Qual é a diferença fundamental entre a queima completa e a queima incompleta de um combustível?	A queima completa produz gás carbônico (CO ₂) e água (H ₂ O), enquanto a incompleta pode liberar monóxido de carbono (CO) e fuligem.	75,4%
6. Qual gás liberado pelos veículos pode prejudicar diretamente a saúde humana ao se ligar à hemoglobina no sangue, dificultando o transporte de oxigênio?	Monóxido de carbono (CO).	56,1%
7. Como a queima de combustíveis (gasolina e óleo diesel) em motores de carros está relacionada ao fenômeno da "chuva ácida"?	Óxidos de nitrogênio e enxofre, liberados na combustão, reagem com a água da chuva, formando ácidos.	54,4%
8. Qual é o principal impacto ambiental associado ao aumento da concentração de gás carbônico (CO ₂) na atmosfera?	Aquecimento global e alterações no clima do planeta	52,6%
9. Qual é a principal função do catalisador presente nos veículos automotores?	Transformar os gases poluentes em substâncias menos prejudiciais antes de serem liberados no ambiente.	70,2%
10. Que tipo de transformação química ocorre dentro do catalisador automotivo?	O monóxido de carbono (CO) é convertido em dióxido de carbono (CO ₂), e os óxidos de nitrogênio (NOx) são transformados em nitrogênio (N ₂).	71,9%
11. Qual é uma das principais razões para a obrigatoriedade do uso de catalisadores automotivos em muitos países?	Ajudar a cumprir leis ambientais, diminuindo a emissão de gases que prejudicam o meio ambiente e a saúde.	54,4%

12. Em uma reação química, qual é o papel de um catalisador?	Aumentar a velocidade da reação sem ser gasto durante o processo.	56,1%
13. Por que é importante entender conceitos científicos, como o uso de catalisadores, na sociedade atual?	Para poder tomar decisões mais informadas sobre tecnologias e questões ambientais.	71,9%
14. O uso de um catalisador em uma reação química permite que:	A quantidade de energia necessária para iniciar a reação (energia de ativação) seja menor.	57,9%
15. Na reação química, como a que ocorre no catalisador automotivo, o catalisador:	Está em um estado físico diferente das substâncias que reagem e facilita a reação em sua superfície.	47,4%

Fonte: Elaboração própria.

Figura 5. Distribuição Percentual da Apropriação do Conhecimento por Item Avaliativo



Fonte: Elaboração própria

Quadro 4. Indicadores de Aprendizagem por Item de Avaliação

Categoria	Questões	Justificativa
Sistematização consolidada do conhecimento.	4, 5, 9, 10 e 13	A análise da atividade investigativa revelou que mais de 70% dos participantes demonstraram boa compreensão sobre combustíveis fósseis e impactos ambientais. Eles diferenciaram combustão completa e incompleta (condições e produtos), entenderam os efeitos da queima inadequada (como liberação de monóxido de carbono (CO) e gases do efeito estufa), e assimilaram a função dos catalisadores automotivos e os processos químicos de conversão de poluentes tóxicos em substâncias menos nocivas.
Sistematização adequada do conhecimento.	1, 2, 3, 6, 7, 8, 11, 12 e 14	Entre 50% e 70% dos estudantes compreenderam processos de combustão, identificando a liberação de energia e CO ₂ na queima da gasolina e o etanol como combustível mais limpo (menos poluente). Reconheceram o monóxido de carbono (CO) como principal gás tóxico da combustão incompleta, entendendo sua ligação à hemoglobina, que dificulta o transporte de oxigênio. Associaram a queima de combustíveis à chuva ácida, formada por óxidos de enxofre e nitrogênio. Com limitações, reconheceram a importância dos catalisadores

		automotivos na redução de poluentes e seu papel como facilitadores de transformação química (não consumidos).
Sistematização em construção.	15	Menos de 50% dos estudantes responderam satisfatoriamente, evidenciando baixa apropriação do conhecimento. A complexidade provavelmente reside na compreensão simultânea do papel do catalisador, dos estados físicos envolvidos e da reação química em superfície sólida. Esses conceitos abstratos exigem noções de química apuradas, ou seja, interações em nível molecular.

Fonte: Elaboração própria

A análise detalhada (Quadro 4) revela que os estudantes demonstraram uma compreensão satisfatória de conceitos abrangentes e interdisciplinares, como os impactos ambientais decorrentes das ações humanas, que perpassam áreas como Biologia e Geografia. Houve também um entendimento adequado da linguagem química e de representações simbólicas básicas, como as equações químicas.

Contudo, observa-se que o nível de apropriação do conhecimento diminui em questões que exigem maior sistematização e profundidade conceitual. Um exemplo notável é a compreensão do conceito de catalisador (Questão 15 do questionário), onde a dificuldade em relacionar o conceito teórico com sua aplicação prática e o entendimento dos estados físicos envolvidos na catálise heterogênea foi evidente. A análise dos resultados experimentais apresentados na Figura 4, revela que a função do catalisador automotivo de converter monóxido de carbono (CO) em dióxido de carbono (CO₂) ocorre conforme o esperado para o funcionamento do motor. Observa-se que, durante o período de operação do veículo, as concentrações de CO diminuem, enquanto as de CO₂ aumentam, evidenciando a ação catalítica. No entanto, o confronto desses resultados experimentais com as respostas à Questão 15 permitiu identificar que parte dos estudantes teve dificuldade em correlacionar os dados empíricos com o diagnóstico da função catalítica.

A justificativa para essa constatação provavelmente reside na maior complexidade dos conceitos envolvidos. Os dados obtidos indicam, portanto, a necessidade de aprofundamentos conceituais que levem à construção do conhecimento, visando aprimorar a compreensão da função e aplicação dos catalisadores, seja em processos industriais ou em outros contextos.

Por outro lado, é importante ressaltar que, por se tratar de um conhecimento em construção, os resultados foram animadores. Aproximadamente 50% dos estudantes demonstraram compreender, simultaneamente, o papel do catalisador automotivo e os diferentes estados físicos envolvidos no processo. Reconheceram, assim, a ocorrência de reações químicas que vão além da combustão, como as correspondentes à conversão dos gases que ocorre em uma superfície sólida. Esses conceitos são, sobretudo, abstratos para os estudantes, pois exigem noções de química mais apuradas, que envolvem interações moleculares que não são facilmente explicadas por meio de recursos convencionais de ensino.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo principal avaliar a eficácia do uso do Arduino como ferramenta mediadora na aprendizagem de conceitos de Química, por meio da implementação de uma atividade investigativa. Observou-se que o potencial de aprendizagem está intrinsecamente ligado à proposta pedagógica e à aplicabilidade do protótipo desenvolvido. A atividade experimental investigativa que foi aplicada, teve foco nos gases, analisando-os como produtos da reação química de combustão no motor veicular. O Arduino, por apresentar versatilidade quanto a programação, demonstrou ser uma ferramenta útil na exploração desses fenômenos.

Para qualificar a apropriação do conhecimento, os estudantes foram avaliados formalmente por meio de questionários pós-realização. Os resultados indicaram que a maioria dos estudantes fizeram associações científicas satisfatórias em diversos conceitos-chave. Contudo, evidenciou-se a necessidade de aprofundamento em tópicos mais abstratos e complexos, como a aplicação prática e conceitos de catálise heterogênea.

Conclui-se que a aprendizagem mediada pelo Arduino, de forma intencional e associada às atividades investigativas, ocasiona ganhos pedagógicos significativos. Essa estratégia metodológica de ensino incentiva o interesse dos estudantes pela lógica da programação e pela interpretação de

fenômenos, adicionalmente, contribui de forma positiva para o desenvolvimento cognitivo e para a apropriação e construção do conhecimento científico. No entanto, é necessário que futuras pesquisas explorem essa metodologia de aprendizagem abordando outros conceitos ou aprimorando os que aqui foram trabalhados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro concedido.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Evando Santos *et al.* O uso de simuladores virtuais educacionais e as possibilidades do PhET para a aprendizagem de Física no Ensino Fundamental. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 12, n. 3, p. 1-25, 2021.
- ARAUJO, Helmo Alan Batista; BRAGA, Matheus Lorenzato. Ensino de Ciências da Natureza e Arduino: Uma Proposta de Interface Para Facilitar Práticas Experimentais. 2017.
- CARVALHO, Luiz Raimundo Moreira de; AMORIM, Helio Salim de. Observando as marés atmosféricas: uma aplicação da placa Arduino com sensores de pressão barométrica e temperatura. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, p. 1-7, 2014.
- CAVALCANTE, Marisa Almeida; RODRIGUES, Thais Tokashiki Tavares; BUENO, Darlene Andrea. Controle remoto: princípio de funcionamento (parte 1 de 2). **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 3, p. 554-565, 2013.
- DIDIER, Juliana Maria de Oliveira Leal; LUCENA, Eduardo de Aquino. Aprendizagem de praticantes da estratégia: contribuições da aprendizagem situada e da aprendizagem pela experiência. **Organizações & Sociedade**, v. 15, p. 129-148, 2008.
- FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L.; NASCIMENTO, A. B. S.; STRAPASSON, A. B. Time and cognitive development: from Vygotsky's thinking to different notions of disability in the school environment. **Humanities & Social Sciences Communications**, v. 10, p. 768-1-9, 2023a.
- FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L.; STRAPASSON, A.; PORTUGAL, K. O.; MACIEL, A. C. Simuladores digitais no contexto epistemológico de Gagné e Vygotsky: uma proposta de intervenção didática sobre eletricidade e circuitos elétricos. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 33, p. 75-88, 2021.
- FERREIRA, Valdenice de Amorim. Avaliação: da prática de classificação à consolidação das aprendizagens. 2008.
- GARCÍA-TUDELA, Pedro Antonio; MARÍN-MARÍN, José-Antonio. Use of Arduino in Primary Education: a systematic review. *Education Sciences*, v. 13, n. 2, p. 134, 2023.
- GOMES, Cristiano Mauro Assis. Softwares educacionais podem ser instrumentos psicológicos. **Psicologia Escolar e Educacional**, v. 11, p. 391-401, 2007.
- GRASIÉLE, Sara. "Utilização do Arduino como ferramenta pedagógica para o ensino de química." *Revista Sociedade Científica* 7.1 (2024): 1600-1612.).
- KAMIJÓ, Evandro Namitaro Seixas; ROSSI, Arley Silva. Projeto: uso de microcontrolador arduino para auxílio em titulações químicas. **Brazilian Journal of Development**, v. 10, n. 11, p. e74274-e74274, 2024.

KANG, Seong-Joo; YEO, Hye-Won; YOON, Jihyun. Applying chemistry knowledge to code, construct, and demonstrate an Arduino–carbon dioxide fountain. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 2, p. 313-316, 2019.

LIMA, Marcelo. Protótipo de estação para monitoramento do material particulado atmosférico. 2025. 99 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2025. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2025.5544>

LÓPEZ SIMÓ, Víctor *et al.* O papel das TIC no ensino das ciências secundárias a partir da perspectiva da prática científica. **Enseñanza de las Ciencias**, n. Extra, pág. 0691-698, 2017.

LOURENÇO, Ilza Mara Barros e MARCONDES, Maria Eunice Ribeiro. **Um plano de ensino para Mol.** Química Nova na Escola, n. 18, p. 22-25, 2003.

MACEDO¹, G. H. R. *et al.* MEDIÇÃO DE DISTÂNCIA ATRAVÉS DO USO DE UM SENSOR ULTRASSÔNICO COM PROCESSAMENTO DO SINAL PELA PLATAFORMA ARDUINO E PELO MICROCONTROLADOR MSP430. In: **Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação**. 2013. p. 1.

MAINARDI, Pedro Henrique; BIDOIA, Ederio Dino. Poluentes industriais: Conceitos e tendências de tratamento. 2020.

MARTINS, O. B.; MOSER, A. Conceito de mediação em Vygotsky, Leontiev e Wertsch. **Revista Intersaberes**, v. 7, n. 13, p. 8-28, 2012.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.

OLIVEIRA, Wesley Cabral; CIIRINO, Marcelo Maia; SANTIN FILHO, Ourides. Utilização e avaliação de softwares no ensino de gases ideais: uma proposta de unidade didática para o Ensino Médio. 2020.

OLIVEIRA-DELMASSA, Heloá Cristina; ALMEIDA-JUNIOR, Oswaldo Francisco. Appropriation of information, knowledge construction and the role of mediator. **Revista Interamericana de Bibliotecología**, v. 41, n. 3, p. 241-251, 2018.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. **Teorias de aprendizagem**. Porto Alegre: UFRGS, 2011.

RALL, Ricardo; MONTANHA, Luiz Eduardo Viera. PROTÓTIPO DE UMA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA UTILIZANDO SISTEMA EMBARCADO DE SOFTWARE E HARDWARE LIVRE. *Tekhne e Logos*, v. 13, n. 2, p. 71-86, 2022.

RODRIGUES, Antônio Rony da Silva Pereira. USO DO SOFTWARE PHET SIMULATIONS NA MONITORIA ACADÊMICA COMO FERRAMENTA PARA O ENSINO DE FÍSICO-QUÍMICA. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 19, n. 1, p. 299-310, 2024.

SANTOS FILHO, R. D. dos; WANDERLEY, J. V.; ARAUJO, M. DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS DIDÁTICOS PARA AULAS DE

QUÍMICA UTILIZANDO A PLATAFORMA ARDUINO. **Mostra de Extensão IFF - UENF - UFF - UFRRJ**, [S. l.], v. 12, 2021.

SILVA, Carlos Thiago Cruz; SILVA, Greice Mara Monteiro; SANTOS, Sonia Regina Mendes. Reflexões acerca da robótica na educação. Revista Tecnologia e Sociedade, v. 21, n. 64, p. 254-270, 2025.

TAY, Kheng Soo; ENG, Jeng Lu. Integrating Maker Education into the Research Project of Undergraduate Chemistry Program: Low-Cost Arduino-Based 3D Printed Autotitrator. Journal of Chemical Education, v. 101, n. 12, p. 5430-5436, 2024.

VALLEJO, William; DIAZ-URIBE, Carlos; FAJARDO, Catalina. Do-it-yourself methodology for calorimeter construction based in Arduino data acquisition device for introductory chemical laboratories. Heliyon, v. 6, n. 3, 2020.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. São Paulo: Miguel Fontes, 1998.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e linguagem**. São Paulo: Miguel Fontes, 1993.