

MICROSCÓPIO USB DE BAIXO CUSTO NO LABORATÓRIO DIDÁTICO DE ELETROQUÍMICA: DOIS EXPERIMENTOS CLÁSSICOS SOB UM NOVO (MICRO) OLHAR**Aline Samara Lima de Jesus^a, Emerson Costa Rios^a, Ana Cláudia Kasseboehmer^{b,*} e Ettore Paredes Antunes^c**^aInstituto de Ciências Exatas (ICE), Universidade Federal do Amazonas (UFAM), 69067-005 Manaus – AM, Brasil^bInstituto de Química de São Carlos (IQSC), Universidade de São Paulo (USP), 13566-590 São Carlos – SP, Brasil^cDepartamento de Química (DQ), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), 13565-905 São Carlos – SP, Brasil

Recebido: 09/04/2024; aceito: 10/09/2024; publicado online: 19/11/2024

LOW COST DIGITAL MICROSCOPE IN THE ELECTROCHEMISTRY DIDACTIC LABORATORY: TWO CLASSIC EXPERIMENTS UNDER A NEW (MICRO) LOOK. This research addresses the importance of introducing students to the scientist's methods of thinking and acting in science teaching. We highlight two sets of science skills related to collecting and analyzing data, and communicating scientific ideas. The innovation is the use of a low cost digital microscope with a USB (universal serial bus) interface to monitor the experimental activities of steel corrosion and water electrolysis in the context of teaching electrochemistry in a physical chemistry graduation course. Thirty-three students from the chemical engineering course at a university in Northern Brazil participated in this research, who were studying the discipline, arranged in groups. The results show that the students performed well in the scientific skills assessed during the steel corrosion experiment due to the apparatus. However, in the water electrolysis experiment, there were more difficulties, especially in communicating scientific ideas. Participants reported that using the microscope helped them understand chemical phenomena and increased curiosity and learning. It highlights the importance of the pedagogical approach based on experimental activities, which are similar to the practices of science, allowing students to be active agents in the construction of knowledge and the use of the low cost digital microscope as an innovative tool in teaching electrochemistry.

Keywords: electrochemical education; didactic laboratory of electrochemistry, scientific skills.

INTRODUÇÃO

Uma das apostas atuais para o ensino e aprendizagem de ciências é introduzir os alunos aos métodos de pensar e agir do cientista, isto é, o professor conduz investigações na sala de aula.¹

Assim, as habilidades não são aprendidas de modo passivo ou receptivo, apenas por meio da observação ou conhecimento teorizado, mas é necessário vivenciar situações que despertem e favoreçam o desenvolvimento dos estudantes.²

Etkina *et al.*^{1,2} descreveram quatro grandes conjuntos de habilidades científicas em cursos introdutórios de Física no laboratório, que serão utilizados no contexto da eletroquímica, a saber: (i) habilidade de representar informações de várias maneiras; (ii) habilidade de conduzir investigações experimentais e coletar dados pertinentes para investigar fenômenos, para testar hipóteses, ou para resolver problemas práticos; (iii) habilidade de coletar e analisar dados; (iv) habilidade de comunicar ideias científicas.

Para cada habilidade, são atribuídas sub-habilidades e respectivas rubricas, as quais descrevem os critérios a serem utilizados na

avaliação das atividades práticas de laboratório, tanto pelo professor e/ou instrutor, quanto pelos estudantes, no sentido de se auto avaliarem no decorrer das tarefas desenvolvidas.^{2,3}

As rubricas de avaliação descrevem os níveis de desempenho do estudante a partir da realização de tarefas que exigem conhecimentos conceituais, procedimentais e atitudinais. Além de serem instrumentos de avaliação para professores, as rubricas permitem que os alunos se auto avaliem e entendam o que o problema proposto exige deles.⁴

Neste artigo, concentramo-nos em duas habilidades científicas de sub-habilidades adaptadas de investigação experimental conforme o Quadro 1.

Tais habilidades científicas são melhor trabalhadas no contexto dos laboratórios didáticos de ciências. No contexto do ensino de eletroquímica, trazemos no presente artigo uma proposta didática na qual se utiliza um microscópio USB (do inglês, *universal serial bus*) de baixo custo para potencializar e aprofundar a compreensão dos fenômenos observados.

A utilização de microscópios nas aulas de Biologia já é bem descrita na literatura, entretanto, a utilização desses aparatos nos

Quadro 1. Habilidades e sub-habilidades avaliadas neste estudo

Habilidade	Código	Sub-habilidade	
Habilidade de comunicar ideias científicas	F	F1	É capaz de comunicar os detalhes de um procedimento experimental de forma clara e completa?
		F2	É capaz de comunicar os resultados do experimento de forma clara e completa?
Habilidade de coletar e analisar dados experimentais	G	G4	É capaz de registrar e representar dados de maneira significativa?
		G5	É capaz de analisar dados de forma apropriada?

Fonte: Adaptado de Etkina *et al.*²

*e-mail: claudiaka@iqsc.usp.br

Editor Associado responsável pelo artigo: Nyuara A. S. Mesquita

laboratórios de Química está ausente. Na literatura,^{5,6} identificamos poucas experiências bem-sucedidas no uso do microscópio ou que relatam a manipulação de microscópios para a formação científica de alunos de graduação. Em um deles, por exemplo, foi utilizado um microscópio de custo elevado e distante da realidade dos cursos de Química ou Engenharia Química no Brasil.⁵ Podemos também mencionar o trabalho de Vretudaki e Klada,⁶ que propõem um programa de *nano-literacy* para crianças, apresentando a elas o pensamento microscópico do mundo, utilizando microscópios óticos.

Na educação em eletroquímica, existem relatos de um estudo sobre a representação da macroscopia e dos símbolos de uma reação de oxidação.⁷

Neste artigo, relatamos uma investigação durante a disciplina de Físico-Química Experimental (de quinto período) no curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Amazonas, AM, Brasil, em que foram realizadas duas atividades experimentais clássicas de eletroquímica; Experimento 1: corrosão do aço, e Experimento 2: eletrólise da água. Ambos conduzidos em um sistema monitorado pelo microscópio USB de baixo custo, em que foi avaliado o desempenho dos alunos pelas habilidades científicas que apresentaram.

MATERIAIS E MÉTODOS

Participaram deste estudo 33 estudantes dos cursos de Engenharia Química da Universidade Federal do Amazonas, AM, Brasil. Por questões éticas, os registros dos participantes desta pesquisa serão indicados por códigos com caracteres alfanuméricos: G = grupos (total de onze: G1, G2, G3, G4..., G11), seguido da indicação do experimento: E = experimento (E1 e E2).

Os experimentos foram realizados ao longo de dois encontros, cujos dados foram coletados por meio de uma ficha de atividades para cada experimento, disponível no Material Suplementar. As atividades foram desenvolvidas no Laboratório de Ensino de Química do Departamento de Química, que contava com seis bancadas com capacidade para 15 a 20 participantes, por isso, a turma foi dividida para que todos pudessem realizá-las (Figura 1).



Figura 1. Participantes da pesquisa realizando os experimentos no laboratório didático

O microscópio utilizado é um modelo de baixo custo que pode ser adquirido nos principais sites de compras online por um preço acessível, por aproximadamente R\$ 100,00. Os recursos descritos na embalagem são: ampliação 1000x, sistemas operacionais suportados Windows 2000 e superior, Android 3.1 ou superior, IOS e Mac OS.

Os experimentos foram realizados de forma tradicional e a montagem do aparato experimental com o microscópio e seu posicionamento é mostrada na Figura 2.

A Figura 2 mostra o uso do microscópio digital de baixo custo e o arranjo para acompanhar a superfície dos eletrodos.

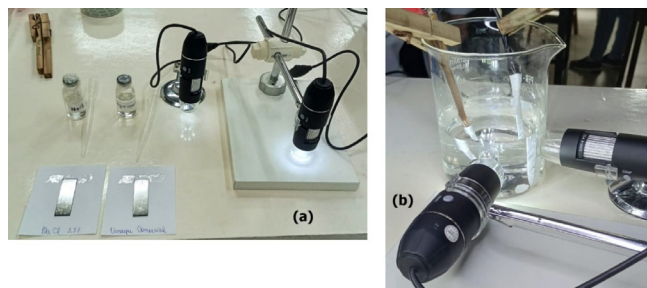


Figura 2. Registro da montagem dos sistemas do experimento 1 (a) e 2 (b)

Como o próprio microscópio emite uma luz regulável, foram necessários testes para encontrar os melhores ângulos e formas de fixar o aparelho ao suporte, que foi adaptado para mantê-lo em posição adequada para visualização dos experimentos.

PARTE EXPERIMENTAL

Corrosão do aço: E1

Nesse experimento, o objetivo principal era avaliar o grau de corrosão do aço-carbono em soluções ácidas e salinas. Para alcançar esse objetivo, os alunos deveriam ter um conhecimento prévio sobre o conteúdo de corrosão eletroquímica, que é um processo espontâneo, passível de ocorrer quando o metal está em contato com um eletrólito, em que acontecem, simultaneamente, reações anódicas e catódicas.

Esse processo é mais frequente na natureza e é caracterizado pela presença de água, na maioria das vezes à temperatura ambiente e com a formação de uma pilha de corrosão.⁸

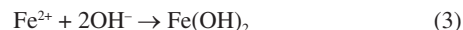
Reação anódica (oxidação):



Reação catódica (redução)



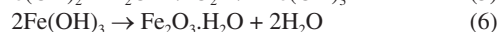
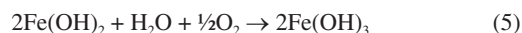
Nesse processo, os íons Fe^{2+} migram em direção à região catódica, enquanto os íons OH^- direcionam-se para a anódica. Assim, em uma região intermediária, ocorre a formação do hidróxido ferroso:



Em meio com baixo teor de oxigênio, o hidróxido ferroso sofre a seguinte transformação:



E caso o teor de oxigênio seja elevado, tem-se:



Assim, o produto final da corrosão, ou seja, a ferrugem, consiste nos compostos Fe_3O_4 (coloração preta) e $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (coloração alaranjada ou castanho-avermelhada).⁸ Portanto, foram esses os conceitos e equações trabalhadas para nortear o experimento no laboratório.

Para realizar o experimento, foram disponibilizados alguns materiais essenciais, apresentados no Material Suplementar, assim como o procedimento experimental completo.

Na Figura 3a, podemos observar a captura de uma imagem gerada pelo microscópio USB realizado no E1, que representa uma placa de aço contendo duas gotas de ácido clorídrico 1,0% mM + tiourea 0,1 (m/v), com tempo de reação de aproximadamente 60 min. Na Figura 3b, observamos a placa com duas gotas de solução de NaCl 3,5% com 60 min de reação. Nesse momento, os grupos puderam perceber facilmente as diferenças entre as placas e justificá-las.

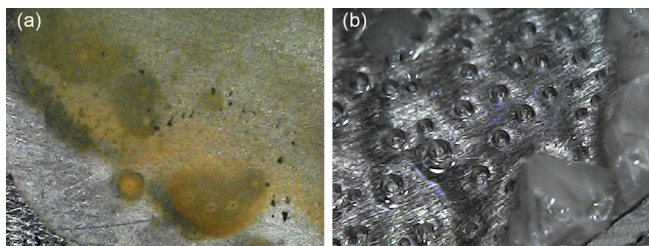


Figura 3. Captura da imagem gerada pelo microscópio de baixo custo atuando em E1

Eletrólise da água: E2

No E2, o objetivo geral foi utilizar a eletricidade para provocar a quebra da molécula da água em hidrogênio e oxigênio, e observar essa reação a nível microscópico.⁹

A eletrólise é um processo que utiliza corrente elétrica para promover uma reação química não espontânea. Para isso, um gerador de corrente elétrica contínua é ligado aos eletrodos de uma célula eletrolítica forçando os elétrons a participar de reações provocadas de oxidação em um dos eletrodos (o ânodo) e de redução no outro eletrodo (o cátodo).

Na Figura 4, é possível observar algumas imagens das placas E2; (a) de platina e (b) de titânio utilizadas no experimento de eletrólise da água. As imagens foram captadas pelo próprio *software* do microscópio e representam o momento da decomposição química da água em oxigênio e hidrogênio devido à passagem de uma corrente elétrica pela água.

Nesse momento da atividade, os alunos foram incentivados a observar características diferentes entre uma placa e outra, sendo observado o tamanho das bolhas e a velocidade de desprendimento e estouro delas.

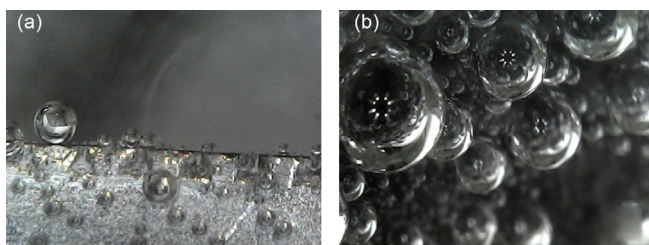


Figura 4. Placas de platina (a) e de titânio (b) utilizadas no experimento de eletrólise da água

RESULTADOS E DESEMPENHO DOS ALUNOS

No presente estudo, foi avaliado o desenvolvimento de duas habilidades de investigação experimental científica: habilidade de coletar e analisar dados experimentais (G) e suas sub-habilidades; e habilidade de comunicação de ideias científicas (F) e suas sub-habilidades. Em cada um dos experimentos foram recolhidos e analisados relatórios de acordo com as sub-habilidades e rubricas descritas anteriormente no Quadro 1.^{2,3}

No Quadro 2, apresentamos dois exemplos da classificação

das respostas recolhidas para as sub-habilidades F (capacidade de comunicar ideias científicas).

A equipe G3E1 produziu vários desenhos para representar o procedimento experimental de cada uma das quatro placas de aço utilizadas no experimento e detalhou todos os reagentes e aparelhos de laboratório utilizados, seguido dos resultados obtidos nos primeiros minutos da reação química. No desenho apresentado (Quadro 2), podemos observar o reagente utilizado, a pipeta Pasteur pingando o reagente na placa de aço, o microscópio sendo utilizado e uma ampliação que representa o processo de oxidação das placas. Assim, conclui-se que o grupo atingiu a pontuação máxima para aquela sub-habilidade.

O segundo exemplo apresentado no Quadro 2 ainda se refere à sub-habilidade F1. O Grupo G5E2 produziu um modelo que representa a montagem dos equipamentos durante o experimento 2 de eletrólise da água. No Quadro 2, observamos a representação do béquer, dos tubos de ensaio, ânodo e cátodo conectados à fonte de energia.

Em relação à sub-habilidade F2, o primeiro exemplo apresentado foi avaliado como “adequado” e para obter essa nota, o critério utilizado considerou que os resultados do experimento foram discutidos de forma clara e completa. A equipe G4E1 conseguiu atingir os resultados esperados, descrever, comparar as placas e demonstrar os resultados. No Quadro 2, podemos observar que os alunos optaram por representar o resultado das reações por meio de um desenho com lápis de cor. No desenho, as placas estão identificadas e pintadas em cores diferentes, indicando a diferença entre a corrosão que cada uma apresentou no E1.

A equipe G11E2 fez um pequeno gráfico para representar os resultados, porém, não houve explicação completa quanto aos resultados observados no E2, portanto, sua pontuação nessa sub-habilidade foi “precisa ser melhorada”, pois alguns detalhes foram omitidos.

Para a habilidade F, a maioria das equipes teve desempenho adequado frente às duas sub-habilidades avaliadas, e a maioria dos grupos se enquadram na pontuação referente à adequada.

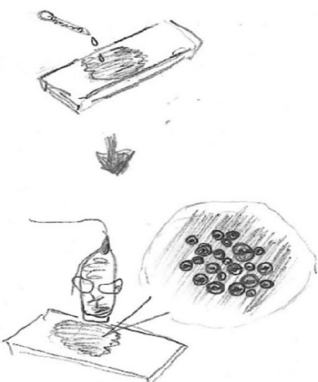
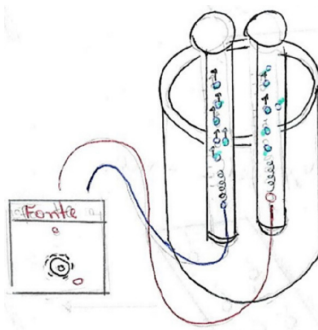

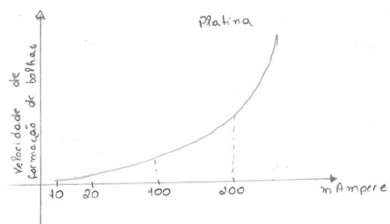
Durante a análise dos dados, nota-se que todos os grupos classificados como “adequados” na sub-habilidade F1 representaram o procedimento experimental através de um desenho/modelo, em uma representação de uma ideia, objeto, evento, processo ou sistema projetado para um propósito específico.¹⁰ Esses modelos estão diretamente relacionados à teoria da modelagem e possibilitam o desenvolvimento do conhecimento dos alunos sobre os princípios e processos de construção da ciência.¹¹

Já a habilidade de coletar e analisar dados experimentais envolve um processo individual de atribuição de significados e construção de conhecimentos. Situações nas quais os estudantes são estimulados a realizar tarefas, como no caso da atividade experimental investigativa, são propícias ao desenvolvimento dessas habilidades. Conforme foi observado nos registros, os alunos fizeram o uso de diferentes tipos de linguagem, tanto por meio da escrita, da linguagem matemática e outras maneiras de se expressarem, como o uso de desenhos.⁴

Para as sub-habilidades G – capacidade de recolher e analisar dados experimentais, apresentamos o Quadro 3, no qual mostramos dois exemplos de respostas obtidas, que representam as respostas coletivas.

A sub-habilidade G4 diz respeito à capacidade de registrar e representar dados de uma forma significativa. Como exemplo de resposta classificada como “adequada” temos o grupo G1E1, que construiu uma tabela com informações referentes às quatro soluções utilizadas no experimento de corrosão do aço e fez uma descrição detalhada do que foi observado nos experimentos; logo, o grupo seguiu o critério de adequação à sub-habilidade, que diz que deve ser

Quadro 2. Respostas e pontuação da habilidade (F). Na coluna “Resposta” são apresentados os registros dos participantes. Na coluna “Comentário”, são apresentadas considerações sobre as respostas. E na coluna “Avaliação”, são classificadas as respostas frente às sub-habilidades analisadas

Sub-habilidade	Resposta	Comentário	Avaliação
F1		(G3E1) O grupo produziu diversos desenhos para representar o procedimento experimental de cada uma das quatro placas de aço utilizadas no experimento.	Adequado (3)
		(G5E2) O grupo fez um desenho que representa a montagem dos equipamentos durante o experimento, mostraram o ânodo e o cátodo conectados à fonte de energia.	Adequado (3)
F2		(G4E1) A equipe alcançou os resultados esperados, fez as descrições, comparação entre as placas e fez a demonstração dos resultados. “Após a evaporação do líquido das lâminas foi possível visualizar a coloração resultado da reação de cada experimento ou da corrosão da lâmina.”	Adequado (3)
		(G11E2) O grupo também fez um pequeno gráfico para representar os resultados, porém, não houve explicação de forma completa a respeito dos resultados. “Conforme aumentava a amperagem a velocidade e a dispersão das bolhas aumentava.”	Precisa melhorar (2)

Fonte: Elaborado pelos autores.

feita a exposição de todos os dados importantes, os quais devem estar organizados e registrados claramente, assim como as tabelas devem ser apresentadas de forma clara e de fácil entendimento.

Ainda para a sub-habilidade G4, usamos o grupo (G7E2) como exemplo para avaliação “precisa melhorar”. O grupo em análise construiu uma tabela e apresentou dados referentes ao titânio e à platina, no entanto, os dados são registrados de maneira que requerem esforço para serem compreendidos.

A sub-habilidade G5 está relacionada à capacidade de analisar dados de forma adequada, e as duas equipes exemplificadas são

avaliadas como “adequadas”, que é quando a análise é apropriada, completa e coerente. Os grupos G4E1 e G5E1 conseguiram explicar todos os dados coletados no experimento de corrosão do aço, e atribuem características distintas e coerentes de cada uma das placas com os respectivos resultados. Eles também fazem comparações apropriadas e enfatizam a importância do uso da tioureia como agente anticorrosivo inibidor.

A capacidade de coletar e analisar dados experimentais envolve um indivíduo no processo de atribuição de significados e construção de conhecimento. Situações em que os alunos são incentivados a

Quadro 3. Respostas e pontuação da habilidade (G)

Sub-habilidade	Descrição e comentário	Avaliação
G4	(G1E1) O grupo construiu uma tabela com informações referentes às quatro substâncias utilizadas no experimento (vinagre comercial, NaCl, NaCl + tioureia e HCl) e fizeram uma descrição detalhada do que foi observado nos experimentos.	Adequado (3)
	(G7E2) Foi construída uma tabela com os dados para platina e titânio, mas as observações coletadas foram simples e repetitivas.	Precisa melhorar (2)
G5	(G4E1) “Vinagre: supõe-se que a mudança de cor ocorrida se deve pela corrosão demorar mais para acontecer, pelo fato de o vinagre ser um ácido fraco”. Além dessa colocação, o grupo também analisou os dados das outras três placas de forma completa e coerente.	Adequado (3)
	(G5E1) “Todas as amostras, exceto a que continha tioureia, formaram bolhas nos primeiros momentos. Na tabela, as linhas representam as amostras e as colunas representam o tempo decorrido durante a experiência. Além disso, somente na solução de HCl 1,0 mM as bolhas desprendiam na superfície”. O grupo realizou análise adequada dos dados e conseguiu comparar de forma coerente os resultados das quatro placas.	Adequado (3)

Fonte: Elaborado pelos autores.

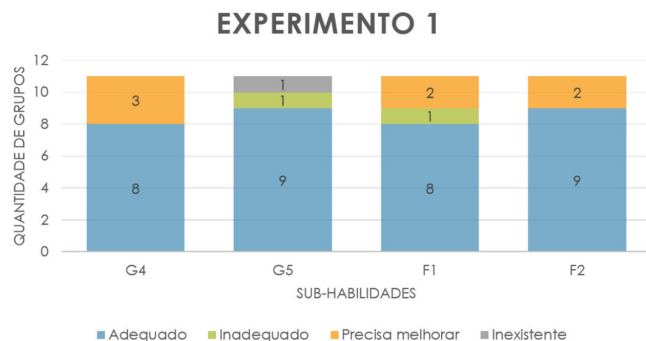
realizar tarefas, como no caso das atividades experimentais, são propícios ao desenvolvimento dessas competências.

Nos registros das fichas de atividades, os alunos utilizam diferentes tipos de linguagem, tanto através da escrita como do desenho. Esse fato também foi observado nas respostas referentes às sub-habilidades de comunicação de ideias científicas (F), o que é um forte indício de que a linguagem oral e escrita por si só não foi suficiente para descrever com precisão os fenômenos observados em laboratório.

Destacamos que a folha de atividades foi construída pensando nessa necessidade e que, durante a atividade em si, os alunos foram estimulados a usar a criatividade para fazer as suas representações; no laboratório foram disponibilizados lápis de cor, canetas e papéis coloridos, a fim de contribuir para esse processo criativo.¹¹

Outra forma de análise, mostrada a seguir, é feita com base nas notas dos grupos no experimento de corrosão do aço e de eletrólise da água separadamente. Foram analisadas as respostas de todos os grupos, classificadas conforme as rubricas e organizados os *scores* obtidos por cada equipe, como mostrados na Figura 5.

A Figura 5 mostra os resultados gerais do experimento de corrosão do aço, na qual é possível observar que a maioria das equipes teve um bom desempenho em relação às sub-habilidades analisadas na atividade.

**Figura 5.** Resultados gerais do experimento de corrosão do aço E1

Os resultados para as sub-habilidades G4, F1 e F2 foram muito semelhantes e indicam o desenvolvimento dessas sub-habilidades durante o período das atividades experimentais.

No experimento de corrosão, a sub-habilidade G5 se destaca de forma negativa, pois é a única com avaliação ausente e inadequada. A Figura 6, representa a distribuição do desempenho da equipe de acordo com as rubricas avaliadas para o experimento de eletrólise da água.

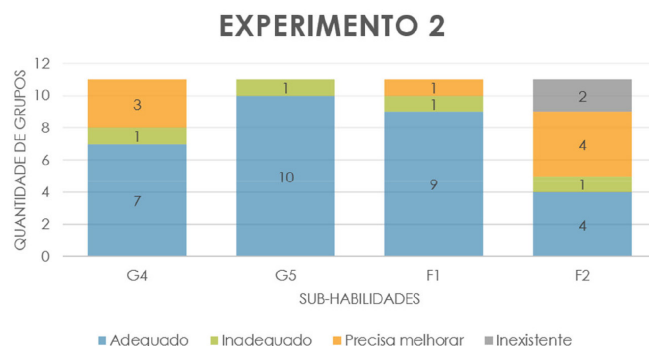
Como afirmado anteriormente, a maioria das equipes teve desempenho adequado em ambos os experimentos. É curioso

notar que no E2 os resultados foram menos adequados do que no experimento anterior.

A sub-habilidade que apresenta destaque negativo é a F2, pois houve maior número de respostas consideradas inadequadas, ausentes e com necessidade de aprimoramento. Acreditamos que isso se deve a uma dificuldade externalizada pelos alunos durante o experimento de eletrólise.

Notadamente, nesse experimento, os alunos não conseguiam manusear os equipamentos nem o próprio microscópio, o que, segundo eles, dificultava a compreensão das reações microscópicas que ocorriam.

No E1, os alunos tiveram liberdade para ir até a bancada e manusear as placas, movimentar o microscópio, aumentar ou diminuir o nível de ampliação e observar detalhes importantes, chamando a atenção do grupo e da turma para detalhes que passaram despercebidos até mesmo pelos professores. Assim, a diferença entre os resultados dos alunos nos experimentos 1 e 2 é razoável, o que é um forte indicativo dos benefícios da colaboração entre as visualizações microscópica e macroscópica.¹²

**Figura 6.** Resultados gerais do experimento de eletrólise da água E2

Em relação ao microscópio, a equipe G1E2 manifestou-se: “O microscópio ajudou principalmente na captação de imagens para análise da prática e instigou a curiosidade e o envolvimento na aula prática”. G4E1 disse: “O microscópio trouxe praticidade e facilidade para o aprendizado em sala de aula”. A equipe G5E1 disse ainda que “a vantagem do uso do microscópio é a observação ampliada da reação, o que leva a uma melhor análise. Isso ocorre porque a maioria das reações e mudanças ocorrem microscopicamente”.

Importante salientar que no contexto do ensino-aprendizagem de Química, as aulas experimentais criam situações que favorecem a transição entre os níveis macro, micro e representacional para criar habilidades de compreensão do nível microscópico, como a utilização

de diferentes tipos de formas, figuras, simulações e animações computacionais, isto é, criar modelos.^{11,12} Esses modelos foram produzidos pelos alunos nesta pesquisa de acordo com as questões presentes nas fichas de atividades, independente da habilidade observada, o que reforça ainda mais a contribuição do uso do microscópio USB para a transição entre esses níveis representacionais e seu benefício no processo de criação dos modelos.

Quando comparamos os resultados obtidos nos experimentos 1 e 2, observamos a diferença entre os resultados, principalmente na sub-habilidade F2 no E2. Essa diferença se deu pela dificuldade que os alunos tiveram em manipular todo o aparato experimental, que teve como consequência uma visualização mais restrita com o microscópio USB, quando comparado ao E1. Essa restrição de visualização influenciou na forma como os grupos responderam a folha de questões e na dificuldade em representar o E2.

Em contrapartida, no experimento de corrosão, os alunos estavam livres para manipular o microscópio USB, alterar o seu foco e ampliação, observando detalhes importantes das amostras, alcançando uma visualização mais adequada.

Um ótimo exemplo de transição entre os níveis macro e o micro é observado no grupo G3 no experimento de corrosão. Na Figura 7, vemos o desenho feito pelo grupo, ao lado da imagem real capturada pelo microscópio. As duas imagens são referentes à amostra contendo a solução de NaCl 3,5%.

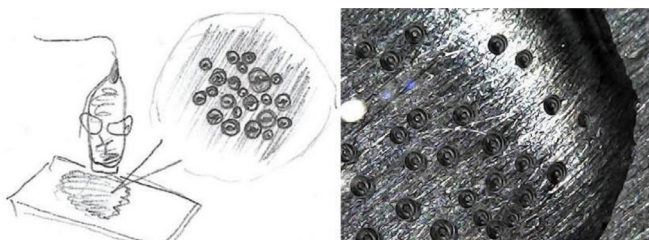


Figura 7. Comparativo entre a representação do grupo G3E1 e a imagem capturada pelo microscópio USB

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem pedagógica dos experimentos no contexto trabalhado assemelha-se às práticas da ciência, em que os cientistas se engajam em processos e práticas de construção e validação de conhecimentos, nas quais são indispensáveis desenvolver habilidades próprias desse processo, as habilidades científicas.^{2,3}

A partir das respostas produzidas pelos alunos, foi possível constatar que as atividades experimentais apresentam indícios do desenvolvimento de habilidades científicas. Os resultados obtidos levam a concluir que, de modo geral, houve desenvolvimento dos discentes para o domínio nas habilidades científicas G e F avaliadas na atividade. Desta forma, compreende-se que investindo neste tipo de atividade experimental, os estudantes vão desenvolvendo suas habilidades.

Os dados coletados são coerentes com a literatura, pois a habilidade G, coletar e analisar dados, exige que o estudante elabore linguagem especial, com características próprias para representar seus

raciocínios e suas ideias. Com isso, a linguagem oral e a escrita são insuficientes para descrever fenômenos de forma precisa.

Assim, concluímos que, ainda que o microscópio de baixo custo não seja capaz de observar os movimentos de átomos e elétrons a nível molecular, a aproximação com o mundo micro já produz uma aproximação entre os níveis macroscópicos (ou fenomenológicos) com o nível teórico (das explicações); um forte indício dessa aproximação entre os níveis representacionais são os modelos criados pelos alunos.^{12,13}

MATERIAL SUPLEMENTAR

Os roteiros experimentais e as folhas de atividades empregadas neste estudo estão disponíveis em <http://quimicanova.sbq.org.br>, na forma de arquivo PDF, com acesso livre.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela bolsa de mestrado concedida (POSGRAD 2023/2024). Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ, 304087/2021-1 e 407164/2022-7) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, 2022/05934-0 e 2022/12895-1) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

1. Sentanin, F. C.; da Rocha, A. C.; Parra, K. N.; Lanza, M. R.; Kasseboehmer, A. C.; *J. Chem. Educ.* **2021**, 98, 2279. [Crossref]
2. Etkina, E.; Van Heuvelen, A.; White-Brahmia, S.; Brookes, D. T.; Gentile, M.; Murthy, S.; Rosengrant, D.; Warren, A.; *Physical Review Physics Education Research* **2006**, 2, 020103. [Crossref]
3. Etkina, E.; Karelina, A.; Ruibal-Villasenor, M.; *Physical Review Physics Education Research* **2008**, 4, 020108. [Crossref]
4. Frazão, L. S.; *Habilidades Científicas na Formação Inicial de Professor de Ciências: Contribuições de Atividades Experimentais Investigativas*; Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil, 2020. [Link] acessado em Novembro de 2024
5. Sentanin, F. C.; Rocha, A. C.; Parra, K. N.; Lanza, M. R. V.; Kasseboehmer, C.; *Nat. Rev. Mater.* **2020**, 5, 865. [Crossref]
6. Vretudaki, H.; Klada, E.; *International Journal of Childhood Education* **2023**, 4, 50. [Crossref]
7. Wartha, J. E.; Guzzi Filho, N. J.; Jesus, R. M.; *Educ. Quim.* **2012**, 23, 55. [Link] acessado em Novembro de 2024
8. Merçon, F.; Guimarães, P. I. C.; Mainier, F. B.; *Quim. Nova Esc.* **2004**, 9, 11. [Link] acessado em Novembro de 2024
9. Fernandes, R. F.; *Revista Ciência Elementar* **2015**, 3, 179. [Crossref]
10. Gilbert, J. K.; Boulter, C. J.; Elmer, R. Em *Developing Models in Science Education*; Gilbert, J. K.; Boulter, C. J., eds.; Springer: Dordrecht, 2000. [Crossref]
11. Justi, R. S.; Gilbert, J. K.; *International Journal of Science Education* **2002**, 24, 369. [Crossref]
12. Johnstone, A. H.; *Chem. Educ. Res. Pract.* **2000**, 1, 9. [Crossref]
13. Mortimer, E. F.; Machado, A. H.; Romanelli, L. I.; *Quim. Nova* **2000**, 23, 273. [Link] acessado em Novembro 2024