v7.n8.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

SIMULAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS DE ROCHAS SEDIMENTARES: APLICAÇÕES NO ENSINO MÉDIO E DIFUSÃO DAS ENGENHARIAS

SIMULATION OF PHYSICAL PROPERTIES OF SEDIMENTARY ROCKS: APPLICATIONS IN HIGH SCHOOL AND DISSEMINATION OF ENGINEERING

SIMULACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE ROCAS SEDIMENTARIAS: APLICACIONES EN LA ENSEÑANZA MEDIA Y DIFUSIÓN DE LAS INGENIERÍAS

João Victor Vasques da Silva[1], Suelen Nonata de Souza Marques[2]

e788252
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i8.8252

PUBLICADO: 08/2026

RESUMO

O entendimento correto de como as rochas operam é primordial a qualquer área do conhecimento que esteja envolvida com o uso do espaço geológico, como é o caso dos profissionais que estão envolvidos na exploração e produção de óleo e gás. Isso devido ao petróleo estar armazenado em rochas-reservatório de origem sedimentar, e cujos campos de exploração estão localizados em subsuperfície. Este projeto tem como objetivo central a criação de um protótipo laboratorial que simule as propriedades das rochas sedimentares, além de analisar o emprego de resinas alternativas para consolidar essas rochas. Serão coletadas amostras das formações sedimentares presentes na Bacia Sedimentar do Amazonas, que passarão por análises laboratoriais detalhadas. A partir desses dados, será confeccionado o protótipo que simulará rochas-reservatório de petróleo, utilizando materiais vítreos e replicando características sedimentares coletadas em campo. Essa abordagem busca, de forma interdisciplinar, não apenas favorecer a compreensão das propriedades geológicas, mas também estimular o interesse de futuros estudantes nas áreas tecnológicas, exatas e da Terra, abrindo portas para novas possibilidades de carreira. Em síntese, este projeto almeja não apenas a construção de um protótipo, mas também o incentivo ao pensamento científico e ao engajamento acadêmico nas disciplinas relacionadas.

PALAVRAS-CHAVE: Simulação**.** Ensino Médio. Arduino. Petróleo. Permeabilidade.

ABSTRACT

The correct understanding of how rocks behave is essential for any field of knowledge involved in the use of geological space, as is the case for professionals working in oil and gas exploration and production. This is because petroleum is stored in sedimentary reservoir rocks, with exploration fields located in the subsurface. The main objective of this project is to create a laboratory prototype that simulates the physical properties of sedimentary rocks, while also analyzing the use of alternative resins for consolidating these rocks. Samples will be collected from sedimentary formations in the Amazonas Sedimentary Basin and subjected to detailed laboratory analyses. Based on this data, the prototype will be built to simulate petroleum reservoir rocks, using vitreous materials and replicating sedimentary characteristics collected in the field.

[1] Graduado em Engenharia de Petróleo e Gás pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM).
[2] Doutora em Ciências pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Professora Adjunta na Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

This interdisciplinary approach aims not only to improve the understanding of geological properties but also to stimulate interest among future students in technological, exact, and Earth sciences, opening doors to new career possibilities. In summary, this project seeks not only to build a prototype but also to encourage scientific thinking and academic engagement in related disciplines.

KEYWORDS: *Simulation. High School. Arduino. Petroleum. Permeability.*

RESUMEN
El correcto entendimiento de cómo operan las rochas es primordial para cualquier área del conocimiento que involucre el uso del espacio geológico, como es el caso de los profesionales dedicados a la exploración y producción de petróleo y gas. Esto se debe a que el petróleo se almacena en rocas-reservorio de origen sedimentario, cuyos campos de exploración se encuentran en el subsuelo. Este proyecto tiene como objetivo central la creación de un prototipo de laboratorio que simule las propiedades de las rochas sedimentarias, además de analizar el uso de resinas alternativas para consolidar dichas rochas. Se recolectarán muestras de las formaciones sedimentarias presentes en la Cuenca Sedimentaria del Amazonas, las cuales serán sometidas a análisis laboratoriales detallados. A partir de estos datos, se confeccionará el prototipo que simulará rochas-reservorio de petróleo, utilizando materiales vítreos y replicando las características sedimentarias recolectadas en campo. Este enfoque busca, de manera interdisciplinaria, no solo favorecer la comprensión de las propiedades geológicas, sino también estimular el interés de futuros estudiantes en las áreas tecnológicas, exactas y de las Ciencias de la Tierra, abriendo puertas a nuevas posibilidades de carrera. En síntesis, este proyecto pretende no solo la construcción de un prototipo, sino también incentivar el pensamiento científico y el compromiso académico en las disciplinas relacionadas.

PALABRAS CLAVE*: Simulación. Enseñanza Media. Arduino. Petróleo. Permeabilidad.*

INTRODUÇÃO

Na história da indústria tecnológica, a prototipagem sempre foi um tópico importante para designers e engenheiros, sendo geralmente reconhecida como uma ferramenta de verificação (Elverum & Welo, 2014). Essa aplicação inaugural da simulação no campo do controle de processos industriais é um exemplo notável da sinergia entre experimentação baseada em simulação e técnicas analíticas na descoberta da solução da engenharia industrial (Goldsman *et al.,* 2010).

Contudo, equipamentos e experimentos mais simples são necessários para a implementação de projetos e apreciação de novos recursos que possibilitem a resolução de problemas ou mesmo a simulação de etapas necessárias no estudo de reservatórios. As aplicações didáticas, projetos em desenvolvimento, instituições de ensino menos estruturadas e perspectivas de aproximação entre a ciência e a sociedade são fatores que podem justificar a adoção do uso de protótipos e simuladores alternativos por pesquisadores e profissionais ligados a setores tecnológicos.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

No campo educacional, Marques & Campos (2024) afirmam que a procura em vestibulares por cursos de graduação em engenharias, que possuem caráter essencialmente matemático, vem decaindo nos últimos anos, aspectos esses alarmantes para o cenário educacional, pois indicam uma necessária mudança na captação de alunos e no incentivo ao interesse nas áreas de exatas, muitas vezes desestimulados pela carência de estruturas laboratoriais que transformem a teoria em algo dinâmico e aplicável às atividades profissionais. Esta pesquisa apresenta os resultados de um projeto de iniciação científica em caráter extensionista, que demandou a divulgação de um curso de engenharia de petróleo em escolas de nível médio na Cidade de Manaus/AM.

O direcionamento objetivou a elaboração de um protótipo simples para simulação de ambiente de reservatórios de petróleo e análise da relação entre propriedades físicas de rochas sedimentares, especialmente porosidade e permeabilidade, e para isto, utilizou-se resina alternativa como meio de verificação na retenção de fluidos de petróleo. Deste modo, levantou-se a necessidade de avaliar as possíveis aplicações didáticas de prototipagem simples e sua efetividade como suporte no estudo de reservatórios, em aulas teóricas ou práticas de laboratório, quando da ausência de estrutura adequada. Assim, buscou-se facilitar a compreensão visual das características físicas das rochas, com abordagem adaptada ao ensino médio, sua interação com os fluidos em reservatórios, e a divulgação das engenharias, proporcionando uma compreensão mais clara da dinâmica das geociências.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

A exploração de petróleo e gás natural caracteriza-se pelo chamado risco geológico, que deriva das altas probabilidades de não encontrar reservas de hidrocarbonetos na área a ser explorada. De acordo com Amui (2010), participar desse processo exige conhecimento de suas etapas e técnicas, dada a complexidade e os elevados investimentos envolvidos.

O processo de formação dos hidrocarbonetos ocorre em ambiente rochoso, que integra o chamado sistema petrolífero, reunindo os efeitos combinados de diversos fatores geológicos relacionados à formação e distribuição de reservatórios convencionais de óleo e gás (Jia *et al.*, 2023). Fanchi & Christiansen (2017) descrevem que, nos estudos de engenharia de reservatórios, porosidade e permeabilidade são propriedades fundamentais das rochas: a

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

capacidade de armazenamento representa o quanto de recurso pode estar contido na rocha, e a capacidade de fluxo interpreta o quão rápido é possível produzi-lo.

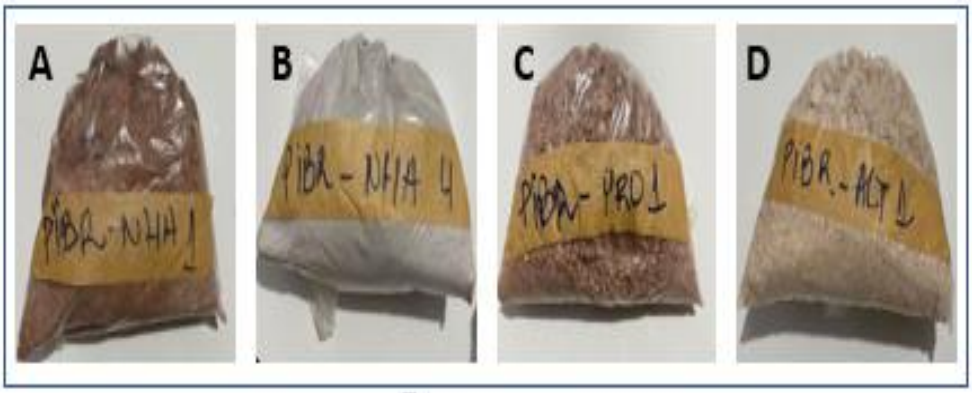
Dispositivos tecnológicos, esboços e protótipos de simulação física são amplamente utilizados na exploração de ideias, no teste de usuários e na verificação de design, funcionando como ferramentas historicamente reconhecidas por designers e engenheiros (Hallgrimsson, 2012; Elverum & Welo, 2014). Um exemplo notável dessa sinergia entre experimentação baseada em simulação e técnicas analíticas é sua aplicação pioneira no controle de processos industriais (Goldsman *et al.*, 2010), o que reforça a relevância de equipamentos e experimentos mais simples para a implementação de projetos e para a simulação de etapas do estudo de reservatórios.

2. METODOLOGIA

Nesta pesquisa foram desenvolvidas três etapas principais: aula prática de campo para coleta de amostras de sedimentos, visita a uma escola pública de ensino médio e análise de permeabilidade em laboratório. As amostras de rochas foram coletadas ao longo da BR-174, entre os municípios de Manaus e Presidente Figueiredo (AM), em afloramentos da Bacia Sedimentar do Amazonas. Foram coletadas amostras das formações Nhamundá (composta por arenito arcoseano com granulometria de silte a areia fina ou com presença de quartzo-arenito a arcóseo, com granulometria de areia média a grossa, intercaladas com siltito de granulometria silte a argila), Prosperança (arenito arcoseano com granulometria de areia grossa a cascalho, intercaladas com finas camadas de siltito e apresentando nódulos de material síltico, além de nódulos de material silicoso) e Alter do Chão (com camadas de arenito arcoseano de granulometria fina a média, contendo argila) (Figura 1 A, B, C e D). Essas diferenças granulométricas constituíram a base para a avaliação comparativa do comportamento das resinas e da permeabilidade dos sedimentos ao longo do estudo.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 1. Etapas metodológicas: Em A e B amostras da Formação Nhamundá, C amostras da Formação Prosperança e D amostras da Formação Alter do Chão



Fonte: Autoria própria (2024).

A etapa laboratorial foi realizada no Laboratório de Geoquímica do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Amazonas, com o objetivo de analisar a permeabilidade de óleo (cru) em sedimentos e avaliar o comportamento de resinas aplicadas, como ferramenta auxiliar no estudo de propriedades físicas de rochas reservatório. Utilizaram-se um sensor YF-201, Arduino *Uno*, cabos *jumpers*, *beckers* de 100 e 200 mL, balança analítica, óleo bruto de baixa viscosidade e proveta de 50 mL. Também foram preparadas resinas epóxi e resina alternativa à base de cola de silicone líquida (Figura 2 A), posteriormente submetidas a três dias de cura para avaliação da retenção de óleo em camadas sedimentares (Figura 2 B).

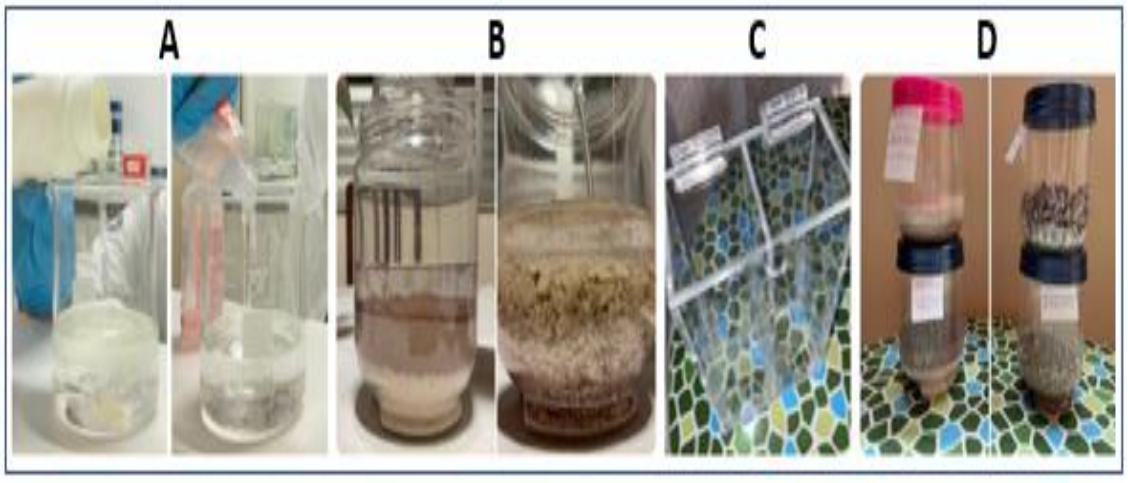
Para a análise comparativa, foram estabelecidos três grupos experimentais para as formações Nhamundá e Prosperança: sedimento sem resina, sedimento com resina epóxi e sedimento com resina alternativa, totalizando seis *beckers*. As amostras foram padronizadas com aproximadamente 65 g de sedimento cada, garantindo condições semelhantes entre os ensaios. Em seguida, foram injetados 15 mL de óleo bruto de baixa viscosidade em cada amostra, com a vazão registrada pelo sensor YF-201 (mL/s) e o volume permeado avaliado visualmente pela escala graduada do *becker* (50 mL). Após a aplicação do óleo, os sistemas permaneceram em repouso por dois dias na capela de exaustão para estabilização. A eficiência das resinas foi determinada de forma comparativa pela relação entre a vazão de injeção e o volume de óleo permeado, considerando o grupo controle de cada formação sedimentar.

Como parte da vertente extensionista da pesquisa, foi realizada uma visita a uma escola pública de ensino médio, na qual foram apresentados conteúdos relacionados às engenharias e desenvolvidas atividades práticas de análise simplificada de permeabilidade e retenção de óleo

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

em sedimentos. Para isso, foram confeccionados protótipos em material acrílico e recipientes plásticos, utilizados para simular camadas de rochas reservatório e demonstrar diferenças de granulometria sedimentar (Figura 2 C, D). Ao final da atividade, os 25 estudantes participantes responderam, de forma individual e anônima, a um questionário estruturado com oito questões de múltipla escolha, elaborado pelos autores e aplicado por meio do *Google Forms*. As questões abordaram três eixos principais: a percepção sobre a importância das disciplinas do ensino médio para a formação em engenharia, os conteúdos assimilados durante a atividade e o interesse pela carreira de engenharia. Ressalta-se que o questionário avaliou apenas a percepção autorrelatada dos estudantes. Além disso, a ausência de uma avaliação prévia limita a análise do ganho de conhecimento proporcionado pela intervenção, aspecto reconhecido como limitação do estudo. Ratifica-se que, para a continuidade da pesquisa, será necessária nova visita às escolas para que sejam feitas práticas diretamente pelos alunos, de modo a garantir a análise qualitativa da eficácia de uso do protótipo na educação de nível médio. Contudo, nesta primeira fase, foram possíveis algumas conclusões prévias dos autores sobre a receptividade do conteúdo abordado na escola, possibilitando, assim, que algumas observações fossem pontuadas nas discussões deste artigo.

Figura 2. Etapas metodológicas: (A) Preparo de resinas epóxi (à esquerda) e alternativa (à direita); (B) Cura de resinas para análise de retenção de óleo (à esquerda, Formação Alter do Chão e à direita, Formação Nhamundá); (C) Protótipo simples usado na escola para visualização de empacotamento sedimentar em rochas reservatório; (D) Protótipo simples usado na escola para visualização de granulometria de rocha e permeabilidade de fluidos.



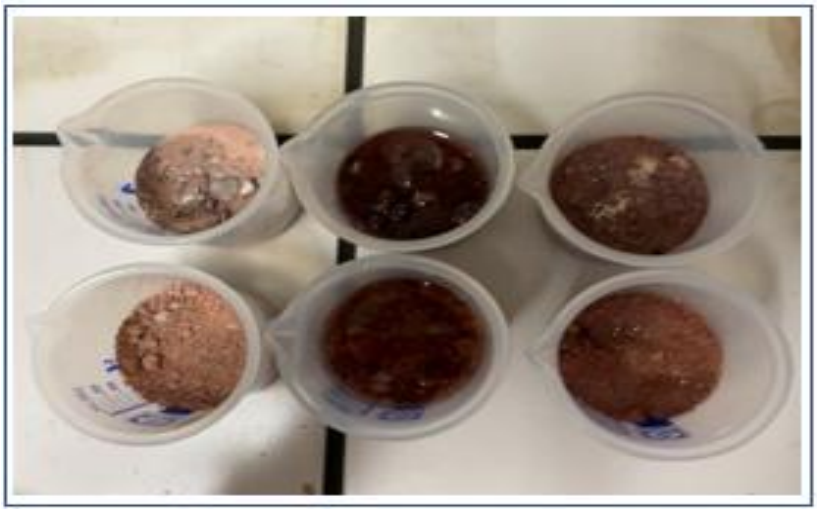
Fonte: Autoria própria (2024).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise de permeabilidade de óleo em sedimentos, e a fim de propor a utilização de resinas como ferramenta auxiliar em aulas práticas no estudo de reservatórios, as amostras de sedimentos foram levadas a laboratório. Cada amostra foi coberta pelas resinas epóxi e alternativa, respeitadas as indicações do fabricante para mistura e endurecimento. Para esta etapa utilizaram-se os sedimentos das Formações Nhamundá e Prosperança e foram distribuídas em peso aproximado de 65 gramas, para equiparação de resultados (Figura 3).

Figura 3. Distribuição de sedimentos para análise em laboratório. Notar que alguns *beckers* foram cobertos com resina para verificação de permeabilidade utilizando óleo cru. A cura desses recipientes para a selagem da resina foi feita na capela de exaustão, por dois dias.



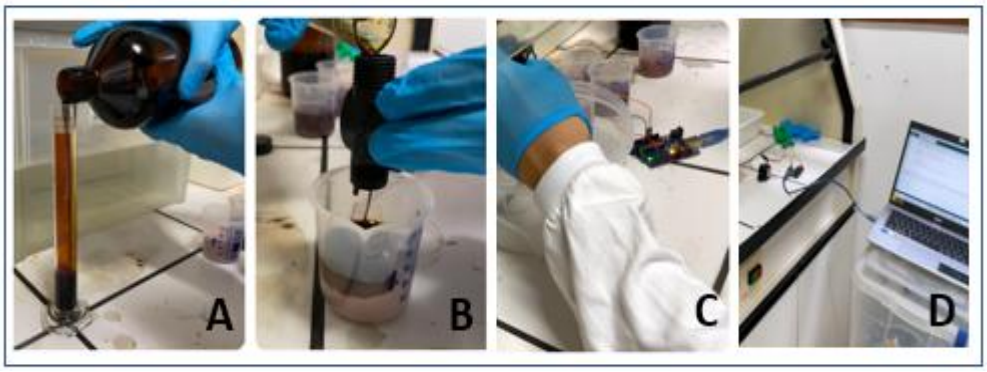
Fonte: Autoria própria (2024).

Foi padronizado um volume de 15 mL de óleo bruto em cada proveta como referência para a análise de permeabilidade. O óleo utilizado foi doado pela Refinaria de Manaus (Figura 4 A, B). Após a aplicação, os *beckers* contendo sedimentos sem resina permaneceram em repouso por dois dias na capela de exaustão, garantindo a estabilização do sistema antes da avaliação dos resultados.

Na sequência, foi realizada a programação do sensor de vazão YF-201 na plataforma Arduino, utilizando a IDE Arduino. O sensor, baseado no efeito *Hall*, permite medir a vazão de líquidos de baixa viscosidade por meio de um sinal elétrico proporcional ao fluxo, possibilitando o monitoramento em tempo real (Figura 4 C, D).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 4. (A) Distribuição de óleo bruto nas provetas para medida na análise de permeabilidade; (B) Medição de permeabilidade de óleo bruto em sedimentos com sensor de Arduino; (C) Verificação de fluidez do sensor; (D) Vinculação da placa de Arduino ao *notebook* para leitura.



Fonte: Autoria própria (2024).

No *Becker* 1 (Formação Nhamundá 1, sem resina), foi registrada uma vazão de 4,44 mL/s, com permeação total do óleo até a base do recipiente (50 mL), resultado esperado pela ausência de material selante. Também foi observada alteração na coloração dos sedimentos, que passaram de um tom rosado para uma coloração mais escura em decorrência da difusão do óleo (Figura 5 A).

No *Becker* 2 (Formação Nhamundá 1, com resina epóxi), a vazão registrada foi de 11,10 mL/s, porém não houve permeação do óleo até a base do *becker*, evidenciando a capacidade de retenção da resina. A mudança de coloração observada nos sedimentos ocorreu devido à tonalidade amarelada característica da própria resina epóxi, e não pela passagem do óleo (Figura 5 B).

Figura 5. (A) Sedimentos da Formação Nhamundá sem resina; (B) Sedimentos da Formação Nhamundá com resina epóxi.



Fonte: Autoria própria (2024).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

No *Becker* 3 (Formação Nhamundá 1, com resina alternativa), o óleo foi aplicado em uma vazão de 4,44 mL/s e, nesse caso, o *becker* apresentou manchas com a cor do óleo em torno do nível 30 mL de volume do *becker*, indicando que 20 mL de óleo foram permeados, o que evidencia a passagem do óleo nos sedimentos com resina alternativa (Figura 6 A).

Para o *Becker* 4 (Formação Prosperança 1, sem resina), obteve-se uma vazão de 13,32 mL/s do óleo aplicado, que possibilitou permear os sedimentos, mudando também a coloração da formação, que era mais avermelhada e passou a ser mais escura. Esse resultado era esperado, pois nessa situação não havia nenhuma resina para impedir a permeabilidade desse fluido, que fluiu até a base do *Becker* (Figura 6 B).

No *Becker* 5 (Formação Prosperança 1, com resina epóxi), o óleo foi aplicado a uma vazão de 4,44 mL/s e foi impedido de permear pela resina epóxi, permanecendo o óleo até o nível 50 mL de volume do *becker*. Nessa situação, nota-se também, que não há nenhuma visualização dos sedimentos sendo expostos, sendo apenas possível visualizar o óleo, reforçando que não houve permeabilidade (Figura 7 A).

Figura 6. (A) Sedimentos da Formação Nhamundá com resina alternativa; (B) Sedimentos da Formação Prosperança, sem resina.



Fonte: Autoria própria (2024).

Por fim, no *Becker* 6 (Formação Prosperança 1, com resina alternativa), o óleo, que gerou uma vazão de 6,02 mL/s ao ser aplicado, permeou através dos sedimentos, ficando armazenado em poros em que a resina alternativa não preencheu, sendo possível notar quantidades estocadas até mesmo na base do recipiente, indicando que o óleo permeou 50 mL de níveis de volume. Além disso, assim como observado no *Becker* 3, ao ter uma visão em planta, indica-se também que o fluido não foi totalmente retido (Figura 7). Todos os dados obtidos foram organizados na Tabela de Análise da Permeabilidade nos Sedimentos (Tabela 1).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 7. (A) Sedimentos da Formação Prosperança, com resina epóxi; (B) Sedimentos da Formação Prosperança com resina alternativa.



Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 1. Análise da Permeabilidade nos Sedimentos

Becker (Formação / Condição)	Vazão de Injeção (mL/s)	Nível de Volume Permeado
Becker 1 (Formação Nhamundá / Sem Resina)	4,44	50 mL
Becker 2 (Formação Nhamundá / Resina Epóxi)	11,10	0 mL
Becker 3 (Formação Nhamundá / Resina Alternativa)	4,44	20 mL
Becker 4 (Formação Prosperança / Sem Resina)	13,32	50 mL
Becker 5 (Formação Prosperança / Resina Epóxi)	4,44	0 mL
Becker 6	6,02	50 mL

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

(Formação Prosperança / Resina Alternativa)		

Fonte: Autoria própria (2024)

Os resultados indicaram que, independentemente da vazão aplicada e das formações rochosas utilizadas, a resina epóxi apresentou melhor desempenho no preenchimento dos poros superficiais e no bloqueio do fluxo de fluido pelos sedimentos, enquanto a resina alternativa apresentou menor eficiência, permitindo diferentes níveis de permeação do óleo nas amostras (Tabela 1). Braz (2022) destaca que a permeabilidade de meios porosos depende diretamente da geometria e das características dos poros, podendo apresentar variações mesmo em condições experimentais semelhantes. Marchi (2024) reforça que a porosidade e a dinâmica dos fluidos influenciam significativamente o escoamento de resinas em meios porosos, de modo que alterações na estrutura dos poros podem modificar o processo de preenchimento. Nesse contexto, a maior eficiência observada para a resina alternativa no *Becker* 3 em comparação ao *Becker* 6 pode estar relacionada às diferenças de granulometria e porosidade entre as formações, favorecendo uma maior retenção da resina em determinados sedimentos.

A utilização de protótipos com Arduino tem sido amplamente empregada em projetos de baixo custo para automação e monitoramento. Viana *et al.* (2021) destacam que essa tecnologia auxilia na coleta de dados e reduz erros de leitura, enquanto Junior *et al.* (2024) ressaltam que a automação aumenta a eficiência e reduz falhas em projetos de engenharia. Essas aplicações refletem uma tendência presente em diversos setores industriais, incluindo a indústria do petróleo, que atualmente incorpora tecnologias como robótica, inteligência artificial e aprendizado de máquina para otimização de processos.

O sensor YF-201 utilizado nesta pesquisa já apresentou bons resultados em outros estudos. *Suriasni et al.* (2024) obtiveram precisão superior a 95% em um sistema de monitoramento da qualidade da água, e *Dickson et al.* (2024) demonstraram sua eficiência na medição de vazão para detecção de vazamentos. Esses resultados reforçam a confiabilidade do sensor utilizado nesta pesquisa para a medição da vazão do óleo, considerando sua aplicação com um fluido de viscosidade próxima à da água. Assim, não foi considerada uma possível influência de erros de medição na vazão aplicada aos *beckers*, fator que poderia interferir na quantidade de fluido permeada pelos sedimentos.

A visita à escola de nível médio teve como objetivo apresentar aos estudantes a engenharia e aproximá-los das aplicações práticas da área, contribuindo para o interesse pelo ensino superior. Metodologias baseadas em tecnologia e aprendizagem prática por projetos têm

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

sido apontadas como estratégias eficientes para aumentar o engajamento dos alunos e desenvolver habilidades de pensamento crítico e resolução de problemas (*Kilag et al.*, 2023). *Shi et al. (*2023) também destacam que experiências práticas podem estimular processos cognitivos relacionados ao raciocínio, especialmente no aprendizado de geometria, beneficiando estudantes com diferentes níveis de desempenho. Entretanto, para que essas atividades sejam efetivas, é fundamental que as instituições de ensino ofereçam estrutura e suporte adequados para sua realização (Pereira *et al.*, 2021).

O experimento prático utilizou sedimentos das Formações Nhamundá, Prosperança e Alter do Chão, de diferentes granulometrias, e óleo sintético devido à ausência de estrutura laboratorial adequada para manipulação segura de óleo cru. A resina alternativa permitiu a permeação do óleo pelos sedimentos, porém de forma limitada (Figura 8 A), indicando baixa eficiência. Esse resultado reforça a importância da qualidade e da formulação adequada das resinas utilizadas na indústria do petróleo, pois falhas em suas propriedades podem comprometer aplicações industriais. Coelho (2024) destaca que resinas líquidas formuladas com diferentes diluentes podem apresentar limitações práticas, enquanto *Yang et al.* (2024) demonstram que a utilização de misturas de acetona e água pode melhorar a resistência de adesão de resinas alternativas. Bruno Torres (2024) também observou que alterações na composição de compósitos de resina epóxi podem reduzir suas propriedades mecânicas, evidenciando a influência da formulação no desempenho final.

Por outro lado, a resina epóxi apresentou maior eficiência, sendo capaz de reter todo o volume injetado, mantendo o óleo acima da camada de resina e impedindo sua permeação nos sedimentos de granulometria grossa (Figura 8 B). Esse resultado demonstra a importância do preparo adequado da resina, embora sua aplicação dependa das condições específicas de cada operação. Stepanha (2021) ressalta que não existe uma formulação única de resina epóxi ideal para todas as aplicações, como em operações de reparo e abandono de poços. Entretanto, *Alkhamis et al.* (2019) destacam sua alta injetividade e capacidade de penetração em pequenos espaços, tornando-a eficiente para selamento em cimentação de poços. Além disso*, Salahi et al.* (2021) apontam que a injeção de resinas e hidrogéis é uma das técnicas mais eficazes para controle da produção de areia em poços de petróleo.

Figura 8. (A) Aplicação prática da resina alternativa em sedimentos de granulometria fina; (B) Amostras de granulometria grossa com o uso de resina epóxi

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.



Fonte: Autoria própria (2024).

Os resultados sugerem que atividades práticas podem favorecer a aprendizagem dos alunos, que absorvem melhor o conhecimento. Soares *et al*. (2023) realizaram mapeamento educacional para implemento de metodologias ativas em cursos de engenharia e constataram que essas práticas têm contribuído para o desenvolvimento pessoal e profissional dos discentes, impactando diretamente na qualidade do ensino. *Mazzoni* et al. (2023) concluíram que o uso de protótipo se tornou uma opção viável para uma demonstração em aula, a partir do desenvolvimento de um protótipo de tamboreamento em pequena escala e baixo custo, utilizado como meio didático em laboratórios de circuitos, eletrônica, automação. A partir dessas evidências, percebe-se a versatilidade da aplicação de protótipos simples, desde fins didáticos, como o aqui utilizado, até simulação de produtos, qualidade e engenharia de manutenção.

Realizados os experimentos práticos, os alunos responderam à pesquisa de questionário, com perguntas relacionadas a disciplinas estudadas durante o ensino médio, ao conteúdo abordado no experimento e no interesse pelo ensino superior. As respostas apontaram em sua maioria para o entendimento de que o ensino médio serve como base efetiva de preparo a cursos de graduação, além de demonstrarem interesse com as engenharias, contudo as disciplinas estudadas nesses cursos são o que mais causa receio devido ao conteúdo relacionado a cálculos matemáticos (Tabela 2).

Tabela 2. Representação das perguntas feitas no questionário e os resultados alcançados

PERGUNTA	ALTERNATIVAS	RESPOSTAS
1. Você considera importante o conteúdo das disciplinas na escola, para seu curso de graduação?	Sim, é importante, porque as disciplinas da escola fornecem uma base essencial de conhecimento	75%
	Depende, algumas disciplinas têm mais impacto que outras, dependendo do curso	25%
	Nem todos os conteúdos parecem essenciais, mas	-

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

	muitos ajudam a preparar para desafios acadêmicos	
2. Qual das seguintes matérias você achou que está mais relacionada com o conteúdo apresentado?	Química	-
	Geografia	100%
	Física	-
3. Em sua opinião, qual a relação entre geologia e outras disciplinas que você estuda?	Todas estão interligadas para explicar como os recursos naturais são formados e explorados	25%
	Cada uma dessas áreas contribui para uma visão completa dos processos que moldam a Terra e sua estrutura	25%
	Essas áreas combinadas ajudam a explicar como os fenômenos geológicos impactam a vida cotidiana e o desenvolvimento tecnológico	50%
4. O que você considera que aprendeu a partir da apresentação assistida?	O petróleo não é usado para combustível	25%
	A importância das matérias do ensino médio para o ensino superior	25%
	O engenheiro não trabalha apenas com cálculo	50%
5. Durante a apresentação dos protótipos, o que mais chamou a sua atenção?	A diferença entre sedimentos de granulometria fina e grossa, que ajudou no entendimento do que estava sendo apresentado	75%
	A comparação entre resina alternativa e industrial	25%
	A resina impedir a permeabilidade do óleo	-
6. Você tem interesse em seguir carreira na área de engenharia?	Sim	75%
	Não	-
	Já tenho outra área de interesse	25%
7. O que mais chama a sua atenção no curso de engenharia?	Mercado de trabalho local, como o Polo Industrial de Manaus	50%
	Interesses relacionados à indústria e tecnologia	25%
	Remuneração alta	25%
8. O que faria você repensar um curso da engenharia?	Conceito acadêmico difícil, envolvendo cálculos matemáticos	75%
	Mercado é altamente competitivo	25%

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

	Inteligência artificial pode tornar a área obsoleta	-

Fonte: Autoria própria (2024).

Como indicador direto da eficácia pedagógica do protótipo, 75% dos alunos apontaram a diferença de granulometria entre sedimentos finos e grossos, conceito central que o protótipo foi desenvolvido para demonstrar visualmente, como o aspecto que mais chamou atenção na apresentação (Questão 5, Tabela 2), sugerindo que o recurso visual cumpriu seu objetivo didático principal.

A análise das respostas do questionário reforça a importância dos conteúdos básicos do ensino médio para a formação em engenharia, especialmente matemática, física, química e ciências ambientais, conforme estabelecido pelas diretrizes dos cursos de engenharia (Brasil, 2019). A inclusão da geografia e da geologia como conhecimentos fundamentais para a engenharia de petróleo evidencia a necessidade de fortalecer esses conteúdos na educação básica. Luz Neto (2021) destaca que a reforma do ensino médio resultou na redução do espaço e da carga horária destinados ao ensino de geografia, enquanto Guedes (2023) aponta os desafios enfrentados pelos professores, principalmente quanto ao uso de tecnologias no processo de ensino. Da mesma forma, Portella (2022) observa que os conteúdos de geologia são frequentemente abordados de forma superficial na BNCC, dificultando sua relação com situações práticas e com áreas como a engenharia de petróleo. Silva (2021) reforça que o ensino de geologia exige maior estímulo ao pensamento científico e crítico dos estudantes.

Em relação à matemática e às ciências exatas, os alunos perceberam que a engenharia envolve não apenas cálculos e fórmulas, mas também aplicações práticas e resolução de problemas, o que pode contribuir para maior interesse pela área. Rosa & Baraldi (2021) destacam a importância de metodologias adequadas para promover inclusão e aprendizagem, enquanto Cecílio & Junior (2023) ressaltam que o acompanhamento da aprendizagem e a análise dos erros são estratégias relevantes no ensino da matemática.

O interesse despertado pela carreira de engenheiro após a atividade evidencia o potencial de ações de aproximação entre escolas e universidades, embora ainda existam inseguranças relacionadas ao ingresso e à permanência nos cursos de engenharia. Esse cenário demonstra a necessidade de aprimorar metodologias de ensino, infraestrutura institucional e estratégias de apoio aos estudantes, considerando os elevados índices de evasão observados em cursos de engenharia. *Muller et al.* (2023) e Pessoa *et al.* (2021) apresentam exemplos desse problema, com elevados índices de desistência e baixa taxa de conclusão em cursos de engenharia no ensino superior brasileiro.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a conclusão dos procedimentos, os resultados da prática interativa na escola e dos ensaios laboratoriais indicaram que, nas condições avaliadas, a resina alternativa utilizada apresentou limitações para aplicações relacionadas à retenção de fluxo de fluidos em estudos de reservatórios. Entretanto, por se tratar de uma pesquisa exploratória e extensionista, sem repetição dos ensaios em diferentes condições, os resultados devem ser considerados como uma análise inicial, não representando uma conclusão definitiva sobre o desempenho de resinas alternativas.

A construção do protótipo mostrou-se fundamental para simular o comportamento de rochas sedimentares em reservatórios de petróleo e compreender a relação entre suas propriedades físicas, além de contribuir para aproximar estudantes do ensino médio das áreas de engenharia. As atividades práticas auxiliaram na compreensão dos conceitos apresentados, indicando potencial como ferramenta complementar de ensino, embora os resultados estejam limitados a uma única aplicação com 25 estudantes.

Para trabalhos futuros, recomenda-se avaliar novas formulações da resina alternativa, utilizando diferentes proporções de álcool 70º em gel, cola de silicone líquida e acetona, a fim de verificar possíveis melhorias na capacidade de retenção de fluidos. Também são sugeridas pesquisas em escolas de ensino médio para avaliar a contribuição de atividades práticas no aprendizado, além de estudos junto às empresas do setor sobre o uso de protótipos educacionais como ferramenta de aproximação entre ciência, indústria e formação acadêmica.

REFERÊNCIAS

ALKHAMIS, M.; IMQAM, A.; MILAD, M. Evaluation of an Ultra-High Performance Epoxy Resin Sealant for Wellbore Integrity Applications. In: SPE Symposium: Decommissioning and Abandonment, 2019, Kuala Lumpur, Malaysia.

AMUI, Sandoval. **Petróleo e gás natural para executivos: exploração de áreas, perfuração e completação de poços e produção de hidrocarbonetos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Câmara de Educação Superior. **Resolução CNE/CES nº 2, de 24 de abril de 2019**. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 80, p. 43-45, 26 abr. 2019. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/cne/resolucoes/resolucoes-cne-ces-2019. Acesso em: 13 jan. 2025.

BRAZ, Marcos Pereira. **Estudo Experimental De Escoamentos De Fluidos Viscosos Através De Modelos Porosos Em Uma Célula Hele-Shaw**. 2022. 28 p. Monografia (Graduação em

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Engenharia de Energia). Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BRUNO TORRES, Larissa. **Caracterização das propriedades mecânicas de um compósito com matriz de epóxi reforçado com partículas de silicone**. 2024. 108 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.

CECÍLIO, W. A. G.; JUNIOR, L. C. P. Avaliação e Erro na Educação Matemática: Um Estudo nas Escolas Primárias do Paraná (1920-1960). **HISTEMAT, SBHMat**, v. 9, p. 1-16, 2023.

COELHO, Henrique César Pereira. **Síntese e caracterização de resinas epoxídicas a partir de álcool vanílico e lignosulfonato**. 2024. 54 p. Dissertação (Mestrado em Ciências – Programa de Pós-graduação em Biotecnologia Industrial na Área de Biotecnologia Industrial). Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena.

DICKSON, T. K.; MDUMA, N.; TARUS, J. K. Industrial-Based GSM Water Leakage Detection, Monitoring and Controlling System in Promoting Sustainability: A Case of Kenyan Industries. **Transdisciplinary Journal of Engineering & Science, v. SP-I, p. 39-67, 2024**. Disponível em: <https://www.atlas-tjes.org/index.php/tjes>. Acesso em: 13 jan. 2025.

ELVERUM, C. W.; WELO, T. The role of early prototypes in concept development: insights from the automotive industry. In: **24th CIRP Design Conference, 2014. p. 491-496.** DOI: 10.1016/j.procir.2014.03.127. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114006672>. Acesso em: 28 set. 2023.

FANCHI, J. R.; CHRISTIANSEN, R. L. **Introduction to petroleum engineering**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2017.

GOLDSMAN, D.; NANCE, R.; WILSON, J. A brief history of simulation. In: **Proceedings - Winter Simulation Conference, 2010. p. 310-313.** DOI: 10.1109/WSC.2009.5429341. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/224123869_A_brief_history_of_simulation>. Acesso em: 28 set. 2023.

GUEDES, Renildo de Moura. **Novo Ensino Médio No Brasil: Possíveis Impactos No Ensino Da Geografia**. 2023. 37 p. Monografia (Licenciatura em Geografia). Universidade Federal de Campina Grande, Cajazeiras.
HALLGRIMSSON, Bjarki. **Prototyping and Modelmaking for Product Design**. Londres: Laurence King Publishing, 2012.

JIA, C-Z.; PANG, X-Q.; SONG, Y. Whole petroleum system and ordered distribution pattern of conventional and unconventional oil and gas reservoirs. **Petroleum Science, v. 20, p. 1-19, 2023.** Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1995822622003375?via%3Dihub>. Acesso em: 05 abr. 2023.

JUNIOR, J. A. M. A.; SOARES, W. M.; PIRES, M. S.; NETO, S. T. P. Automação aplicada na engenharia civil: a otimização de softwares e sua aplicação no campo da construção civil. **Revista Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 1, p. 294-306, 2024.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

KILAG, O. K. T.; EVANGELISTA, T. P.; SASAN, J. M.; LIBREA, A. M.; ZAMORA, R. M. C.; YMAS, S. B.; ALESTRE, N. A. P. Promising Practices for a Better Tomorrow: A Qualitative Study of Successful Practices in Senior High School Education. **Journal of Elementary and Secondary School, v. 1, n. 1, p. 16-28, 2023**. Disponível em: <https://journals.researchsynergypress.com/index.php/jess/article/view/1379>. Acesso em: 14 jan. 2025.

LUZ NETO, D. R. S. Afinal, Para Onde Caminha o Ensino de Geografia no Contexto de Reforma do Ensino Médio e Implantação Da BNCC?. **Terra Livre**, v. 1, n. 56, p. 370-397, 2021. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/terralivre/article/view/2205>. Acesso em: 13 jan. 2025.

MARCHI, Guilherme Neves. **Modelagem e Simulação Computacional para Previsão do Tempo de Preenchimento em Processos VARTM**. 2024. 75 p. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica). Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville.

MARQUES, S. N. de S.; CAMPOS, A. B. de. Dificuldades No Ensino De Geociências E A Multiplicidade De Fatores: Análise Concisa E Levantamento Crítico De Um Curso De Engenharia De Petróleo. ***Revista Políticas Públicas & Cidades***, v. 13, n. 2, e1173, 2024. Disponível em: <https://journalppc.com/RPPC/article/view/1173>. Acesso em: 13 jan. 2025.

MAZZONI, F. M.; FORTUNA, L. T. M.; MOREIRA, P. J. S. **Desenvolvimento De Um Protótipo De Tamboreamento Automatizado De Baixo Custo, Utilizando A Plataforma De Prototipagem Eletrônica Arduíno**. 2023. Projeto de TCC apresentado ao curso de Engenharia Elétrica. Faculdade Doctum, Juiz de Fora.

MULLER, F. H. L.; GONÇALVES, R. C. C.; TAPAJÓS, B. F. P. L.; TAPAJÓS, L. S. Análise dos fatores que contribuem para o baixo índice de comparecimento na habilitação para o curso de engenharia civil em uma universidade no interior da Amazônia. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v. 16, n. 10, p. 23311-23324, 2023.

PEREIRA, W. M.; SANTOS, D. D. J.; NETO, J. A. Q.; VALASQUES, G. S.; BARROS, J. M. A importância das aulas práticas para o ensino de química no ensino médio. **Scientia Naturalis**, v. 3, n. 4, p. 1805-1813, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/revista/index.php/SciNat>. Acesso em: 13 jan. 2025.

PESSOA, B. L. S.; SANTOS, G. A.; FREITAS, A. C. Um Estudo Quantitativo Descritivo do Curso de Bacharelado em Engenharia de Alimentos: Permanência e Evasão. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 5, p. 48050-48064, 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/29722>. Acesso em: 13 jan. 2025.

PORTELLA, Manoela Brum Poitevin. **O Ensino De Geologia Na Educação Básica Como Ferramenta Para A Compreensão De Questões Socioambientais: Uma Análise Da Base Nacional Comum Curricular**. 2022. 39 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ROSA, E. A. C.; BARALDI, I. M. Escolas Inovadoras e Criativas e a Educação Matemática: caminhos possíveis para a inclusão escolar. **Bolema, Rio Claro (SP)**, v. 35, n. 70, p. 549-566, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1980-4415v35n70a01>. Acesso em: 13 jan. 2025.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

SALAHI, A.; DEHGHAN, A. N.; SHEIKHZAKARIAEE, S. J.; DAVARPANAH, J. Sand production control mechanisms during oil well production and construction. **Petroleum Research, v. 6, p. 361-367, 2021**. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2096249521000181?via%3Dihub>. Acesso em: 13 jan. 2025.

SHI, L.; DONG, L.; ZHAO, W.; TAN, D. Improving middle school students' geometry problem solving ability through hands-on experience: An fNIRS study. **Frontiers in Psychology**, v. 14, 2023. (Seção Educational Psychology). Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2023.1126047/full>. Acesso em: 14 jan. 2025.

SILVA, Luis Adriano Carvalho Da. **Ferramentas Para Uma Abordagem Lúdica No Ensino De Geologia E Divulgação Geocientífica – Os Jogos Geoway E Minerallia**. 2021. 85 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia). Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SOARES, J. C. V.; PESSOA, F. A.; SANTOS, R. Mapeamento De Contextos Educacionais Para A Implementação Das Estratégias De Metodologias Ativas Em Cursos De Engenharia. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 42, p. 348-361, 2023.

STEPANHA, Amanda Sofia de Guimarães e. **Avaliação Da Resistência Química E Mecânica De Blendas De Resina Epóxi Para Aplicação Em Operações De Reparo E Abandono De Poços De Petróleo E De Armazenamento Geológico De Co_2**. 2021. 138 p. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais). Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SURIASNI, P.A.; FAIZAL, F.; HERMAWAN, W.; SUBHAN, U.; PANATARANI, C.; JONI, I.M. IoT Water Quality Monitoring and Control System in Moving Bed Biofilm Reactor to Reduce Total Ammonia Nitrogen. **Sensors, v. 24, p. 494, 2024.** Disponível em: < https://www.mdpi.com/1424-8220/24/2/494>. Acesso em: 13 jan. 2025.

VIANA, V. J.; BENTES, J. J. F. X. P.; KANER, L. M. Teste De Um Protótipo De Arduino Com Sensores De Baixo Custo Associado A Infiltrômetro Para Determinação Da Capacidade De Infiltração De Água No Solo Em Um Jardim De Chuva. In: 10º Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade, 2021. Disponível em: <https://itr.ufrrj.br/sigabi/anais/>. Acesso em: 13 jan. 2025.

YANG, Y.; XU, J.; CHEN, X.; YANG, W.; SI, L.; YAN, W.; DOU, Z.; LIU, F.; XIA, H. Improvements in manufacturability, bonding strength, and curing efficiency of a silicone adhesive. **Journal of Advanced Joining Processes, v. 10, 2024. Disponível em:** <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666330924000591?via%3Dihub>. Acesso em: 13 jan. 2025.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.