

Fabício Moraes de Almeida  
(Organizador)

# O universo das ciências exatas e da terra:

teoria e aplicações

Fabrcio Moraes de Almeida  
(Organizador)

# O universo das ciências exatas e da terra:

teoria e aplicaçes

Atena  
Editora  
Ano 2024

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2024 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2024 Os autores

Copyright da edição © 2024 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena

Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Colégio Militar Dr. José Aluisio da Silva Luz / Colégio Santa Cruz de Araguaia/TO

Profª Drª Cristina Aledi Felseburgh – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Diogo Peixoto Cordova – Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Hauster Maximiler Campos de Paula – Universidade Federal de Viçosa

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Drª Jéssica Barbosa da Silva do Nascimento – Universidade Estadual de Santa Cruz

Profª Drª Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Leonardo França da Silva – Universidade Federal de Viçosa

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira – Universidade Federal do Espírito Santo

Profª Drª Maria Iaponeide Fernandes Macêdo – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Profª Drª Mariana Natale Fiorelli Fabiche – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Natasha Kinas – Universidade do Estado de Santa Catarina

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Rafael Pacheco dos Santos – Universidade do Estado de Santa Catarina

Prof. Dr. Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

## O universo das ciências exatas e da terra: teoria e aplicações

**Diagramação:** Thamires Camili Gayde  
**Correção:** Maiara Ferreira  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Fabrício Moraes de Almeida

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)</b>	
U58	<p>O universo das ciências exatas e da terra: teoria e aplicações / Organizador Fabrício Moraes de Almeida. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.</p> <p>Formato: PDF  Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  Modo de acesso: World Wide Web  Inclui bibliografia  ISBN 978-65-258-2805-3  DOI: <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.053241110">https://doi.org/10.22533/at.ed.053241110</a></p> <p>1. Ciências exatas. 2. Ciências da terra. 3. Engenharia.  I. Almeida, Fabrício Moraes de (Organizador). II. Título.  CDD 509</p>
<b>Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166</b>	

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

O universo das ciências exatas e da Terra é um imenso campo científico de estudo dinâmico. Além disso, busca otimizar as modelagens dos fundamentos dos fenômenos e as suas aplicações para resolução de problemas e desenvolvimento de novas tecnologias.

Por via de regra, no livro, são demonstradas diversas abordagens teórico-práticas nos resultados obtidos pelos vários autores e coautores na construção de cada capítulo. Em princípio, a Atena Editora oferece a divulgação técnico-científica com excelência, primordial para garantir o destaque entre as melhores editoras na América Latina.

Fabício Moraes de Almeida

**CAPÍTULO 1 ..... 1****MACHINE LEARNING APLICADA À SAÚDE - ANÁLISE DE DADOS PARA SAÚDE DE CRIANÇAS DE 0 A 3 ANOS**

Jackson Henrique da Silva Bezerra

Fabrício Moraes de Almeida

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0532411101>**CAPÍTULO 2 .....29****APLICACIÓN DEL MÉTODO DE MCCABE-THIELE MEDIANTE MODELACIÓN MATEMÁTICA EN EXCEL PARA DETERMINAR LAS ETAPAS TEÓRICAS DE UNA DESTILACIÓN BINARIA**

Wilson Patricio León Cueva

Kely Romina Veintimilla San Martin

Delly Maribel San Martin Torres

Juliana Lisbeth Criollo Feijoo

Jerling Samantha Hurtado González

Cristina Vanessa Fernández Vélez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0532411102>**CAPÍTULO 3 .....40****MÉTODO DE BORIS GRIGÓRIEVICH GALIORKIN APLICADO A LA DEFLEXIÓN EN VIGAS**

Marco Antonio Gutiérrez Villegas

Nicolas Domínguez Vergara

Alfonso Jorge Quevedo Martínez

Israel Isaac Gutiérrez Villegas

Alejandro Cruz Sandoval

Esiquio Martin Gutierrez Armenta

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0532411103>**CAPÍTULO 4 .....49****REFLEXIONES QUE SUSTENTAN EL REDISEÑO DE CLASES QUE INTEGRAN EL PENSAMIENTO MATEMÁTICO Y COMPUTACIONAL**

María José Seckel

Viviane Hummes

Claudia Vásquez

Valentina Seckel-Aravena

Roxana Saavedra

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0532411104>**CAPÍTULO 5 .....68****UMA PROPOSTA DE ENSINO DE ONDAS SONORAS COM USO DE ARDUINO**

Jaqueline da Silva Rocha

Ana Paula Campos Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0532411105>

<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>88</b>
PROPUESTA DE FORMACIÓN DOCENTE ¿CÓMO GESTIONAR LA HABILIDAD DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS MATEMÁTICOS DE TIPO ADITIVO?	
Daniel Carvajal María José Seckel	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.0532411106">https://doi.org/10.22533/at.ed.0532411106</a>	
<b>CAPÍTULO 7 .....</b>	<b>103</b>
A TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO APLICADA NO ENSINO DE QUÍMICA	
Caroline Chibae de Amorim Ana Carolina Sá Coelho da Silva Elizabeth Teixeira de Souza	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.0532411107">https://doi.org/10.22533/at.ed.0532411107</a>	
<b>CAPÍTULO 8 .....</b>	<b>114</b>
APRENDENDO NO MUSEU DE CIÊNCIAS DA TERRA: USO DA TEORIA SOCIAL COGNITIVA DE BANDURA NO ENSINO DE QUÍMICA	
Thiago da Cunha Perrotti Elizabeth Teixeira de Souza	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.0532411108">https://doi.org/10.22533/at.ed.0532411108</a>	
<b>CAPÍTULO 9 .....</b>	<b>126</b>
SEQUÊNCIA DIDÁTICA LÚDICA E EXPERIMENTAL SOBRE OS ESTADOS FÍSICOS DA MATÉRIA: UMA ABORDAGEM PARA O ENSINO FUNDAMENTAL	
Francisco Diego Soares de Sousa Viviane Gomes Pereira Ribeiro Assis Anderson Ribeiro da Silva Mônica Regina Silva de Araújo	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.0532411109">https://doi.org/10.22533/at.ed.0532411109</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR .....</b>	<b>138</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>139</b>

## MACHINE LEARNING APLICADA À SAÚDE - ANÁLISE DE DADOS PARA SAÚDE DE CRIANÇAS DE 0 A 3 ANOS

---

Data de submissão: 24/09/2024

Data de aceite: 01/10/2024

### **Jackson Henrique da Silva Bezerra**

Doutorando PGDRA/UFRO. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia -Campus Ji-Paraná

### **Fabício Moraes de Almeida**

PhD in Physics (UFC), withpost-doctorate in Scientific Regional Development (DCR/CNPq) -Specialization in Software Engineering (FUNIP). Researcher of the Doctoral and Master Program in Regional Development and Environment (PGDRA/UFRO)

**RESUMO:** O *Machine Learning* (ML) tem um papel importante na área da saúde, fornecendo modelos preditivos criados a partir de algoritmos e grandes bases de dados. Estes modelos podem classificar pacientes para fins de diagnóstico ou prognósticos em diversas doenças. A presente pesquisa teve como objetivo o desenvolvimento de um modelo preditivo de óbito por Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) para crianças de 0 a 3 anos da região Norte do Brasil, através de dados disponibilizados pelo Ministério da Saúde do Brasil. Uma pesquisa aplicada foi

realizada através da metodologia CRISP-DM que guiou todo o processo de seleção, processamento, transformação, aplicação dos algoritmos de ML e avaliação do modelo. Os algoritmos *Random Forest*, *Regression Logistic*, *K-Nearest Neighbors* e *XGBoost* foram utilizados através do software *Weka*, onde o modelo com o *Random Forest* teve desempenho superior. O modelo foi gerado com validação cruzada e avaliado conforme as métricas de sensibilidade, especificidade, acurácia, precisão, F1-Score e AUC-ROC, sendo esta última a métrica primária de avaliação. Por fim, um protótipo de aplicação de software para uso do modelo foi desenvolvido na linguagem Java para que o conhecimento gerado pelo modelo chegue aos profissionais da área da saúde.

**PALAVRA-CHAVE:** *Machine Learning* (ML), Banco de dados, Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG), Modelo Preditivo.

## MACHINE LEARNING APPLIED TO HEALTH - DATA ANALYSIS FOR THE HEALTH OF CHILDREN AGED 0 TO 3 YEARS

**ABSTRACT:** Machine Learning (ML) plays an important role in healthcare, providing predictive models created from algorithms and large databases. These models can classify patients for diagnostic or prognostic purposes in various diseases. This research aimed to develop a predictive model for death due to Severe Acute Respiratory Syndrome (SARS) for children aged 0 to 3 years in the North region of Brazil, using data provided by the Brazilian Ministry of Health. An applied research was carried out using the CRISP-DM methodology that guided the entire process of selection, processing, transformation, application of ML algorithms and evaluation of the model. The Random Forest, Logistic Regression, K-Nearest Neighbors and XGBoost algorithms were used through the Weka software, where the model with Random Forest had superior performance. The model was generated with cross-validation and evaluated according to the metrics of sensitivity, specificity, accuracy, precision, F1-Score and AUC-ROC, the latter being the primary evaluation metric. Finally, a software application prototype for using the model was developed in the Java language so that the knowledge generated by the model reaches healthcare professionals.

**KEYWORDS:** Machine Learning (ML), Database, Severe Acute Respiratory Syndrome (SARS), Predictive Models

### INTRODUÇÃO

O *Machine Learning* (ML) é um conjunto de regras utilizadas para ensinar computadores a “aprenderem” de forma automática padrões e comportamentos a partir de dados de treinamento (SILVA E, 2022), (SENA, 2021). O objetivo principal de um modelo de ML é construir um sistema de computador que aprenda com um banco de dados pré-definido e gere, ao final, um modelo de previsão, classificação ou detecção (PAIXÃO et al., 2022). A aplicação de ML na prática é voltada principalmente para o uso de bases de dados consolidadas com informações heterogêneas, para as quais há uma limitação do uso de técnicas de estatística derivadas (PAIXÃO et al., 2022). Os algoritmos de ML já estão difundidos em diversas áreas, como sistemas bancários para detecção de fraudes (LOPES, 2019), mecanismos de busca na internet (CARVALHO, 2012), sistemas de vigilância em vídeo (MOITINHO & BENICASA, 2023), segurança de dados (HENKE et al., 2018), robótica (RYBCZAK et al., 2024) e, na medicina, para diagnóstico e prognóstico (GROSSARTH et al, 2023). Na área médica, com a digitalização dos prontuários médicos, exames laboratoriais e de imagem, houve um crescimento dos bancos de dados, que são fontes para a aplicação de técnicas de ML, visando a prevenção, diagnóstico precoce e o tratamento das doenças (PAIXÃO et al., 2022).

Os algoritmos de ML podem ser divididos basicamente em duas modalidades: supervisionado e não supervisionado. No aprendizado não supervisionado, o modelo de ML extrai as características dos dados e construiu uma representação sem o conhecimento prévio dos rótulos de cada dado, ou seja, identifica o padrão das informações de classe

heurísticamente. Essa falta de supervisão para o algoritmo pode ser vantajosa, pois permite que o algoritmo analise os padrões que não foram considerados anteriormente (SENA, 2021), (PAIXÃO et al., 2021). No aprendizado supervisionado o modelo de ML tem o conhecimento do rótulo dos dados, ou seja, as amostras estão corretamente definidas. O treinamento é baseado na comparação entre os resultados previstos pelo modelo e os valores reais. Esse processo é repetido até obter um erro mínimo (PAIXÃO et al., 2021). Assim, se o resultado da previsão de um modelo de ML supervisionado for uma categoria, então a tarefa é chamada de classificação, como por exemplo, a predição do conceito de um aluno em uma disciplina em uma das categorias A, B, C, D e E. No entanto, se a predição for um valor numérico específico, então a tarefa é denominada de regressão, como por exemplo, a predição do valor da nota de um aluno em uma disciplina. Algoritmos de ML podem aprender por alterações de parâmetros (como pesos lineares) ou estruturas de aprendizagem (como árvores) (SILVA E, 2022).

Nos últimos anos o ML vem se destacando como solução tecnológica importante na área da saúde, possibilitando a análise de grandes bases de dados para extração de conhecimento em tempo recorde, promovendo avanços no aprimoramento de diagnósticos e a previsão de eventos clínicos, como em casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) (BEZERRA & ALMEIDA, 2024). A SRAG é uma condição médica séria que envolve a deterioração rápida dos sintomas respiratórios, frequentemente levando a complicações graves e até mesmo risco de morte. Esta síndrome pode ser desencadeada por várias causas, incluindo infecções virais como Influenza A (H1N1) e SARS-CoV-2 (COVID-19), entre outros, bem como infecções bacterianas (LEE et al., 2024).

Neste sentido, modelos preditivos desenvolvidos com ML podem identificar pacientes que apresentam maior risco de mortalidade por SRAG, fornecendo suporte para intervenções que visam à redução de mortes (MOULAEI et al., 2022). O conhecimento gerado através do ML pode auxiliar no prognóstico por SRAG, ajudando profissionais da saúde a alocar melhor os recursos materiais e humanos no tratamento de pacientes com maior chance de óbito. O ML ajuda a prever a gravidade e a progressão de doenças como a SRAG, ao analisar grandes conjuntos de dados de registros eletrônicos de saúde, avaliações clínicas e imagens. Esses modelos apoiam a tomada de decisões em várias etapas, desde a triagem até a alta hospitalar, garantindo que recursos como leitos de UTI, ventiladores e equipe médica sejam utilizados de maneira eficiente para priorizar os pacientes mais necessitados e melhorar os resultados gerais dos pacientes (DEBNATH et al., 2020), (VAN DER SCHAAR et al., 2021). Além da geração dos modelos, a criação de mecanismos para disponibilizar os modelos para os profissionais de saúde é importante, conforme verificado nos estudos de Aznar-gimeno et al. (2021), Woo et al. (2021), Hu et al., (2021) e Kar et al. (2021).

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é demonstrar a aplicação prática do ML na área da saúde, através da geração de modelos preditivos de óbito e cura para pacientes com SRAG registros nas bases de dados de SRAG de 2020 e 2021 do Ministério da Saúde disponível no portal openDataSUS. Mantida pela Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS), essas bases de dados destacam-se como um importante repositório de dados de pacientes hospitalizados por SRAG. Os registros disponibilizados são capitados pelo Sistema de Informação da Vigilância Epidemiológica da Gripe (SIVEP-Gripe), que mantém o registro dos casos e óbitos por SRAG no Brasil, causada por vírus como SARS-Cov-2, Influenza A(H1N1), entre outros (BRASIL, 2024). Por fim, cabe destacar que as bases de dados SRAG do openDataSUS são publicadas nos formatos *Creative Commons Attribution (cc-by)* e *Open Data* que permite que outras pessoas compartilhem, remixem, adaptem e criem obras derivadas (BRASIL, 2024). Outro fator importante é que todos os registros disponíveis são anonimizados de acordo com as diretrizes da Lei N° 13.709 de 14 de agosto de 2018 que trata da Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD) do Brasil. Assim, nenhum indivíduo registrado na base de dados pode ser identificado.

## METODOLOGIA

A metodologia CRISP-DM é um framework amplamente reconhecido e utilizado para guiar projetos de *Data Mining* (DM) e ML, contendo um ciclo de seis fases não rígidas movendo-se para frente e para trás entre diferentes fases sempre que necessário. O resultado de cada fase determina qual fase, ou atividade em particular de uma fase, deve ser executada em seguida (CHAPMAN et al., 2000). A aplicação da metodologia CRISP-DM foi realizada conforme adaptação feita por Sena (2021), onde será guiada somente pelos objetivos e atividades de cada fase.

A primeira fase de Compreensão do Negócio (*Business Understanding*) concentrou-se em entender os objetivos e requisitos do projeto a partir de uma perspectiva do negócio. Nesta etapa também são avaliados os riscos e critérios técnicos para o projeto, os potenciais benefícios com projeto e por fim as metas e critérios de sucesso para o projeto. Ferramentas para a análise, manipulação, transformação e criação dos modelos foram definidas nesta etapa.

Na segunda fase de Compreensão dos Dados (*Data Understanding*), o conjunto de dados foi examinado em profundidade, considerando todos os seus aspectos relevantes. Foram coletados dados de crianças de 0 a 3 anos de idade. A base de dados dispõe de 86 atributos, subdivididos em outros atributos complementares ao atributo original, como por exemplo o atributo “41-Data da vacinação” que possui mais 6 campos adicionais como “Se < 6 meses: a mãe recebeu a vacina” e “Se sim, data”. O openDataSUS disponibiliza os dados na extensão .CSV. Assim, para explorar os dados foi utilizado o MySQL Workbench em conjuntos através da linguagem de programação SQL (*Structured Query Language*).

A terceira fase de Preparação dos Dados (*Data Preparation*) teve como objetivo transformar os atributos de modo a tornar o conjunto de dados adequado para aplicação dos algoritmos de ML. Após análises e testes foram removidos 100 atributos da base de dados de 2021 e 95 da base de 2020, sendo na grande maioria atributos referentes a códigos internos de identificação e datas, pois não são de interesses da pesquisa. Foram criados novos atributos a partir da atributos existentes como por exemplo o atributo NU\_IDADE\_N (Idade do paciente), DIAS\_UTI (Nº de dias na UTI), entre outros. Para melhorar a interpretação dos modelos e facilitar a manipulação dos atributos e instancias na ferramenta de ML foi necessário transformar os dados da base de dados de acordo com o seu significado no dicionário de dados. Por exemplo para o atributo TOSSE o dado 1 foi transformado para Sim e o 2 para Não. Após a manipulação dos dados no MySQL foi gerado via comando SQL um arquivo da base de dados na versão .CSV que pode ser lido pelo software Weka. Após carregamento da base de dados no Weka, a mesma foi salva no formato ARFF, padrão do Weka. Vale destacar que o Weka também permite a manipulação de atributos e instâncias. As bases de dados de 2020 e 2021 foram unificadas para facilitar a manipulação e seleção dos registros, com isso o atributo ANO foi criado para identificar o registro neste contexto. Depois disso as bases de dados foram divididas de acordo com os grupos de pacientes alvo da pesquisa e carregadas no Weka. Após este processo, o filtro *AttributeSelection* no Weka foi utilizado para selecionar os melhores atributos, onde foram utilizados os recursos *CorrelationAttributeEva* e *ClassifierAttributeEval* com o método *Ranker* que busca selecionar quais os melhores atributos de acordo com os algoritmos selecionados para o projeto. Também foi utilizado o filtro *NominalToBinary* no Weka para converter os atributos nominais em atributos numéricos binários em uma versão separada da base de dados. Essa conversão foi necessária para utilização de alguns algoritmos que não lidam com dados nominais, como o algoritmo XGBoost. Após o período de testes com os filtros foram descartados atributos que não se comportarem bem com os algoritmos escolhidos.

Na quarta fase de Modelagem (*Modeling*) os algoritmos de ML foram estudados e aplicados nas bases de dados preparadas na etapa anterior, com a finalidade gerar modelos preditivos de acordo com os objetivos da pesquisa. Compreende todo o processo de geração, validação, interpretação e seleção dos melhores modelos. Nesta fase foram desenvolvidas atividades com foco na escolha das técnicas de modelagem que serão utilizadas, a definição de métricas para aprovação dos modelos e a construção dos modelos com testes nos hiperparâmetros dos algoritmos. Já na quinta fase de Avaliação (*Evaluation*) os modelos são avaliados e aprovados, analisando se os conhecimentos adquiridos com estes modelos serão utilizados na etapa de implantação. Essas duas fases foram executadas de forma concomitante, uma vez que a geração e avaliação dos modelos fazem parte do mesmo processo.

Os algoritmos *Random Forest* (RF), *Logistic Regression* (LR), *XGBoost* (*Extreme Gradient Boosting*) e *KNN* (*K-Nearest Neighbors*) foram escolhidos, devido a combinação comum entre estes quatro algoritmos em estudos do gênero, como nos estudos de Moulaei et al. (2022), Schönig et al. (2021) e Kivrak et al. (2021).

### **Random Forest (Floresta Aleatória)**

O *Random Forest* (RF), ou Floresta Aleatória, consiste em um classificador composto por múltiplas árvores, ou seja, uma floresta de decisão (SENA, 2021). Neste algoritmo as árvores de decisão são construídas e representadas através de dois elementos: nós e os ramos que conectam nós. Para tomada de uma decisão, o fluxo começa no nó raiz, navega através dos ramos até chegar a um nó folha. Cada nó da árvore denota um teste de um atributo, e os ramos denotam os possíveis valores que o nó pode assumir. Durante o processo de formação da árvore, também conhecido por treinamento ou aprendizado, leva-se em consideração a homogeneidade das classes para cada divisão do nó. Basicamente, o algoritmo avalia o ganho de informação dos atributos para separação das amostras presentes no conjunto de dados destinado ao treinamento (LIMA et al., 2021). Por exemplo, durante a construção do modelo, três classificadores (árvores) serão construídos e uma nova instância será rotulada por cada classificador. Se os três classificadores cometerem erros distintos, quando o primeiro estiver errado, é possível que o segundo e terceiro sejam corretos, de modo que a combinação das hipóteses por votação possa classificar corretamente. Essa técnica é conhecida como *bagging* também conhecida como Agregação de *Bootstrap* e é uma abordagem utilizada em modelo de regressão ou classificação para melhorar a estabilidade e a precisão dos modelos (HU et al., 2021), (SILVA & NETO, 2022)

Uma das principais qualidades da *Random Forest* é a facilidade de medir a importância relativa de cada atributo para a previsão, calculando esse valor automaticamente para cada atributo após o treinamento, quanto maior o valor, mais importante é o atributo. Para isso o algoritmo utiliza a Impureza de Gini (GI) que é um índice para avaliação de atributos na separação de amostras com o mesmo rótulo, ou seja, busca-se a homogeneidade das classes para compor um nó. O índice avalia todos os preditores selecionados aleatoriamente para construir a árvore e escolherá aquele com maior grau de homogeneidade entre as amostras (LIMA et al., 2021). A Figura 1 demonstra o funcionamento de uma floresta aleatória no processo de classificação. Destaca-se que resultado final é obtido pela média (no caso de regressão) ou pela maioria dos votos (no caso de classificação) das previsões de todas as árvores.

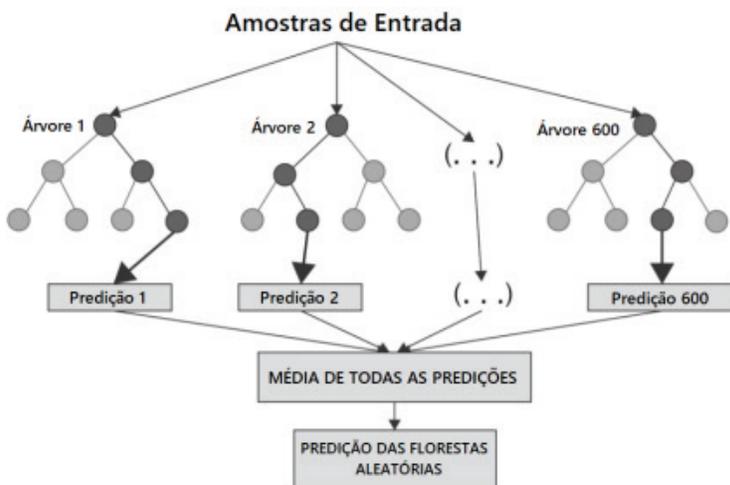


Figura 1 - Exemplo do Esquema da Floresta Aleatória

Fonte: SILVA E (2022)

### Logistic Regression (Regressão Logística)

O *Logistic Regression* (RL), ou Regressão Logística, é um modelo linear para classificação. Também é conhecida na literatura como regressão *logit*, classificação de entropia máxima ou classificador log-linear. A regressão logística binária representa os casos de regressão logística em que a variável dependente é binária ou dicotômica, isto é, assume apenas dois valores (SILVA & NETO, 2022). A regressão logística é usada para estimar a associação de uma ou mais variáveis independentes (preditoras) com uma variável dependente binária (resultado). Uma variável binária (ou dicotômica) é uma variável categórica que só pode assumir dois valores ou níveis diferentes, como “morto” ou “vivo” por exemplo. A regressão logística pode ser usada para estimar a probabilidade (ou risco) de um resultado específico, de acordo com os valores das variáveis independentes. Destaca-se que esta probabilidade é dada por valores entre 0 a 1, ou seja, 1 para “vivo” e 0 para “morto” no exemplo citado (SCHOBER e VETTER, 2021).

A fórmula geral para a regressão logística aplica a função sigmoide à combinação linear das variáveis independentes, o que permite transformar a saída linear em uma probabilidade entre 0 e 1. A Equação 1 a seguir apresenta a fórmula da regressão logística para problemas de classificação binária:

$$P(Y = 1) = \frac{1}{1 + e^{(\beta^0 + \beta^1 X^1 + \beta^2 X^2 + \dots + \beta_K X^K)}} \quad (1)$$

onde  $P(Y=1)$  representa a probabilidade do evento de interesse ocorrer,  $\beta^0$  é o intercepto,  $\beta^1, \beta^2, \dots, \beta^k$  são os coeficientes das variáveis independentes  $X^1, X^2, \dots, X^k$ , e  $X^1$  e  $e$  é a base do logaritmo natural, também chamado de número de Euler que corresponde ao número de 2.71 (HOSMER et al., 2013). A Figura 2 apresenta um exemplo de classificação regressão logística.

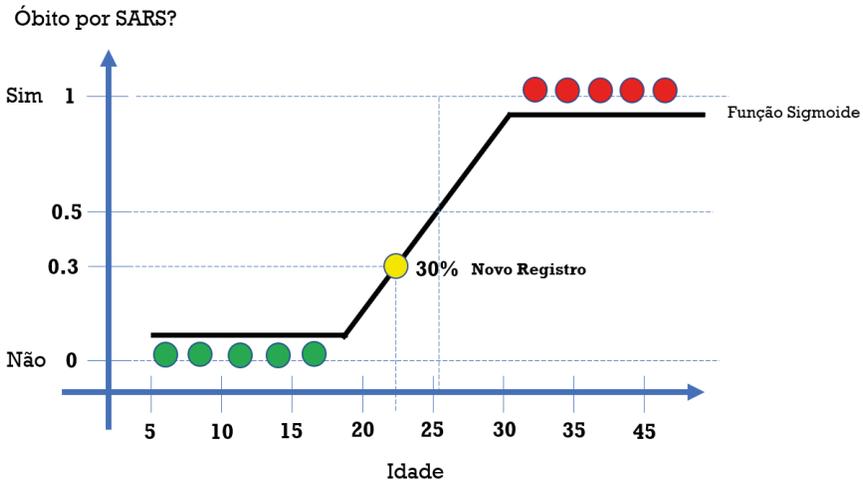


Figura 2 - Exemplo de Modelo de Classificação com Regressão Logística

Fonte: Autor

### **KNN – K-Nearest Neighbors (K Vizinhos Mais Próximos)**

O algoritmo *K-Nearest Neighbors* (KNN), ou K-Vizinhos Mais Próximos, é um método de ML amplamente utilizado em problemas de classificação binária devido à sua simplicidade e eficácia, esse algoritmo também suporta classificação não binária e a regressão. O princípio fundamental do KNN é a determinação da classe de um ponto de dados com base nas classes dos seus vizinhos mais próximos em um espaço multidimensional. Em um problema de classificação binária, cada ponto de dados é rotulado com uma das duas classes possíveis, e o objetivo do KNN é prever a classe de novos pontos de dados com base nas observações anteriores. Para implementar o KNN, primeiro é necessário escolher um valor para K, que representa o número de vizinhos a serem considerados (MLADENOVA & VALOVA, 2023). Em seguida, o algoritmo calcula a distância entre o ponto de dados a ser classificado e todos os pontos de dados no conjunto de treinamento. A distância pode ser qualquer medida métrica, como a distância *manhattan*, distância de *minkowski* e a distância euclidiana, esta última sendo uma das mais comuns (SILVA E, 2022). Uma vez calculadas as distâncias, o KNN identifica os K pontos de dados mais próximos e determina a classe predominante entre esses vizinhos (MLADENOVA & VALOVA, 2023). A Figura 3 a seguir exemplifica este processo:

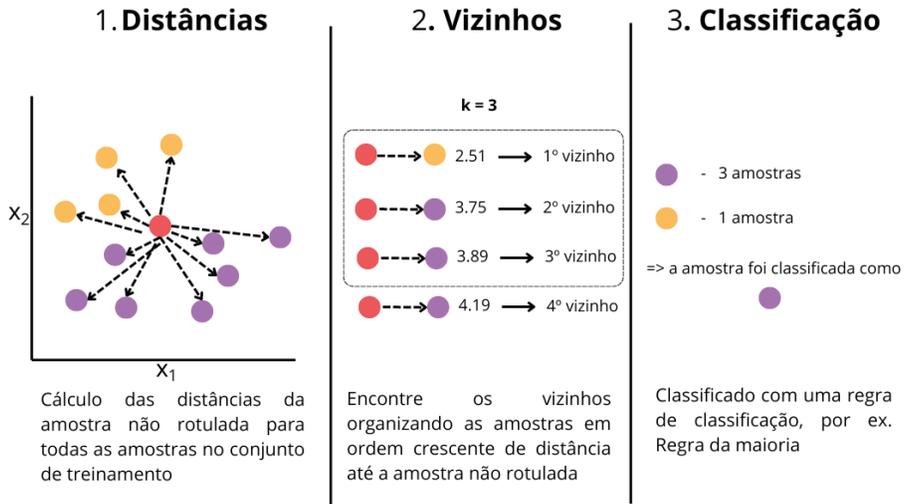


Figura 3 - Etapas da Classificação com o KNN

Fonte: Mladenova & Valova, 2023 (traduzido)

## XGBoost – Extreme Gradient Boosting (Aumento de Gradiente Extremo)

O XGBoost - *Extreme Gradient Boosting*, ou Aumento de Gradiente Extremo, é um algoritmo de ML baseado em árvores de decisão, projetado para ser altamente eficiente e escalável. Ele utiliza uma abordagem de *boosting*, onde múltiplas árvores são construídas de forma sequencial, cada uma corrigindo os erros da anterior (CHEN & GUESTRIN, 2016). O XGBoost é um algoritmo de árvore de decisão iterativo com múltiplas árvores de decisão. Cada árvore está aprendendo com os resíduos de todas as árvores anteriores. Em vez de adotar a maioria dos resultados de saída de votação no algoritmo *Random Forest*, a saída prevista do XGBoost é a soma de todos os resultados (WANG et al., 2019). O XGBoost cria um modelo que é a soma de várias árvores de decisão a partir da Fórmula 2 a seguir:

$$\hat{y}_i = \sum_{k=1}^n f_k(x_i), f_k \in F(2)$$

onde  $F$  significa o espaço de árvores de regressão,  $f_k$  corresponde a uma árvore, então  $f_k(x_i)$  é o resultado da árvore  $k$ , e,  $\hat{y}_i$  é o valor previsto da  $i$ -ésima instância (WANG et al., 2019). O principal objetivo do XGBoost é minimizar uma função de custo regularizada que inclui tanto a função de perda, que mede a discrepância entre as previsões do modelo e os valores reais, quanto termos de regularização que penalizam a complexidade do modelo para evitar o *overfitting*. Essa regularização adicional diferencia o XGBoost de outros algoritmos de *boosting*, tornando-o mais robusto e capaz de generalizar melhor para novos dados (WANG et al., 2019). A função objetivo é dada pela Equação 3 a seguir:

$$Obj(\theta) = L(\theta) + \Omega(\theta)(3)$$

onde  $L(\theta)$  é a função de perda que mede a diferença entre as previsões ( $\hat{y}_i$ ) e o valores reais (WANG et al., 2019). Por fim, para a classificação binária a função de perda comum é a *log-loss* dada pela Equação 4 a seguir, onde  $l(y_i, \hat{y}_i)$  é a perda logarítmica entre o valor real e a previsão ( $\hat{y}_i$ ) (WANG et al., 2019).

$$L(\theta) = \sum_{i=1}^n l(y_i, \hat{y}_i)(4)$$

A Figura 4 a seguir ilustra o processo de funcionamento do algoritmo XGBoost, destacando como ele combina múltiplas árvores de decisão para formar um modelo robusto e preciso.

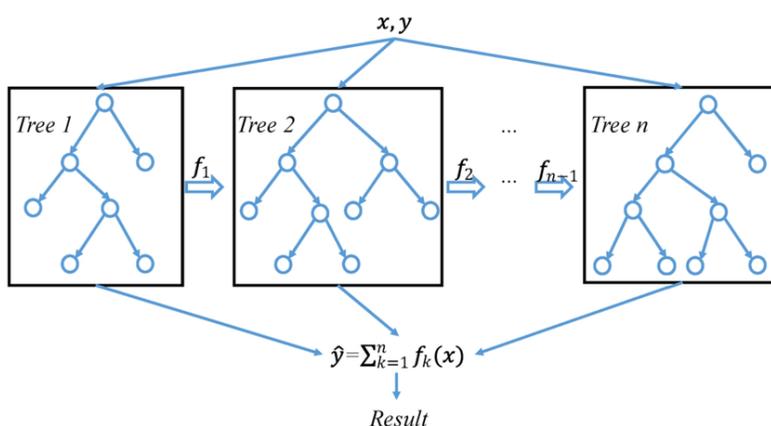


Figura 4 - Arquitetura do XGBoost

Fonte: Wang et al. (2019)

No topo da imagem, as variáveis de entrada  $x$  (características) e  $y$  (rótulos) são fornecidas ao modelo. O processo começa com a construção da primeira árvore de decisão (*Tree 1*). A função de predição desta árvore é denotada por  $f_1$ . Em seguida a segunda árvore (*Tree 2*) é construída. Ela se baseia nos resíduos ou erros das previsões da primeira árvore e sua função de predição é  $f_2$ . Esse processo continua sucessivamente, com cada árvore tentando corrigir os erros das previsões das árvores anteriores. As previsões de todas as árvores são combinadas para formar uma predição final. A fórmula que representa essa combinação é dada pela Equação 1 e a predição final  $\hat{y}_i$  é a soma das predições de todas as árvores (WANG et al., 2019).

## Métricas de Avaliação na Fase de Modelagem e Avaliação

O processo de Validação Cruzada (*Cross-Validation*) foi usado para avaliar o desempenho e o erro geral de modelos. A validação cruzada é o procedimento de reamostragem usado para avaliar modelos de ML em uma amostra de dados. O procedimento possui um único parâmetro denominado  $k$  que expressa o número de grupos para dividir uma determinada amostra de dados. Na validação cruzada 10 vezes ( $n^\circ$  de *folds* padrão), os modelos são treinados e testados dez vezes diferentes e, em seguida, as métricas médias de desempenho (ou seja, acurácia, precisão e assim por diante) são estimadas no final do processo (KIVRAK et al., 2021). Deve-se notar que a validação cruzada é uma técnica de validação amplamente aplicada e preferida em ML e DM devido à diferença do método convencional de instância dividida. Este método ajuda a reduzir o desvio no erro de previsão, aumenta o uso de dados tanto para treinamento quanto para validação, sem sobreajuste ou sobreposição entre os dados de teste e validação e evita que os dados sejam divididos arbitrariamente, que podem causar viés do resultado do modelo (MOULAEI et al., 2022). Para a validação cruzada de treinamento e testes dos modelos foram utilizadas 20 interações (*folds*) de acordo com achados na literatura (YU et al., 2021), (ZAREI et al., 2022), (AN et al., 2020), (SUN et al., 2021), (MAHDAVI et al., 2021). Assim, foram documentados os modelos gerados com as sementes que obtiveram o melhor desempenho.

Foram definidas métricas de avaliação dos modelos com base na literatura atual sobre o tema. A avaliação do desempenho do modelo é uma parte fundamental da construção de um modelo de ML eficaz. Para avaliar os modelos preditivos, são aplicadas várias métricas, sendo as mais comuns a acurácia, especificidade, precisão, sensibilidade e critérios do gráfico da curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*). Por fim, esses critérios de avaliação são comparados para determinar o modelo de predição com melhor (MOULAEI et al., 2022). Para calcular estas métricas de desempenho, é preciso obter a matriz de confusão do modelo gerado. A matriz de confusão é uma tabela usada para avaliar o desempenho de um modelo de classificação, exibindo o número de previsões corretas e incorretas, organizadas de acordo com as classes reais e previstas. Ela permite a visualização dos acertos (VP - Verdadeiros Positivos e VN – Verdadeiros Negativos) e dos erros (FP - Falsos Positivos e FN – Falsos Negativos). Na matriz de confusão o VN corresponde ao número de resultados negativos classificados corretamente, VP é o número de resultados positivos classificados corretamente, FP é o número de resultados negativos classificados incorretamente como positivos e FN é o número de resultados positivos classificados incorretamente como negativos (BÁRCENAS et al., 2022), (BOOTH et al., 2021). A Tabela 1 a seguir apresenta o formato da matriz de confusão e a posição dos acertos e erros.

		Valor Previsto	
		Óbito (+)	Cura (-)
Valor Real	Óbito (+)	VP	FN
	Cura (-)	FP	VN

Nota: VP - Verdadeiros Positivos, VN – Verdadeiros Negativos,

FP - Falsos Positivos e FN – Falsos Negativos

Tabela 1 - Modelo da Matriz de Confusão

Fonte: Moulaei et al. (2022)

As métricas de acurácia, precisão, sensibilidade e especificidade dos modelos são calculadas a partir dos dados da matriz de confusão, conforme destacado na Tabela 2 a seguir.

Critérios de Desempenho	Cálculo
Acurácia	$(VP + VN) / (VP + VN + FP + FN)$
Precisão	$VP / (VP + FP)$
Sensibilidade (Recall)	$VP / (VP + FN)$
Especificidade	$VN / (VN + FP)$
F1-Score	$2 * \text{Precisão} * \text{Sensibilidade} / (\text{Precisão} + \text{Sensibilidade})$

Nota: VP - Verdadeiros Positivos, VN – Verdadeiros Negativos,

FP - Falsos Positivos e FN – Falsos Negativos

Tabela 2 - Cálculos dos Critérios de Desempenho

Fonte: Moulaei et al. (2022) e Bárcenas & Fuentes-García (2022)

A acurácia representa a porcentagem total de acertos de um modelo, entretanto essa métrica nem sempre é a melhor para avaliar modelos de classificação, especialmente em casos de bases de dados desbalanceadas. Em situações onde uma classe é significativamente mais frequente que outra, a acurácia pode ser enganosa, não refletindo o verdadeiro desempenho do modelo para todas as classes, induzindo o analista a acreditar que o modelo é bom ao prever corretamente a classe A, enquanto comete muitos erros ao prever a classe B. Assim, é importante considerar outras métricas além da acurácia, como a precisão, a sensibilidade e a métrica F1-score. A precisão mede a capacidade do modelo de evitar falsos positivos, indicando o percentual de acertos entre todas as instâncias classificadas como positivas. A sensibilidade, ou *recall*, mostra a capacidade do modelo de identificar corretamente todas as instâncias positivas, indicando o percentual de acertos entre todas as instâncias que são de fato positivas. A métrica F1-Score combina precisão e sensibilidade em uma média harmônica, proporcionando uma avaliação equilibrada do desempenho do modelo, especialmente em base de dados desbalanceadas (SILVA & NETO, 2022).

Outra métrica importante é curva ROC e o cálculo da AUC (*Area Under the Curve*). A curva ROC mensura a capacidade de predição do modelo por meio das taxas de sensibilidade e especificidade, representando essas métricas em um gráfico. A AUC quantifica a área total sob a curva ROC e fornece uma única métrica para o desempenho do modelo, independente do limiar de decisão específico. Essa técnica serve para visualizar, organizar e classificar o modelo com base na performance preditiva. Em termos práticos, quanto mais próxima do canto superior esquerdo do gráfico a curva estiver, melhor é o desempenho do modelo (SILVA & NETO, 2022). A AUC é o resultado da integração de todos os pontos durante o trajeto da curva, e computa simultaneamente a sensibilidade e a especificidade, sendo um estimador do comportamento da acurácia global do teste. Ela fornece uma estimativa da probabilidade de classificação correta de um sujeito ao acaso (acurácia do teste); por exemplo, uma AUC de 0,7 reflete uma chance de classificação correta de 70% do caso. De forma geral, os valores da AUC são interpretados como: 0.5-0.6 (péssimo), 0.6-0.7 (ruim), 0.7-0.8 (pobre), 0.8-0.9 (bom), > 0.9 (excelente) (POLO & MIOT, 2020). Por fim, destaca-se que se encontra na literatura diversos autores (KIVRAK et al., 2021), (SILVA & NETO, 2022), (FERNANDES et al., 2021), (VEPA et al., 2021), (BÁRCENAS et al., 2022), (SUN et al., 2021), (BENNETT et al., 2021), (ARAÚJO et al., 2022) que utilizaram as métricas de acurácia, sensibilidade, especificidade, precisão, F1-Score e a AUC-ROC na avaliação dos seus modelos de predição de óbito por SRAG. Neste contexto, conforme Bennett et al. (2021) e Moulaei et al. (2022) foi considerado a AUC-ROC como métrica primária e a sensibilidade, especificidade, acurácia, precisão e F1-Score como métricas secundárias para a avaliação e definição do melhor modelo.

Analisar a importância dos atributos em modelos de predição é essencial para compreender quais fatores influenciam mais os resultados. A avaliação da importância dos atributos em um modelo de *Random Forest* utiliza a redução do índice de Gini para determinar quais variáveis contribuem mais significativamente para a predição dos resultados, destacando os fatores mais influentes na classificação (MOSLEHI et al., 2022), (BÁRCENAS & FUENTES-GARCÍA, 2022). Para obter o índice de Gini foi necessário a utilizado na biblioteca R, utilizada através da interface Weka, uma vez que a biblioteca original do Weka não gera o índice diretamente. Para isso o script foi programado e executado:

1. `library(randomForest)`
2. `data <- rdata`
3. `data_sem_missing <- na.omit(data)`
4. `modelo <- randomForest(EVOLUCAO ~ ., data = data_sem_missing)`
5. `importancia <- importance(modelo)`
6. `print(importancia)`

A representação do índice em gráfico é comum na literatura (KUMARAN et al., 2022), (MOSLEHI et al., 2022), (BÁRCENAS & FUENTES-GARCÍA, 2022), (ZHAO et al., 2022) (AZNAR-GIMENO et al., 2021), (HELDT et al., 2021) e facilita a compreensão. Assim os índices Gini dos modelos com *Random Forest* foram demonstrados por gráficos.

## Experimento de Balanceamento na Fase de Modelagem e Avaliação

Foi identificado um desbalanceamento nos dados. Moulaei et al. (2022) destaca que uma das principais barreiras aos algoritmos de ML é o problema de dados desequilibrados. Isso ocorre quando as classes não são categorizadas igualmente. Conseqüentemente, os modelos treinados geralmente fornecem resultados preconceituosos em relação à classe dominante, causando uma possível tendência em categorizar novas observações para a classe majoritária. Analisando os estudos da RI verificou-se que os autores abordaram o desequilíbrio de formas distintas. Azgnar-Gimeno et al. (2021), Moulaei et al. (2022), Heldt et al. (2021), Zarei et al. (2022), Araújo et al. (2022) e Vepa et al. (2021) utilizaram a Técnica de Sobreamostragem Minoritária Sintética (SMOTE) para equilibrar o conjunto de dados, essa técnica consiste na criação de instancias sintéticas da classe minoritária com base nos padrões conhecidos dos dados da classe minoritária, na mesma proporção da classe majoritária (ARAÚJO et al., 2022), (MOULAEI et al., 2022). Já os estudos de Li J et al. (2022), Schöning et al. (2021), Booth et al. (2020), Gao et al. (2020) e An et al. (2020) utilizaram a técnica de ponderação de classes por pesos, afim de ajustar automaticamente os pesos das instâncias de forma que cada classe tenha uma importância igual durante o treinamento do modelo (BOOTH et al., 2020), (LI J et al., 2022). Por fim, autores como Woo et al. (2022), Yadaw et al. (2020), Bottrighi et al. (2022), Li Y et al. (2020), Yu L et al. (2021) e Bárcenas & Fuentes-García (2022) assumiram que os dados estavam desequilibrados e não lidaram com balanceamento. Assim, foi realizado um experimento de balanceamento com diferentes técnicas com o objetivo identificar possíveis melhorias no desempenho do modelo e as implicações práticas do balanceamento conforme literatura atual. O experimento foi realizado com o algoritmo *Random Forest*.

A Tabela 3 a seguir demonstra que o resultado com o balanceamento com o SMOTE possui um desempenho superior na Sensibilidade e F1-Score em comparação aos demais modelos, porém com pouca variação no desempenho referente a AUC-ROC. Entretanto, esse ganho de desempenho se deve ao custo da criação sintética de muitas instâncias para a classe Óbito, que podem representar padrões inexistentes nos dados reais. Já o balanceamento por pesos realizado com o filtro *ClassBalancer* do Weka apresentou um desempenho ligeiramente superior na Sensibilidade em comparação ao modelo desbalanceado, porém com desempenho inferior referente a AUC-ROC. Neste sentido, optou-se por utilizar os dados desbalanceados uma vez que não houve grandes avanços no desempenho com o balanceamento, seguindo a abordagem de Araújo et al. (2022) que indica que estudos recentes indicaram que “o desequilíbrio não é um problema em si: os métodos de correção do desequilíbrio podem causar uma calibração deficiente e até piorar o desempenho do modelo em termos do AUC-ROC”. Ademais, a métrica F1-Score avaliada nessa pesquisa fornece uma avaliação global do modelo, independentemente da quantidade de amostras em cada uma das classes.

Métricas	Desbalanceado	Balanceado com SMOTE	Balanceado com ClassBalancer	Média	Desvio Padrão
Verdadeiros Positivos (TP)	253	6665	3523	3480	3206
Falsos Positivos (FP)	11	35	113	53	53
Verdadeiros Negativos (TN)	7066	7042	3620	5909	1983
Falsos Negativos (FN)	239	223	1213	558	567
Precisão	0.958	0.995	0.969	0.974	0.019
F1-Score	0.669	0.981	0.842	0.831	0.156
Sensibilidade	0.514	0.968	0.744	0.742	0.227
Especificidade	0.998	0.995	0.970	0.988	0.015
Acurácia	0.966	0.981	0.843	0.930	0.076
AUC-ROC	0.950	0.996	0.946	0.964	0.028

Tabela 3 - Comparativo do Experimento de Balanceamento para Desfecho Óbito Positivo

Fonte: Autor

Na metodologia CRISP-DM a fase de implantação descreve a utilização do conhecimento gerado com projeto no âmbito de uma organização. Entretanto, como se trata de um trabalho acadêmico a primeira atividade desta fase foi adaptada para proporcionar a implantação do conhecimento através de uma aplicação de software. A aplicação de software foi desenvolvida na linguagem Java com a ferramenta Apache Netbeans IDE 20 para o formato desktop, ou seja, instalável em qualquer dispositivo de PC. Foi utilizado a biblioteca de códigos do *weka.jar* para acesso a funcionalidades de carregamento, classificação e avaliação do modelo. A escolha da linguagem de programação Java deve-se ao fato da possibilidade de utilização da biblioteca *weka.jar*, além da experiência do autor com a linguagem.

## RESULTADOS

O Weka foi escolhido devido a possibilidade de utilizar as bibliotecas de ML da linguagem Python e a biblioteca do software R diretamente na interface Weka, transformando o Weka em uma ferramenta completa e com interface amigável para o usuário. A escolha da ferramenta está de acordo com a literatura sobre o tema, onde o Weka foi utilizado pelos autores Bottrighi et al. (2022) e Moulaei et al. (2022) em suas pesquisas sobre modelos preditivos de óbito por SRAG. Para realizar a manipulação e transformação dos registros da base de dados, além das ferramentas mencionadas anteriormente, foi utilizada a ferramenta MySQL Workbench da Oracle. Esta ferramenta foi selecionada devido à capacidade de programação de scripts SQL, permitindo a automação do processo. Outro ponto considerado foi a capacidade do MySQL lidar com grandes volumes de dados.

O script programado na linguagem SQL utilizado na limpeza e transformação das bases de dados de 2020 e 2021 estão disponíveis no repositório de arquivos Zenodo sob DOI – *Digital Object Identifier* no link: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10850628>. A lista de todos os atributos excluídos pode ser verificada no Script SQL de limpeza a partir de linha 366 identificados com o comentário *#limpeza de base de atributos não selecionados*. A base de dados unificada com registros de 2020 e 2021 possui um total de 291.775 pacientes da região Norte considerados elegíveis para a aplicação dos modelos, estando disponível no repositório de arquivos Zenodo sob link <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.12636544> formato ARFF que pode ser lido pelo Weka. Após este processo de limpeza e transformação a base de dados foi disponibilizada no repositório Zenodo no formato ARFF sob link <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.10879240>, contendo 9471 registros. Devido ao registro de dados nulos no atributo classe “evolução” 3.204 registros foram excluídos, assim foram considerados para a geração dos modelos 7569 registros, destes, houve 7077 casos de cura e 492 óbitos. Assim, a versão final das bases de dados definida para a fase de modelagem contou com 40 atributos.

O atributo EVOLUÇÃO foi definido como a classe, com valores de Cura ou Óbito como possíveis. Os modelos foram avaliados considerando a classe Óbito como positiva, uma vez que o objetivo do modelo preditivo é realizar a previsão de óbito de pacientes por SRAG. Referente à validação cruzada, o recurso “Random Seed for XVal” do Weka foi testado com 20 sementes diferentes para cada algoritmo e base de dados. A acurácia foi avaliada e o desvio padrão das médias foi inferior a 0,01% em todos os testes, indicando que não houve diferença estatística significativa entre eles. Os modelos documentados foram gerados com a semente 8 no algoritmo RF, 11 no RL, 8 no KNN e 20 XGBoost. A fim de obter modelos de alta confiabilidade capazes de prever com eficiência a classe óbito, foram realizados diversos experimentos em busca dos melhores hiperparâmetros de cada modelo de ML analisado. A partir desses experimentos chegou-se aos seguintes hiperparâmetros: No *Random Forest* o número de árvores na floresta foi configurado como igual a 110; no KNN o número de vizinhos foi definido como igual a 1 e função de distância *Euclidean Distance*; no XGBoost foi utilizada a biblioteca do R via interface Weka com a base de dados transformada para dados binários; por fim no *Regression Logistic* as configurações padrões do Weka foram utilizadas.

## Métricas do Modelo Preditivo

A Tabela 4 a seguir apresenta os dados da matriz de confusão dos modelos gerados.

	Predição	
<i>RandomForest</i>	Óbito (+)	Cura (-)
Óbito (+)	261	231
Cura (-)	9	7068
<i>Logistic Regression</i>	Óbito (+)	Cura (-)
Óbito (+)	106	386
Cura (-)	83	6994
KNN	Óbito (+)	Cura (-)
Óbito (+)	327	165
Cura (-)	98	6979
XGBoost	Óbito (+)	Cura (-)
Óbito (+)	139	353
Cura (-)	70	7007

Tabela 4 - Matriz de Confusão

Fonte: Adaptado de Kivrak et al. (2021)

A Tabela 5 a seguir apresenta as métricas de desempenho dos algoritmos de ML nos modelos gerados.

Algoritmos	Sensibilidade	Especificidade	Acurácia	Precisão	F1-Score	AUC-ROC
<i>Random Forest</i>	0.530	0.999	0.968	0.967	0.685	0.951
<i>Logistic Regression</i>	0.215	0.988	0.938	0.561	0.311	0.861
KNN	0.665	0.986	0.965	0.769	0.713	0.843
XGBoost	0.283	0.990	0.944	0.665	0.397	0.837

Tabela 5 - Avaliação de Desempenho dos Algoritmos

Fonte: Adaptado de Moulaei et al. (2022)

A Figura 5 a seguir apresenta os gráficos com a Curva ROC e a AUC de cada algoritmo para fins de comparação do desempenho dos modelos gerados, onde verifica-se o desempenho superior do modelo criado com o algoritmo *Random Forest*.

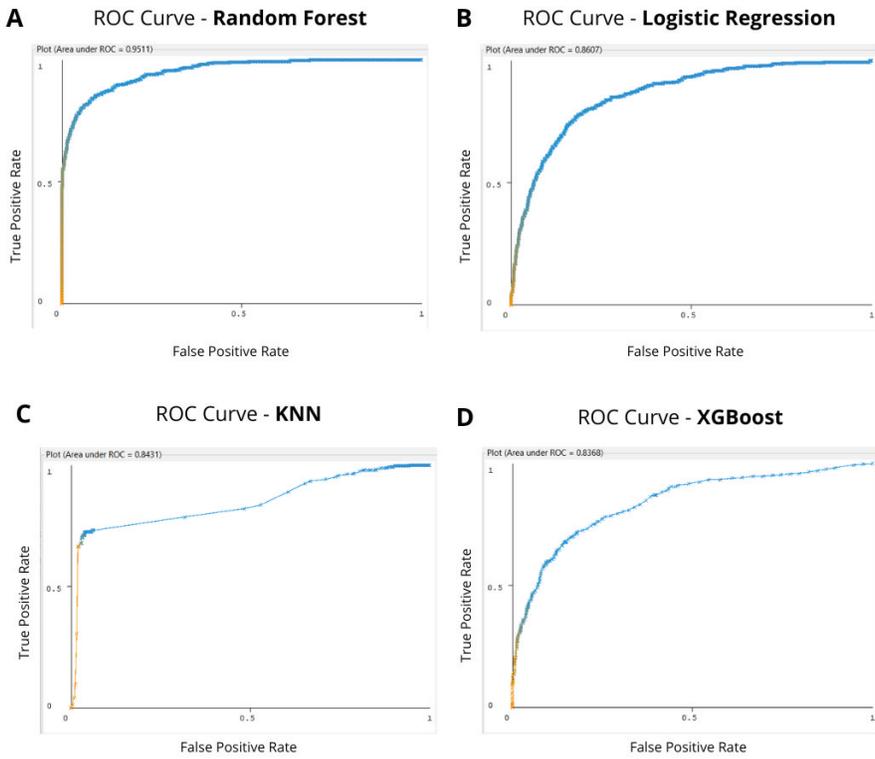


Figura 5 - AUC-ROC dos Modelos  
Fonte: Adaptado de Silva & Neto (2022)

A Figura 6 a seguir apresenta o gráfico com os atributos mais importantes considerados pelo modelo com *Random Forest*.

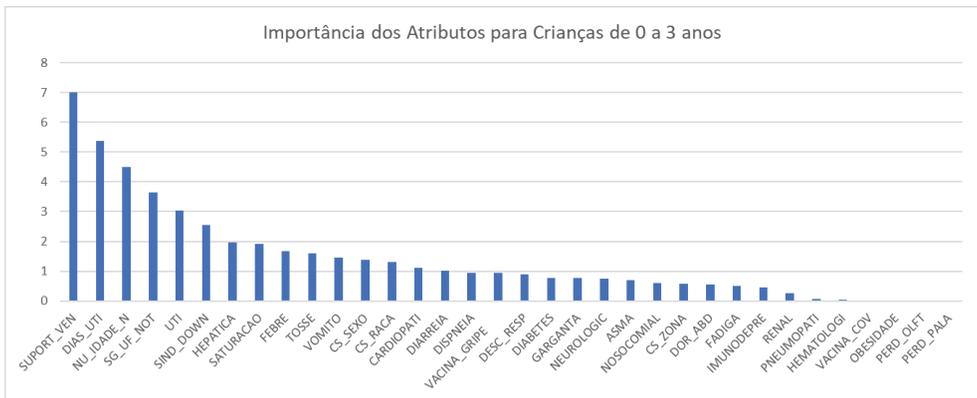


Figura 6 - Gráfico com Índice Gini  
Fonte: Adaptado de Zhao et al. (2022)

## Simulação de Cenário com o Protótipo da Aplicação

A seguir serão apresentadas imagens das funcionalidades da aplicação, que poderá ser baixada e utilizado por qualquer usuário com acesso a um computador desktop. A Figura 7 a seguir apresenta o menu inicial da aplicação com as opções.



Figura 7 - Menu Inicial da Aplicação

Fonte: Autor

No menu inicial o usuário poderá selecionar três classificadores diferentes, conforme o perfil do paciente que o mesmo deseja classificar. Destaca-se que os públicos foram definidos de acordo com os objetivos da pesquisa. Após a seleção do perfil desejado no menu inicial o sistema irá abrir o classificador para o grupo. A Figura 8 a seguir apresenta a funcionalidade de classificação sem o preenchimento das características do paciente.

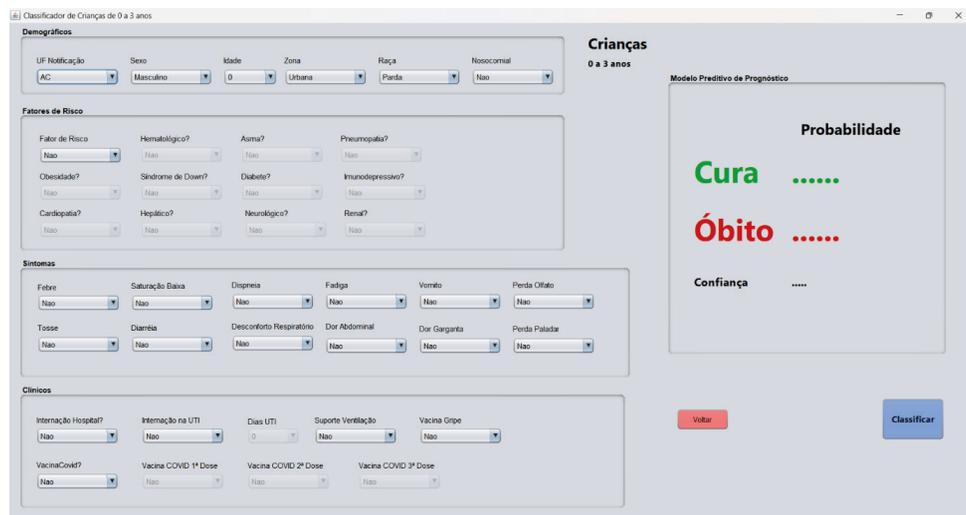


Figura 8 - Classificador

Fonte: Autor

O usuário então poderá informar as características do paciente a ser classificado através de caixas de combinação e então clicar no botão *Classificar*. Ou poderá voltar para o Menu Inicial ao clicar no botão Voltar. Durante o processo de classificação o sistema exibirá uma barra de progresso enquanto a classificação ocorre. Após o fim do processo será de apresentada a chances de óbito e cura para o paciente. A confiança mostrada é a porcentagem de acerto do modelo com base na base de dados de teste, ou seja, a acurácia do modelo. Este valor é calculado pelo aplicativo ao testar o modelo com todos os registros da base de dados, após o treinamento do modelo utilizando validação cruzada.

A Figura 9 a seguir apresenta uma simulação de cenário, com a mudança de estado da funcionalidade após a ação de classificar, onde é apresentada as probabilidades de óbito e cura previstas pelo modelo para a criança conforme as características informadas. Observa-se que neste cenário a criança não possui fatores de risco, sintomas ou foi internada. Assim, a probabilidade de cura prevista pelo modelo é alta.

Figura 9 - Classificador de Crianças com Resultado da Simulação de Cenário I

Fonte: Autor

A probabilidade é dada pelo modelo de predição após classificar o paciente com base no conjunto de características informadas na interface antes do clique do botão *Classificar*. No cenário simulado, as probabilidades de Cura e Óbito mudam conforme as características do paciente mudam. A Figura 10 a seguir apresenta a classificação para a criança na simulação de um segundo cenário, onde foi características sobre fatores de riscos e sintomas comuns a SRAG foram inseridos.

Figura 10 - Classificador de Crianças com Resultado da Simulação de Cenário II

Fonte: Autor

A simulação de cenários apresentados anteriormente demonstra a redução das chances de cura e o aumento das chances de óbito à medida que as características do paciente mudam, evidenciando a capacidade do modelo preditivo de lidar com os fatores relacionados à degradação da saúde do paciente. Por fim, o código fonte da aplicação está depositado no repositório de códigos GitHub (acesso privado) e poderá ser acessado e baixado através do link: [https://github.com/jacksonifro/Aplicacao\\_Tese\\_Doutorado.git](https://github.com/jacksonifro/Aplicacao_Tese_Doutorado.git) mediante a solicitação. Para abrir a aplicação é necessário a ferramenta Apache Netbeans IDE 20. Já o setup de instalação da aplicação para ser instalado em sistemas operacionais Windows ou Linux está disponível para download no repositório Zenodo através do DOI: <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.10951429>.

## DISCUSSÃO

Este estudo representa um avanço importante na criação de modelos de classificação capazes de identificar pacientes com maior risco de óbito por SRAG em grupos de populações vulneráveis da região Norte. Foram desenvolvidos e comparados modelos preditivos para classificação com quatro algoritmos diferentes: *Random Forest*, *Regression Logistic*, KNN e XGboost. Os modelos foram avaliados conforme as métricas de sensibilidade, especificidade, acurácia, precisão, F1-Score e AUC-ROC, sendo esta última a métrica primária de avaliação. Conforme destacado por Polo & Miot (2020), uma AUC-ROC superior a 0.90 é considerada um ótimo índice de performance de um modelo de dados quantitativos segundo sua taxa de sensibilidade (fração dos verdadeiros positivos) e a fração dos falsos positivos (1 - especificidade), segundo diferentes valores de corte do teste. Assim, as discussões a seguir consideram esse limiar para a avaliação da qualidade do modelo quanto à robustez e confiabilidade.

O modelo gerado com o algoritmo *Random Forest* oferece um desempenho robusto e confiável, alcançando uma AUC-ROC de 0.951, sensibilidade de 0.530, especificidade de 0.999, acurácia de 0.968, precisão de 0.967 e F1-Score de 0.685. Esses resultados indicam uma excelente capacidade de distinção entre classes. Embora tenha sido superado pelo KNN na sensibilidade e F1-Score com 0.665 e 0.713 respectivamente, o equilíbrio geral das outras métricas torna sua performance superior. Vale mencionar que apesar da vantagem do KNN na sensibilidade, seu desempenho é inferior ao do *Random Forest* e *Logistic Regression* na AUC-ROC, onde alcançou apenas 0.843. Outro ponto importante é que apesar do desequilíbrio das classes, verifica-se que não houve grande vantagem do KNN sobre o *Random Forest*, com uma diferença de apenas 0.028 de F1-Score. Neste contexto, o algoritmo *Random Forest* obteve o melhor desempenho geral, sendo o modelo gerado por ele o escolhido para classificação de crianças de 0 a 3 anos no aplicativo.

Estes resultados estão de acordo com a literatura sobre o tema. Heldt et al. (2021) avaliaram o desempenho dos algoritmos *Random Forest*, *Logistic Regression* e XGBoost usando um conjunto de dados de 619 pacientes ingleses com dados demográficos, clínicos e laboratoriais para prever a mortalidade por SARS-Cov-2. O *Random Forest* gerou o melhor modelo com AUC-ROC de 0.77, contra 0.70 e 0.76 do *Logistic Regression* e XGBoost respectivamente. Em outro estudo (MOULAEI et al., 2022), foram utilizados dados demográficos, clínicos, laboratórios e fatores de risco de 1.500 pacientes iranianos hospitalizados com SARS-Cov-2. Os resultados deste estudo mostraram que o modelo desenvolvido o algoritmo *Random Forest* apresentou o melhor desempenho, com AUC-ROC de 0.99 na previsão de morte do paciente, contra a AUC-ROC de outros algoritmos comparados como XGBoost (0.981), KNN (0.967), MLP (0.964), *Logistic Regression* (0.942), J48 (0.921) e *Naive Bayes* (0.920). Em um estudo com voltado para a população brasileira, Silva & Neto (2022) utilizou dados clínicos de 134.639 pacientes com SARS-Cov-2 registrados no Banco de Dados de SRAG do openDataSUS entre janeiro e setembro de 2021 para avaliar o desempenho dos algoritmos *Logistic Regression*, *Decision Tree* e *Random Forest* na criação de modelos preditivos de óbito. Neste estudo o *Random Forest* foi superior alcançando AUC-ROC de 0.75, acurácia de 0.77, precisão de 0.76, f1-score de 0.69 e sensibilidade de 0.63 para classe óbito. O algoritmo *Logistic Regression* alcançou uma AUC-ROC de 0.73 e o *Decision Tree* de 0.74, sendo inferiores ao *Random Forest* nessa e nas demais métricas, exceto pelo *Decision Tree* que foi ligeiramente superior na precisão com 0.78.

O algoritmo KNN obteve bom desempenho neste estudo, alcançando AUC-ROC superior a 0.84 nos modelos. Bottrighi et al. (2022) obteve uma AUC-ROC de 0.81 com o algoritmo KNN em um estudo com 824 pacientes italianos utilizando dados demográficos, comorbidades e sintomas, sendo superado pelo algoritmo JRIP. Já os autores Altini et al. (2021) utilizou o algoritmo KNN na comparação outros algoritmos utilizando dados demográficos, clínicos e laboratoriais de 303 pacientes italianos, onde o algoritmo alcançou uma AUC-ROC de 0.778, sendo superado pelo algoritmo *Decision Tree* com AUC-ROC de 0.896.

O algoritmo *Logistic Regression* também alcançou um bom desempenho nos modelos analisados neste estudo, alcançando um AUC-ROC superior a 0.86. Estes resultados se aproximam dos encontrados por outros estudos de modelagem preditiva de óbito, como os achados pelos autores Hu et al. (2021) e Reina et al. (2022) que obtiveram um desempenho na AUC-ROC de 0.895 e 0.871 respectivamente, sendo superior na comparação com outros algoritmos como *Random Forest*, SVM, KNN e MLP. Os autores Murri et al. (2021) e Woo et al. (2021) também chegaram a desempenho superior 0.87 e 0.81 respectivamente na AUC-ROC com o *Logistic Regression*, porém estes autores trabalharam somente com um algoritmo, não comparando com outros estudos.

Também cabe destacar que o algoritmo XGBoost também alcançou um bom desempenho nos modelos analisados neste estudo, com um AUC-ROC superior a 0.83. Estes resultados estão de acordo com os achados de Aznar-Gimeno et al (2021) que obteve uma AUC-ROC de 0.821 com o algoritmo XGBoost em um estudo com 3.623 pacientes espanhóis, superando o algoritmo *Random Forest*. Também de Bárcenas & Fuentes-García (2022) que alcançou uma AUC-ROC de 0.899 com o XGboost no estudo com 220.657 pacientes mexicanos, utilizando dados demográficos, clínicos, sintomas e comorbidades, superando também o *Random Forest*. Assim, como Kar et al. (2021), onde o XGBoost superou o *Random Forest* e o *Regression Logistic* em um estudo com 2.370 pacientes indianos com dados clínicos e laboratoriais. Destaca-se que todos os estudos citados com XGBoost tiveram como objetivo central a criação e comparação de modelos preditivos de óbitos.

Com base nos índices de Gini do modelo com *Random Forest*, verificou-se que as métricas mais importantes para a predição dos modelos nos dados analisados foram os atributos SIND\_DOWN (Possui síndrome de Down), HEPATICA (Possui doença hepática) e SATURAÇÃO (Saturação abaixo de 95%), SUPORT\_VEN (Suporte a ventilação), DIAS\_UTI (Número de dias na UTI), NU\_IDADE\_N (Idade do paciente), SG\_UF\_NOT (UF de notificação) e UTI (Internação na UTI). Essas variáveis desempenham um papel crucial na decisão do modelo, indicando que a necessidade de ventilação mecânica, a internação e o tempo na UTI, e a idade do paciente são os fatores mais determinantes.

Por fim, destaca-se que quando os modelos são disponibilizados através de uma aplicação de software que pode ser utilizada no ambiente hospitalar, esse conhecimento tende a ser mais difundido e utilizado realmente, não ficando restrito somente a literatura. Assim, diante da necessidade de aplicar a teoria na prática, foi desenvolvido um protótipo de aplicação de software de fácil utilização para que profissionais de saúde pudessem utilizar os modelos preditivos no ambiente hospitalar.

Referente as limitações deste estudo destacam-se: a dificuldade de generalização do uso dos modelos para outros grupos populacionais, como por exemplo idosos, uma vez que os modelos foram treinados para classificação de grupos específicos; O desequilíbrio identificado entre as classes de óbito e cura, com um número muito maior de pacientes

curados do que falecidos, o que pode afetar a capacidade dos modelos em prever corretamente a classe minoritária (óbito), levando a uma tendência de superestimar a classificação da classe majoritária (cura); A falta de testes de aceitação do protótipo da aplicação pelos profissionais de saúde, uma vez a implementação bem-sucedida de uma nova tecnologia no ambiente clínico pode ser influenciada por uma série de fatores como usabilidade e a integração com sistemas existentes; E por fim o fato de outras técnicas de ML não terem sido consideradas para uma comparação mais abrangente, ainda que o estudo tenha utilizado os algoritmos mais utilizados em estudos do tipo.

## CONCLUSÃO

O estudo forneceu modelos de predição de óbito baseado nos bancos de dados SRAG do Ministério da Saúde do Brasil para o público infantil da região Norte do Brasil, bem como, um software para a utilização destes modelos, afim de auxiliar os profissionais de saúde na identificação precoce de casos graves de SRAG. Considera-se que o conhecimento gerado tem potencial para fornecer aos agentes de saúde conhecimento prévio acerca de prognósticos de pacientes mais graves e assim alocar melhor os recursos humanos e/ou materiais para o tratamento destes. Esta alocação mais eficaz de recursos é importante em regiões de baixa e média renda, onde estes recursos são escassos e periodicamente registram aumento dos índices de casos de SRAG, como por exemplo o período de queimadas na região Norte.

## REFERÊNCIAS

ALTINI, N., BRUNETTI, A., MAZZOLENI, S., MONCELLI, F., ZAGARIA, et al. **Predictive Machine Learning Models and Survival Analysis for COVID-19 Prognosis Based on Hematochemical Parameters.** *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(24), 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s21248503>

AN, C., LIM, H., KIM, D. W., CHANG, J. H., CHOI, Y. J., et al. **Machine learning prediction for mortality of patients diagnosed with COVID-19: a nationwide Korean cohort study.** *Scientific reports*, 10(1), 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75767-2>

AZNAR-GIMENO, R., ESTEBAN, L. M., LABATA-LEZAUN, G., DEL-HOYO-ALONSO, R., ABADIA-GALLEGO, D., et al. **A Clinical Decision Web to Predict ICU Admission or Death for Patients Hospitalised with COVID-19 Using Machine Learning Algorithms.** *International journal of environmental research and public health*, 18(16), 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph18168677>

ARAÚJO, D. C., VELOSO, A. A., BORGES, K. B. G., CARVALHO, M. D. G. **Prognosing the risk of COVID-19 death through a machine learning-based routine blood panel: A retrospective study in Brazil.** *International journal of medical informatics*. 165, 104835, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2022.104835>

BÁRCENAS, R., FUENTES-GARCÍA, R. **Risk assessment in COVID-19 patients: A multiclass classification approach.** *Informatics in medicine unlocked*, 32, 101023, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.imu.2022.101023>

BENNETT, T. D., MOFFITT, R. A., HAJAGOS, J. G., AMOR, B., ANAND, A., et al. **National COVID Cohort Collaborative (N3C) Consortium (2021). Clinical Characterization and Prediction of Clinical Severity of SARS-CoV-2 Infection Among US Adults Using Data from the US National COVID Cohort Collaborative.** *JAMA network open*, 4(7), e2116901, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.16901>

BEZERRA, J. H. S., ALMEIDA, F. M. **DESENVOLVIMENTO DE MODELOS PREDITIVOS COM MACHINE LEARNING - ANÁLISE DE DADOS PARA SAÚDE DE GESTANTES E PUÉRPERAS.** *InterSciencePlace*, 19, 2024. Disponível em: <https://www.interscienceplace.org/index.php/isp/article/view/763>

BOOTH, A. L., ABELS, E., MCCAFFREY, P. **Development of a prognostic model for mortality in COVID-19 infection using machine learning.** *Modern pathology: an official journal of the United States and Canadian Academy of Pathology, Inc*, 34(3), 522–531, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41379-020-00700-x>

BOTTRIGHI, A., PENNISI, M., ROVETA, A., MASSARINO, C., CASSINARI, A., et al. **A machine learning approach for predicting high risk hospitalized patients with COVID-19 SARS-Cov-2.** *BMC medical informatics and decision making*, 22(1), 340, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12911-022-02076-1>

BRASIL. **Ministério da Saúde. SRAG 2021 a 2024: banco de dados de Síndrome Respiratória Aguda Grave.** *OpenDataSUS*, 2024. Disponível em: <https://opendatasus.saude.gov.br/dataset/srag-2021-a-2024>

CARVALHO, A. L. C. **Aplicação de técnicas de aprendizagem de máquina na geração de índices para sistemas de busca.** 2012. 101 f. Tese (Doutorado em Informática) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/4517>

CHAPMAN, P., KHABAZZA, T., SHEARER, C. **CRISP-DM 1.0: step by step data mining guide.** SPSS, 2000. Disponível em: <https://www.kde.cs.uni-kassel.de/wp-content/uploads/lehre/ws2012-13/kdd/files/CRISPPW-0800.pdf>

CHEN, T., GUESTRIN, C. **XGBoost: A Scalable Tree Boosting System.** *In Proceedings of the 22nd ACM SIG KDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD '16). Association for Computing Machinery*, New York, NY, USA, 785–794, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>

DEBNATH, S., BARNABY, D. P., COPPA, K., MAKHNEVICH, A., KIM, E. J., et al. **Machine learning to assist clinical decision-making during the COVID-19 pandemic.** *Bioelectronic Medicine*, v. 6, p. 14, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s42234-020-00050-8>

FERNANDES, F. T., DE OLIVEIRA, T. A., TEIXEIRA, C. E., BATISTA, A. F. M., DALLA COSTA, G., et al. **A multipurpose machine learning approach to predict COVID-19 negative prognosis in São Paulo, Brazil.** *Scientific reports*, 11(1), 3343, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82885-y>

GAO, Y., CAI, G. Y., FANG, W., LI, H. Y., WANG, S. Y., et al. **Machine learning based early warning system enables accurate mortality risk prediction for COVID-19.** *Nature communications*, 11(1), 5033, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18684-2>

GROSSARTH, S., MOSLEY, D., MADDEN, C., IKE, J., SMITH, I., et al. **Recent Advances in Melanoma Diagnosis and Prognosis Using Machine Learning Methods.** *Current Oncology Reports*, v. 25, p. 635–645, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11912-023-01407-3>

HU, C., LIU, Z., JIANG, Y., SHI, O., ZHANG, X., et al. **Early prediction of mortality risk among patients with severe COVID-19, using machine learning.** *International journal of epidemiology*, 49(6), 1918–1929, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/ije/dyaa171>

HENKE, M., SANTOS, C., NUNAN, E., FEITOSA, E., SANTOS, E., et al. **Aprendizagem de Máquina para Segurança em Redes de Computadores: Métodos e Aplicações.** In: XXVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC). Anais... Manaus: Universidade Federal do Amazonas, 2018. p. 53-74. Disponível em: <https://books-sol.sbc.org.br/index.php/sbc/catalog/download/95/419/690?inline=1>

HELDT, F. S., VIZCAYCHIPI, M. P., PEACOCK, S., CINELLI, M., MCLACHLAN, L., et al. **Early risk assessment for COVID-19 patients from emergency department data using machine learning.** *Scientific reports*, 11(1), 4200, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83784-y>

HOSMER, D. W., LEMESHOW, S., STURDIVANT, R. X. **Applied Logistic Regression.** 3. ed. Wiley, 2013.

KAR, S., CHAWLA, R., HARANATH, S. P., RAMASUBBAN, S., RAMAKRISHNAN, N., et al. **Multivariable mortality risk prediction using machine learning for COVID-19 patients at admission (AICOVID).** *Scientific reports*, 11(1), 12801, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92146-7>

KIVRAK, M., GULDOGAN, E., COLAK, C. **Prediction of death status on the course of treatment in SARS-COV-2 patients with deep learning and machine learning methods.** *Computer methods and programs in biomedicine*, 201, 105951, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2021.105951>

KUMARAN, M., PHAM, T. M., WANG, K., USMAN, H., NORRIS, C. M., et al. **Predicting the Risk Factors Associated with Severe Outcomes Among COVID-19 Patients-Decision Tree Modeling Approach.** *Frontiers in public health*, 10, 838514, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.838514>

LEE, C. H., BANOEI, M. M., ANSARI, M., et al. **Using a targeted metabolomics approach to explore differences in ARDS associated with COVID-19 compared to ARDS caused by H1N1 influenza and bacterial pneumonia.** *Crit Care.*, v. 28, p. 63, 2024. doi: 10.1186/s13054-024-04843-0.

LI, Y., HOROWITZ, M. A., LIU, J., CHEW, A., LAN, H., et al. **Individual-Level Fatality Prediction of COVID-19 Patients Using AI Methods.** *Frontiers in public health*, 8, 587937, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.587937>

LI, J., LI, X., HUTCHINSON, J., ASAD, M., LIU, Y., et al. **An ensemble prediction model for COVID-19 mortality risk.** *Biology methods & protocols*, 7(1), bpac029, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/biomethods/bpac029>

LIMA, T. P. F., SENA, G. R., NEVES, C. S., VIDAL, S. A., LIMA, J. T. O., et al. **Death risk and the importance of clinical features in elderly people with COVID-19 using the Random Forest Algorithm.** *Revista Brasileira de Saúde Materno Infantil*, 21(suppl 2), 445–451, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9304202100s200007>

LOPES, M. A. **Aplicação de aprendizado de máquina na detecção de fraudes públicas.** 2019. Dissertação (Mestrado em Administração) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.12.2020.tde-10022020-174317>

MLADENOVA, T., VALOVA, I. **Classification with K-Nearest Neighbors Algorithm: Comparative Analysis between the Manual and Automatic Methods for K-Selection.** *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 14(4), 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2023.0140444>

MAHDAVI, M., CHOUBDAR, H., ZABEH, E., RIEDER, M., SAFAVI-NAEINI, S., et al. **A machine learning based exploration of COVID-19 mortality risk.** *PLoS one*, 16(7), e0252384, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252384>

MOITINHO, L. C. C., BENICASA, A. X. **Aprendizado de Máquina para o Auxílio à Localização de Pessoas em Ambientes Indoor Monitorados por Câmeras.** In: Concurso de trabalhos de conclusão de curso em sistemas de informação - simpósio brasileiro de sistemas de informação (SBSI), 19, 2023, Maceió/AL. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2023. p. 71-80. Disponível em: [https://doi.org/10.5753/sbsi\\_estendido.2023.229347](https://doi.org/10.5753/sbsi_estendido.2023.229347)

MOSLEHI, S., MAHJUB, H., FARHADIAN, M., SOLTANIAN, A. R., MAMANI, M. **Interpretable generalized neural additive models for mortality prediction of COVID-19 hospitalized patients in Hamadan, Iran.** *BMC medical research methodology*, 22(1), 339, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12874-022-01827-y>

MOULAEI, K., SHANBEHZADEH, M., MOHAMMADI-TAGHIABAD, Z., KAZEMI-ARPANAHI, H. **Comparing machine learning algorithms for predicting COVID-19 mortality.** *BMC Med Inform Decis Mak* 22, 2., 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12911-021-01742-0>

MURRI, R., LENKOWICZ, J., MASCIOCCHI, C., IACOMINI, C., FANTONI, M., et al. **A machine-learning parsimonious multivariable predictive model of mortality risk in patients with Covid-19.** *Scientific reports*, 11(1), 21136, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99905-6>

PAIXÃO, G. M. M., SANTOS, B. C., ARAÚJO, R. M., RIBEIRO, M.H., MORAES J. L., RIBEIRO, A. L. **Machine Learning in Medicine: Review and Applicability.** *Arq Bras Cardiol.* Jan;118(1):95-102, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.36660/abc.20200596>

POLO, T. C. F., MIOT, H. A. **Aplicações da curva ROC em estudos clínicos e experimentais.** *J Vasc Bras.* 19:e20200186, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1677-5449.200186>

REINA, A. R., BARRERA, J. M., VALDIVIESO, B., GAS, M. E., MATÉ, A., et al. **Machine learning model from a Spanish cohort for prediction of SARS-COV-2 mortality risk and critical patients.** *Scientific reports*, 12(1), 5723, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09613-y>

RYBCZAK, M., POPOWNIAC N., LAZAROWSKA A. **A Survey of Machine Learning Approaches for Mobile Robot Control.** *Robotics.* 2024; 13(1):12. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/robotics13010012>

SCHÖNING, V., LIAKONI, E., BAUMGARTNER, C., EXADAKTYLOS, A. K., HAUZ, W. E., et al. **Development and validation of a prognostic COVID-19 severity assessment (COSA) score and machine learning models for patient triage at a tertiary hospital.** *Journal of translational medicine*, 19(1), 56, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12967-021-02720-w>

SCHOBER, P., VETTER, T. R. **Logistic Regression in Medical Research.** *Anesthesia and analgesia*, 132(2), 365–366, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000005247>

SENA, G. R. **Modelos Preditivos de Óbito para Pacientes com COVID-19**. Tese de doutorado apresentada ao Instituto de Medicina Integral Prof. Fernando Figueira (IMIP), 2021. Disponível em: <http://higia.imip.org.br/handle/123456789/641?mode=full>

SILVA, E. A. D. **Algoritmo genético assistido por surrogate para avaliar e descobrir peptídeos contra o SARS-CoV-2**. 2022. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022. Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.571>.

SILVA, R., SILVA NETO, D. R. DA. **Inteligência artificial e previsão de óbito por Covid-19 no Brasil: uma análise comparativa entre os algoritmos Logistic Regression, Decision Tree e Random Forest**. *Saúde em Debate*, 46(spe8), 118–129, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-11042022E809>

SUN, C., HONG, S., SONG, M., LI, H., WANG, Z. **Predicting COVID-19 disease progression and patient outcomes based on temporal deep learning**. *BMC medical informatics and decision making*, 21(1), 45, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12911-020-01359-9>

VAN DER SCHAAR, M., ALAA, A. M., FLOTO, A., GIMSON, A., SCHOLTES, S., et al. **How artificial intelligence and machine learning can help healthcare systems respond to COVID-19**. *Mach Learn*, v. 110, p. 1–14, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10994-020-05928-x>

VEPA, A., SALEEM, A., RAKHSHAN, K., DANESHKHAH, A., SEDIGHI, T., et al. **Using Machine Learning Algorithms to Develop a Clinical Decision-Making Tool for COVID-19 Inpatients**. *International journal of environmental research and public health*, 18(12), 6228, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph18126228>

WANG, Y. PAN, Z., ZHENG, J., QIAN, L., MINGTAO, Li. **A hybrid ensemble method for pulsar candidate classification**. *Astrophysics and Space Science*. 364. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10509-019-3602-4>

WOO, S. H., RIOS-DIAZ, A. J., KUBEY, A. A., CHENEY-PETERS, D. R., ACKERMANN, L. L., et al. **Development and Validation of a Web-Based Severe COVID-19 Risk Prediction Model**. *The American journal of the medical sciences*, 362(4), 355–362, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.amjms.2021.04.001>

YADAW, A. S., LI, Y. C., BOSE, S., IYENGAR, R., BUNYAVANICH, S., et al. **Clinical features of COVID-19 mortality: development and validation of a clinical prediction model**. *The Lancet. Digital health*, 2(10), e516–e525, 2020. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(20\)30217-X](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(20)30217-X)

YU, L., HALALAU, A., DALAL, B., ABBAS, A. E., IVASCU, F., et al. **Machine learning methods to predict mechanical ventilation and mortality in patients with COVID-19**. *PLoS one*, 16(4), e0249285, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249285>

ZAREI, J., JAMSHIDNEZHAD, A., SHOUSHARI, H. M., HADIANFARD, M. A., CHERAGHI, M., et al. **Machine Learning Models to Predict In-Hospital Mortality among Inpatients with COVID-19: Underestimation and Overestimation Bias Analysis in Subgroup Populations**. *Journal of healthcare engineering*, 1644910, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2022/1644910>

ZHAO, Y., ZHANG, R., ZHONG, Y., WANG, J., WENG, Z., et al. **Statistical Analysis and Machine Learning Prediction of Disease Outcomes for COVID-19 and Pneumonia Patients**. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 12, 838749, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.838749>

## CAPÍTULO 2

# APLICACIÓN DEL MÉTODO DE MCCABE-THIELE MEDIANTE MODELACIÓN MATEMÁTICA EN EXCEL PARA DETERMINAR LAS ETAPAS TEÓRICAS DE UNA DESTILACIÓN BINARIA

---

*Data de submissão: 23/08/2024*

*Data de aceite: 01/10/2024*

**Wilson Patricio León Cueva**

Universidad Técnica de Machala

Ecuador-Machala

<https://orcid.org/0000-0002-5474-430X>

**Kely Romina Veintimilla San Martin**

Universidad Técnica de Machala

Ecuador-Machala

<https://orcid.org/0009-0004-9263-1914>

**Delly Maribel San Martin Torres**

Universidad Técnica de Machala

Ecuador-Machala

<https://orcid.org/0000-0002-4680-4042>

**Juliana Lisbeth Criollo Feijoo**

Universidad Técnica de Machala

Ecuador-Machala

<https://orcid.org/0000-0002-8121-0880>

**Jerling Samantha Hurtado González**

Universidad Técnica de Machala

Ecuador-Machala

<https://orcid.org/0009-0001-5771-5854>

**Cristina Vanessa Fernández Vélez**

Universidad Técnica de Machala

Ecuador-Machala

<https://orcid.org/0000-0003-1256-405X>

**RESUMEN:** Este estudio se centra en la simulación de un proceso de destilación binaria de etanol y agua utilizando un modelo desarrollado en Excel, con el objetivo de obtener etanol con una pureza del 90%. La destilación es ampliamente reconocida como uno de los métodos de separación más comunes en la industria química, y el caso del etanol-agua es especialmente relevante debido a sus aplicaciones industriales en la producción de biocombustibles y en la industria farmacéutica. Para la simulación, se partió de una alimentación con un flujo molar de 100 kmol/h, con una composición equimolar de etanol y agua. Utilizando el método de McCabe-Thiele, se elaboró un diagrama de equilibrio que representa la relación entre las composiciones de vapor y líquido en cada fase del proceso. A partir de este análisis, se calcularon las etapas teóricas necesarias y la ubicación óptima del plato de alimentación para maximizar la eficiencia de la columna de destilación. El modelo permitió obtener un destilado con un flujo molar de 75 kmol/h y un residuo de 25 kmol/h. Los resultados indicaron que se requieren 10.6 etapas teóricas para alcanzar la pureza deseada del 90% de etanol en el destilado. La simulación también destacó la importancia de las primeras etapas en

el proceso de separación, donde se observa la mayor diferencia en la composición entre las fases vapor y líquido. Este estudio demuestra la viabilidad de utilizar Excel como una herramienta accesible para la simulación de procesos de destilación, especialmente en contextos educativos y de investigación preliminar. Asimismo, se destaca la efectividad del método de McCabe-Thiele en el diseño y análisis de columnas de destilación, ofreciendo resultados que se alinean con los principios teóricos y la práctica industrial.

**PALABRAS-CLAVE:** Etanol, destilación binaria, McCabe-Thiele, diagrama de equilibrio.

## APPLICATION OF THE MCCABE-THIELE METHOD USING MATHEMATICAL MODELING IN EXCEL TO DETERMINE THE THEORETICAL STAGES OF A BINARY DISTILLATION

**ABSTRACT:** This study focuses on the simulation of a binary distillation process of ethanol and water using a model developed in Excel, with the objective of obtaining ethanol with a purity of 90%. Distillation is widely recognized as one of the most common separation methods in the chemical industry and the case of ethanol-water is especially relevant due to its industrial applications in the production of biofuels and in the pharmaceutical industry. For the simulation, we started with a feed with a molar flow of 100 kmol/h, with an equimolar composition of ethanol and water. Using the McCabe-Thiele method, an equilibrium diagram was created that represents the relationship between the vapor and liquid compositions in each phase of the process. From this analysis, the necessary theoretical stages and the optimal location of the feed plate were calculated to maximize the efficiency of the distillation column. The model allowed obtaining a distillate with a molar flow of 75 kmol/h and a residue of 25 kmol/h. The results indicated that 10.6 theoretical stages are required to achieve the desired purity of 90% ethanol in the distillate. The simulation also highlighted the importance of the first stages in the separation process, where the greatest difference in composition is observed between the vapor and liquid phases. This study demonstrates the feasibility of using Excel as an accessible tool for simulation of distillation processes, especially in educational and preliminary research contexts. Likewise, the effectiveness of the McCabe-Thiele method in the design and analysis of distillation columns is highlighted, offering results that align with theoretical principles and industrial practice.

**KEYWORDS:** Ethanol, binary distillation, McCabe-Thiele, equilibrium diagram.

## INTRODUCCIÓN

La destilación es un proceso de separación térmica que se basa en las diferencias en las volatilidades de los componentes en una mezcla líquida. Este método se ha utilizado extensamente en la industria química, petroquímica y de alimentos debido a su capacidad para separar y purificar compuestos con alta eficiencia (GHOULI; ARTZNER; MALFREY, 2016). En particular, la destilación binaria de etanol y agua es un proceso de gran relevancia en la producción de etanol, el cual es ampliamente utilizado como biocombustible, en la industria farmacéutica y en la producción de bebidas alcohólicas (YAN; EDGAR; BALDEA, 2019).

El diseño y la optimización de columnas de destilación constituyen tareas fundamentales en el campo de la ingeniería química, ya que estos procesos requieren un consumo considerable de energía y recursos materiales. El método de McCabe-Thiele, desarrollado en la década de 1920, es una herramienta gráfica que ha sido fundamental en la enseñanza y práctica del diseño de columnas de destilación (BARDERAS, 2010). Este método posibilita, mediante un enfoque simplificado, calcular el número de etapas teóricas requeridas para alcanzar la separación deseada entre dos componentes en una mezcla. (ZAPATA BENABITHE et al., 2020).

Aunque existen numerosos softwares comerciales diseñados para la simulación de procesos de destilación, como Aspen HYSYS y ChemCAD, la utilización de Excel para este propósito ofrece una alternativa accesible y versátil. Excel no solo facilita la implementación de modelos matemáticos y la visualización de datos, sino que también permite a los ingenieros y estudiantes realizar simulaciones preliminares sin la necesidad de un software especializado (HU et al., 2020).

Este estudio tiene como objetivo aplicar un modelo en Excel para simular el proceso de destilación binaria de etanol y agua, con el fin de producir etanol con una pureza del 90%. A través de esta simulación, se busca demostrar la eficacia del método de McCabe-Thiele y resaltar la utilidad de Excel como una herramienta de modelación accesible y eficaz en el contexto de la ingeniería química (POTHOCZKI; PUSZTAI; BAKÓ, 2018).

## METODOLOGÍA

### Descripción del Sistema

El sistema estudiado consiste en una columna de destilación binaria que separa una mezcla de etanol y agua. Este proceso se realiza a presión atmosférica, y la alimentación de la columna se establece en un flujo molar de 100 kmol/h, con una composición equimolar de etanol y agua (OCON; TOJO, 1980). El diseño del sistema se fundamenta en los principios esenciales de la destilación, utilizando las diferencias en las volatilidades de los componentes para lograr la separación deseada. (KONG; MARAVELIAS, 2019).

### Balance General y Específico de Materia

El balance general de materia aplicado al proceso de destilación se expresa como:

$$F = D + R \quad (1)$$

$F$ ,  $D$ ,  $R$  es el flujo molar de alimentación, destilado y residuo respectivamente.

El balance de materia para el componente más volátil, en este caso el etanol, se formula de la siguiente manera:

$$F x_F = Dx_D + Rx_R \quad (2)$$

$x_F$ ,  $x_D$  y  $x_R$  son las fracciones molares de etanol en la alimentación, el destilado y el residuo, respectivamente [2].

## Reflujo Mínimo y Reflujo de Operación

El reflujo mínimo es la relación entre la cantidad de líquido que se recircula a la columna y la cantidad de vapor que se condensa, requerida para alcanzar la separación deseada con un número infinito de platos teóricos. Este parámetro es fundamental para definir los límites de operación de la columna de destilación (A. UDUGAMA et al., 2018). El reflujo de operación, por otro lado, se refiere a la relación de reflujo real utilizada en la columna, situándose entre los extremos del reflujo total (mínimo número de platos) y el reflujo mínimo (número infinito de platos) (YANG et al., 2019). La ecuación utilizada para calcular el reflujo de operación es:

$$R_{op} = nR_{min} \quad (3)$$

donde  $n$  es un factor de ajuste que depende de las condiciones operativas específicas de la columna (ASPRION, 2020).

## LÍNEAS DE OPERACIÓN

En el método de McCabe-Thiele, se consideran dos líneas de operación principales: la línea de enriquecimiento (LOE) y la línea de agotamiento (LOA). La línea de enriquecimiento corresponde a la sección de la columna ubicada entre el punto de alimentación y el plato superior, mientras que la línea de agotamiento se encuentra entre el punto de alimentación y el plato inferior (ALVES et al., 2020).

La ecuación de la línea de operación para la sección de enriquecimiento se expresa como:

$$y_{n+1} = \frac{L_n}{V_{n+1}} x_n + \frac{Dx_D}{V_{n+1}} \quad (4)$$

donde:

- $y_{n+1}$  es la fracción molar de etanol en el vapor que sube,
- $x_n$  es la fracción molar de etanol en el líquido que baja,
- $L_n$  y  $V_{n+1}$  son los flujos molares de líquido y vapor en las respectivas etapas.

El balance de componentes o línea de operación en la sección de enriquecimiento se formula como:

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1}x_n + \frac{X_D}{R+1} \quad (5)$$

Esta ecuación es fundamental para definir el comportamiento de la mezcla dentro de la columna y para determinar el número de etapas necesarias para la separación (KUMAR; GHOSH; PAL, 2019).

### Determinación de las Etapas Teóricas

Las etapas teóricas se determina empleando el método gráfico de McCabe-Thiele, que implica trazar escalones entre la línea de operación y la curva de equilibrio. Estos escalones representan las etapas de contacto entre las fases líquida y vapor dentro de la columna. (SHANG et al., 2019).

### Ubicación del Plato de Alimentación

La ubicación del plato de alimentación se determina en el diagrama de McCabe-Thiele mediante la intersección de la línea de operación de enriquecimiento con la línea de alimentación (SEEDAT; KAUCHALI; PATEL, 2021). Este punto de corte define la posición óptima para introducir la alimentación en la columna, lo que maximiza la eficiencia del proceso (LIU et al., 2021).

### Condición Térmica de la Alimentación

La condición térmica de la alimentación, representada por el parámetro  $q$ , es fundamental para determinar la pendiente de la línea de alimentación en el diagrama de McCabe-Thiele (KIRSCHNER et al., 2021). El parámetro  $q$  se define como la fracción molar de líquido saturado formado por mol de material alimentado, y su valor varía según la condición de la alimentación, como se muestra en la siguiente Tabla.

Condiciones de alimentación	Medición de la condición térmica "q"
Líquido subenfriado	$q > 1$
Líquido saturado	$q = 1$
Parcialmente vaporizada	$1 > q > 0$
Vapor saturado	$q = 0$
Vapor sobrecalentado	$q < 0$

Tabla 1 Condiciones de alimentación

## Equilíbrio Líquido-Vapor

El equilibrio líquido-vapor es esencial para el diseño y análisis de procesos de destilación. En el caso del sistema binario etanol-agua, los datos de equilibrio a 1 atm de presión se utilizan para trazar la curva de equilibrio en el diagrama de McCabe-Thiele (LEJEUNE; RABILLER-BAUDRY; RENOARD, 2018), lo que permite determinar el número de etapas teóricas y la posición óptima del plato de alimentación (MARCILLA, 1998).

T °C	95.5	89	86.7	85.3	82.7	81.5	79.8	79.3	78.41	78.15
x	0.019	0.072	0.096	0.124	0.23	0.32	0.50	0.57	0.74	0.894
y	0.17	0.389	0.427	0.47	0.54	0.58	0.65	0.68	0.78	0.894

Tabla 2 Sistema a equilibrio de etanol-agua a 1atm

## Implementación en Excel y Validación del Modelo

El modelo matemático y las ecuaciones presentadas fueron implementados en Excel, utilizando funciones de iteración y gráficos para simular el proceso de destilación (FOUST; WENZEL; CLUMP, 1984). La simulación permitió obtener el número de etapas teóricas, el reflujo mínimo, y la ubicación óptima del plato de alimentación. La validación del modelo se realizó comparando los resultados obtenidos con datos experimentales y simulaciones en software especializado, demostrando la precisión y utilidad del enfoque utilizado (KONG; MARAVELIAS, 2019).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se empleará la herramienta Excel para realizar una destilación de una mezcla de etanol y agua, iniciando con una composición de 70% etanol y 30% agua a una presión de 1 atm. La mezcla de alimentación, en estado líquido saturado ( $q=1$ ), ingresará a la columna, y el objetivo es obtener un destilado con una fracción de etanol del 90%. Se utilizará el método de McCabe-Thiele para calcular el número de etapas teóricas necesarias y el plato de alimentación (VEINTIMILLA, 2022).

Variáveis	Valores
$X_{F\text{etanol}}$	0.7
$X_{F\text{agua}}$	0.3
P (atm)	1
Líquido saturado (q)	1
$X_{D\text{etanol}}$	0.9

Tabla 3 Datos planteados

La Ilustración 1 presenta el diagrama de flujo para la destilación binaria con las condiciones especificadas en la Tabla 3. Debido a que la alimentación no se especificó en términos de flujo, se asumirá una tasa de alimentación de 100 kmol/h para los cálculos (CARRAVETTA et al., 2022).

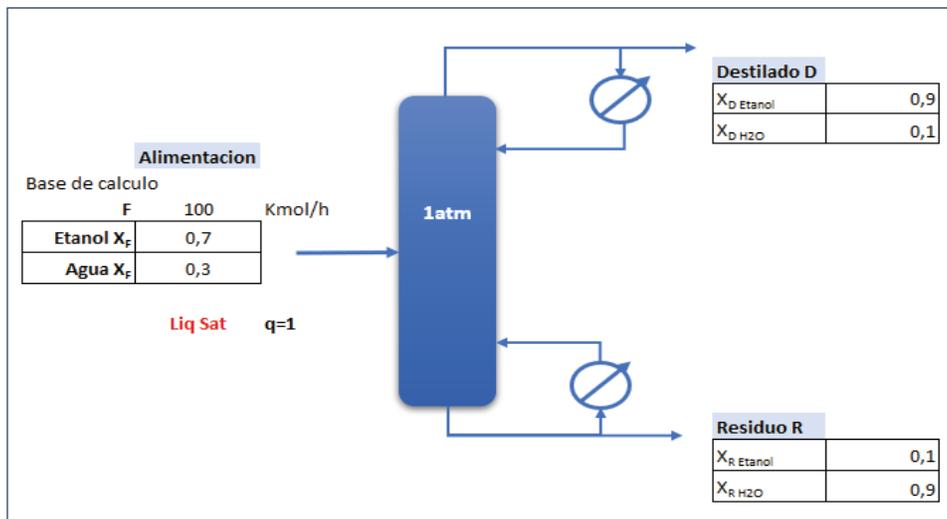


Gráfico 1 El diagrama de flujo

Los resultados obtenidos de la simulación en Excel mostraron que, para un flujo molar de alimentación de 100 kmol/h y utilizando el método de McCabe-Thiele, fue posible obtener un destilado con una pureza de etanol del 90%, correspondiente a un flujo de destilado de 75 kmol/h y un residuo de 25 kmol/h.

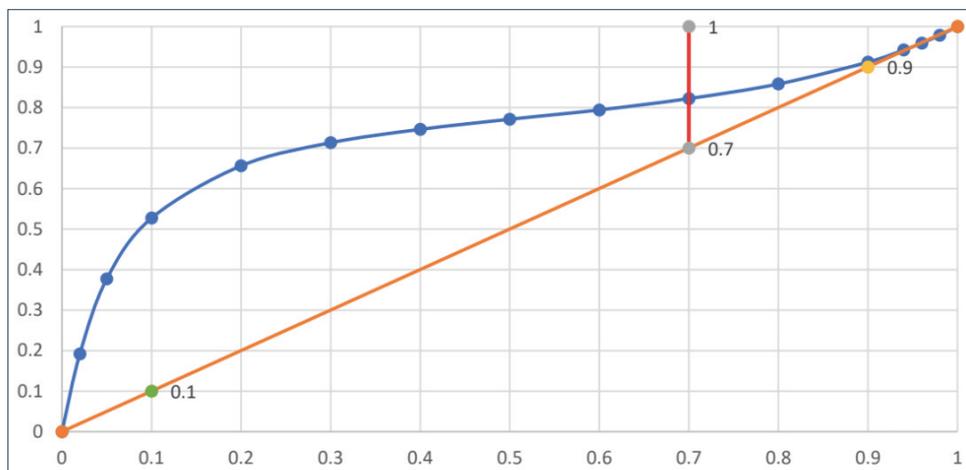


Gráfico 2 Sistema a equilibrio etanol-agua a 1 atm

En la Ilustración 3, se muestra el trazo de la línea desde  $x_D$  que cruce por un punto

que tope la curva de equilibrio y q, finalmente que intercepte en el eje de y, dando en b= 0.52 (VEINTIMILLA, 2022)

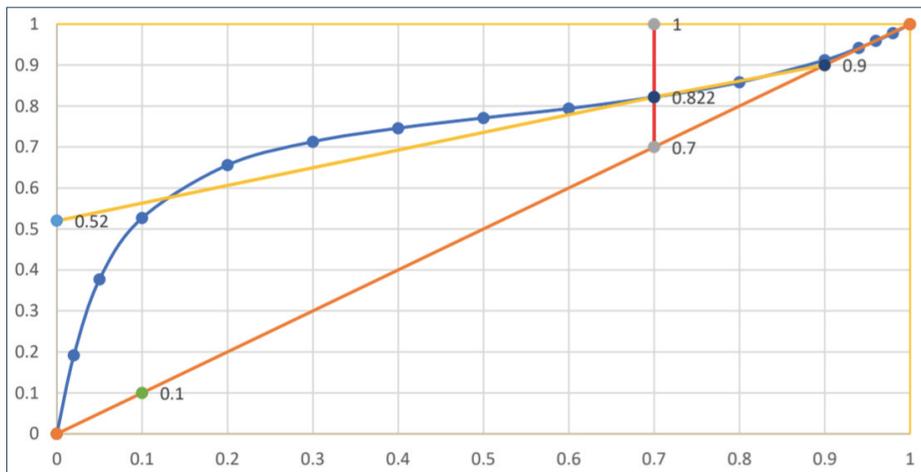


Gráfico 3 Diagrama de equilibrio etanol-agua a 1 atm

El cálculo del número teórico de etapas se efectúa a través de la línea de operación de la sección de enriquecimiento, lo que está relacionado con la composición vapor-líquido. En este caso, se utiliza la ecuación de la línea de enriquecimiento. Luego, al reemplazar los datos, se obtiene el valor del reflujo mínimo ( $R_{min}$ ), que en este caso es  $b=0.52$ , el cual se obtiene en el eje y de la recta trazada (VEINTIMILLA, 2022).

Ecuación de línea de enriquecimiento

$$y = \frac{R}{R+1}x + \frac{\tilde{x}_D}{R+1}$$

La fórmula de la pendiente

$$y = m x + b$$

Sustituimos y la ecuación da:

$$b = \frac{x_D}{R_{min} + 1}$$

$$0.52 = \frac{0.9}{R_{min} + 1}$$

$$R_{min} = 0,7308$$

Calcular el reflujo de operación  $R_{op}$  y línea de rectificación.

$$R_{op} = n R_{min}$$

$$R_{op} = 1.5 (0.7308)$$

$$R_{op} = 1.0962$$

$$\frac{\frac{x_D}{R_{op} + 1}}{1.0962 + 1} = \mathbf{0.43}$$

Trazamos la nueva línea de rectificación en la gráfica,  $y: 0.43$ . En la ilustración 4 y se observa por el método gráfico, los resultados del número de etapas teóricas y plato de

alimentación.

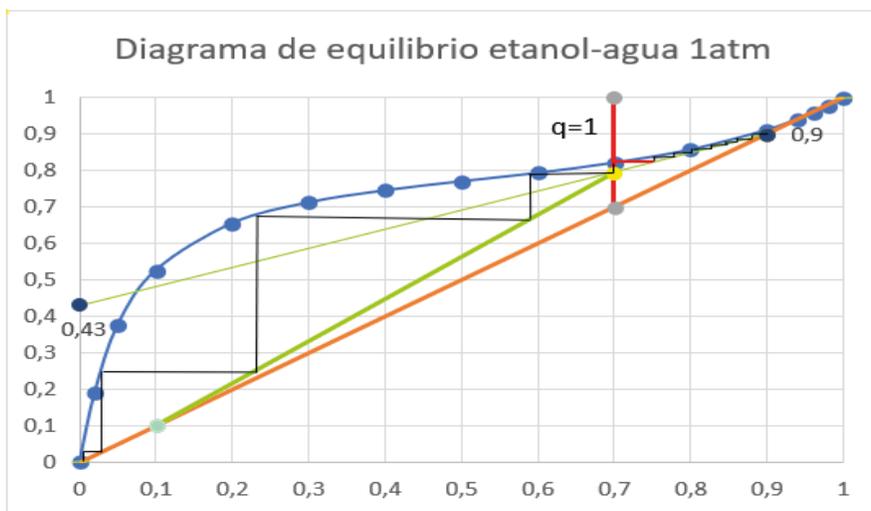


Gráfico 4 Numero de Etapas teóricas

El número de etapas teóricas calculado fue de 10.6, con un plato de alimentación situado en la octava etapa. Estos resultados son consistentes con los principios teóricos de la destilación y el método de McCabe-Thiele, confirmando que la modelación en Excel puede reproducir el comportamiento esperado del sistema etanol-agua bajo las condiciones establecidas.

El análisis del diagrama de equilibrio permitió identificar las composiciones de equilibrio líquido-vapor en cada etapa, observando que la mayor parte de la separación ocurre en las primeras etapas, donde la diferencia de composición entre el vapor y el líquido es más significativa. Este comportamiento es típico en sistemas de destilación binaria y subraya la importancia de un diseño adecuado de la columna para optimizar la separación.

## CONCLUSIÓN

El estudio demostró que es posible utilizar Excel para simular un proceso de destilación binaria etanol-agua con un alto grado de precisión, empleando el método de McCabe-Thiele. Los resultados obtenidos no solo son consistentes con la teoría, sino que también subrayan la accesibilidad y la utilidad de Excel como herramienta alternativa para la modelación de procesos de destilación en entornos educativos o de investigación preliminar.

La capacidad de Excel para realizar cálculos iterativos y visualizar resultados lo convierte en una opción viable para quienes no tienen acceso a software de simulación especializado, proporcionando una base sólida para el diseño y análisis de procesos de separación en la industria química.

## REFERENCIAS

ALVES, J. L. F. et al. Ethanol enrichment from an aqueous stream using an innovative multi-tube falling film distillation column equipped with a biphasic thermosiphon. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 139, p. 69–75, jul. 2020.

ASPRION, N. Modeling, Simulation, and Optimization 4.0 for a Distillation Column. **Chemie Ingenieur Technik**, v. 92, n. 7, p. 879–889, 29 jul. 2020.

A. UDUGAMA, I. et al. Side draw control design for a high purity multi-component distillation column. **ISA Transactions**, v. 76, p. 167–177, maio 2018.

BARDERAS, V. A. **Destilación Por El Metodo de Mc Cabe - Thiele**. [s.l.: s.n.].

CARRAVETTA, V. et al. An atomistic explanation of the ethanol–water azeotrope. **Physical Chemistry Chemical Physics**, v. 24, n. 42, p. 26037–26045, 2022.

FOUST, A.; WENZEL, L.; CLUMP, C. **Principios de Operaciones Unitarias**. México : CECSA, 1984.

GHOUI, A.; ARTZNER, F.; MALFREYT, P. Physical Properties and Hydrogen-Bonding Network of Water–Ethanol Mixtures from Molecular Dynamics Simulations. **The Journal of Physical Chemistry B**, v. 120, n. 4, p. 793–802, 4 fev. 2016.

HU, Y. et al. Design and optimization of the efficient extractive distillation process for separating the binary azeotropic mixture methanol-acetone based on the quantum chemistry and conceptual design. **Separation and Purification Technology**, v. 242, p. 116829, jul. 2020.

KIRSCHNER, J. et al. The molecular structure of the surface of water–ethanol mixtures. **Physical Chemistry Chemical Physics**, v. 23, n. 19, p. 11568–11578, 2021.

KONG, L.; MARAVELIAS, C. T. From graphical to model-based distillation column design: A McCabe-Thiele-inspired mathematical programming approach. **AIChE Journal**, v. 65, n. 11, 7 nov. 2019.

KUMAR, R.; GHOSH, A. K.; PAL, P. Fermentative ethanol production from *Madhuca indica* flowers using immobilized yeast cells coupled with solar driven direct contact membrane distillation with commercial hydrophobic membranes. **Energy Conversion and Management**, v. 181, p. 593–607, fev. 2019.

LEJEUNE, A.; RABILLER-BAUDRY, M.; RENOUARD, T. Design of membrane cascades according to the method of McCabe-Thiele: An organic solvent nanofiltration case study for olefin hydroformylation in toluene. **Separation and Purification Technology**, v. 195, p. 339–357, abr. 2018.

LIU, S. et al. [EMIM][DCA] as an entrainer for the extractive distillation of methanol-ethanol-water system. **Green Energy & Environment**, v. 6, n. 3, p. 363–370, jun. 2021.

MARCILLA, A. **Introducción a Las Operaciones de Separación. Cálculo Por Etapas de Equilibrio**. Espagráfic ed. España: Publicaciones Universidad de Alicante, 1998.

OCÓN, P.; TOJO, J. **Problemas de Ingeniería Química**. [s.l.] Aguilar, 1980.

POTHOCZKI, S.; PUSZTAI, L.; BAKÓ, I. Temperature dependent dynamics in water-ethanol liquid mixtures. **Journal of Molecular Liquids**, v. 271, p. 571–579, dez. 2018.

SEEDAT, N.; KAUCHALI, S.; PATEL, B. A graphical method for the preliminary design of ternary simple distillation columns at finite reflux. **South African Journal of Chemical Engineering**, v. 37, p. 99–109, jul. 2021.

SHANG, X. et al. Process analysis of extractive distillation for the separation of ethanol–water using deep eutectic solvent as entrainer. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 148, p. 298–311, ago. 2019.

VEINTIMILLA, K. **Determinación de las etapas teóricas y plato de alimentación mediante el método de mc cabe-thiele en la destilación binaria**. Machala : Universidad Técnica de Machala, 2022.

YANG, A. et al. Energy-efficient extractive pressure-swing distillation for separating binary minimum azeotropic mixture dimethyl carbonate and ethanol. **Separation and Purification Technology**, v. 229, p. 115817, dez. 2019.

YAN, L.; EDGAR, T. F.; BALDEA, M. Dynamic Process Intensification of Binary Distillation via Periodic Operation. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 58, n. 15, p. 5830–5837, 17 abr. 2019.

ZAPATA BENABITHE, Z. et al. Caso de estudio de la destilación etanol-agua en operación continua y discontinua y su simulación con ecuaciones cúbicas de estado y modelos de actividad. **Tecnológicas**, v. 23, n. 49, p. 223–249, 15 set. 2020.

# MÉTODO DE BORIS GRIGÓRIEVICH GALIORKIN APLICADO A LA DEFLEXIÓN EN VIGAS

*Data de submissão: 06/09/2024*

*Data de aceite: 01/10/2024*

**Marco Antonio Gutiérrez Villegas**

U.A.M Azcapotzalco. Departamento de  
Sistemas, área sistemas computacionales  
Alcaldía Azcapotzalco

**Nicolas Domínguez Vergara**

UAM Azcapotzalco. Departamento  
sistemas, área de estadística e  
investigación de operaciones  
Alcaldía Azcapotzalco

**Alfonso Jorge Quevedo Martínez**

UAM Azcapotzalco. Departamento  
sistemas, área de estadística e  
investigación de operaciones  
Alcaldía Azcapotzalco

**Israel Isaac Gutiérrez Villegas**

Departamento de Ingeniería y Ciencias  
Sociales, ESFM-IPN, México, Cdmx  
División de Ingeniería en Sistemas  
Computacionales, TESE- TecNM, Estado  
de México  
Alcaldía Azcapotzalco

**Alejandro Cruz Sandoval**

U.A.M Azcapotzalco. Departamento de  
Sistemas, área sistemas computacionales  
Alcaldía Azcapotzalco

**Esiquio Martin Gutierrez Armenta**

U.A.M Azcapotzalco. Departamento de  
Sistemas, área sistemas computacionales  
Alcaldía Azcapotzalco

**RESUMEN:** El artículo se centra en la aplicación del método de Galerkin para aproximar la deflexión de una viga. Este método, que permite resolver ecuaciones diferenciales de forma aproximada, se destaca por su versatilidad y facilidad de aplicación en comparación con métodos como Laplace y Fourier. La estrategia consiste en integrar la ecuación diferencial y proponer una función de prueba que cumpla con las condiciones de frontera, obteniendo así una solución analítica aproximada

**PALABRAS-CLAVE:** Deflexión, Laplace, Fourier, Galerkin, viga

## INTRODUCCIÓN

En 1915 Galerkin, propuso un método de aproximación de solución de problemas de valores en la frontera que no requiere la formulación variacional del problema, en el año 2016 se cumplieron 100 años de este método el artículo contiene una breve descripción y origen del método así como su desarrollo [1], por lo tanto proporciona una aproximación más clara y general. Este método se puede aplicar a la solución de ecuaciones diferenciales parciales de tipo elíptico,

hiperbólico y parabólico, así como a problemas lineales y no lineales. Cuando la forma variacional de un problema con condiciones de frontera existe, se puede mostrar que los métodos de Ritz y Galerkin son equivalentes y producen resultados idénticos. Por lo tanto, en vez de tratar de desarrollar la forma variacional equivalente para un problema con valores en la frontera dado y aplicar el método de Ritz, se puede aplicar el método de Galerkin directamente al problema de valor en la frontera. El método de Galerkin es el medio por el cual se puede convertir una ecuación diferencial ordinaria o parcial a un problema integral con el fin de transformarlo a un sistema de ecuaciones lineales álgebra. Donde los coeficientes obtenidos se sustituyen en la función de prueba.

## METODOLOGÍA O DESARROLLO

En este estudio, se resolvió la ecuación de una viga empotrada con una carga uniforme. Se utilizó el método de Galerkin para encontrar una solución aproximada y se comparó con la solución exacta a través de gráficos.

La idea fundamental del método de Galerkin puede ejemplificarse mediante el problema de valor de frontera descrito por las ecuaciones (1).

$$L[u(r)] = 0 \text{ en la región } R \quad (1)$$

$$B[u(r_s)] = f(r_s) \text{ sobre la frontera } S \quad (2)$$

Donde  $L$  es un operador lineal diferencial por ejemplo:

$$L[u] = \nabla^2 u + Au + \left(\frac{1}{k}\right)g \quad (3)$$

Donde  $B$  es un operador de condición lineal de frontera

$$B[u] = k \left(\frac{\partial u}{\partial n}\right) + hu \quad (4)$$

donde  $\frac{\partial}{\partial n}$  denota la derivada a lo largo normal hacia afuera de la frontera en la superficie  $S$  en aplicación en transferencia de calor en estado permanente.

$$\nabla^2 T(r) + AT(r) + \frac{1}{k}g(r) = 0 \text{ en } R \quad (5)$$

$$k \frac{\partial T}{\partial n} + hT = f(r_s) \quad (6)$$

las ecuaciones (5- 6) es del tipo elíptica la cual modela fenómenos de estado estacionario. Estas ecuaciones surgen en áreas como la dinámica de fluidos, la transferencia de calor, el electromagnetismo, la geofísica, la biología, entre otras. Las más conocidas de estas ecuaciones son las de Laplace y Poisson.

Para resolver estas ecuaciones se realiza el siguiente procedimiento.

Se propone  $\phi_j(r) = 1, 2, 3 \dots, n$  es un conjunto de funciones base. Se construyó el término  $\tilde{T}_n(r)$  La que se conoce como función de prueba es la siguiente:

$$\tilde{T}_n(r) = \Psi_0(r) + \sum_{j=1}^n C_j \phi_j(r) \text{ en la región (7)}$$

Donde la función  $\Psi_0(r)$  satisface la parte no homogénea de las condiciones de frontera de la ecuación (2) y las funciones  $\phi_j(r) = 1, 2, \dots, n$  es un conjunto de funciones ortogonales, satisfacen la parte homogénea, es decir

$$B[\Psi_0(r)] = f(r_S) \quad (8)$$

$$B[\phi_j(r)] = 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

Se propone una solución aproximada que cumple las condiciones de frontera pero no resuelve exactamente la ecuación diferencial, generando un error. Para minimizar este error, se ajustan los coeficientes de la solución de prueba de modo que el error sea ortogonal a un conjunto de funciones base. Este procedimiento es conocido como el método de Galerkin.

$$\tilde{T}_n(r) = \Psi_0(r) + \sum_{j=1}^n C_j \phi_j(r) \quad (10)$$

Para encontrar una solución aproximada, se utilizan las mismas funciones de base de la ecuación (7). Si la parte no homogénea es nula, se simplifica el problema. Al aplicar el método de Galerkin, se busca minimizar el error generado por la solución aproximada, imponiendo condiciones de ortogonalidad del residuo con respecto a las funciones de base.

$$\nabla^2 \tilde{T}_n(r) + A \tilde{T}_n(r) + \frac{1}{k} g(r) = R(C_1, C_2, \dots, C_n; r) \neq 0 \quad (11)$$

Este método permite calcular los  $n$  coeficientes desconocidos  $C_1, C_2, \dots, C_n$  mediante

$$\int_R \left( \nabla^2 \tilde{T}_n(r) + A \tilde{T}_n(r) + \frac{1}{k} g(r) \right) \phi_j(r) dv = 0 \quad (12)$$

La ecuación (12) puede expresarse de manera más compacta, tal como se muestra en la ecuación

$$\int_R \phi_j(r) R(C_1, C_2, \dots, C_n; r) dv = 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

El objetivo de establecer esta relación es obtener un sistema de ecuaciones que permita calcular los coeficientes desconocidos. La ecuación (13) asegura que el error sea mínimo en un sentido específico. Al restringir la solución a un espacio finito, el método de Galerkin proporciona una solución aproximada. Este método aprovecha el principio de ortogonalidad para resolver ecuaciones diferenciales de manera eficiente.

Se describe la construcción de las funciones de prueba, siguiendo las recomendaciones de [2]. Estas funciones deben ser suaves y formar un espacio funcional completo. Para condiciones de frontera de primer tipo, se buscan funciones que se anulen en la frontera y sean suficientemente regulares en el interior del dominio. Un enfoque común consiste en construir estas funciones a partir de productos de funciones de base y potencias de la variable independiente, como se indica en la ecuación (14)

$$\phi_1 = w, \phi_2 = wx, \phi_3 = wy, \phi_4 = wx^2, \phi_5 = wxy \quad (14)$$

Las funciones construidas satisfacen las condiciones de frontera, son suficientemente suaves y forman un sistema completo. El problema se reduce a encontrar los coeficientes de estas funciones. Estos coeficientes se obtienen al aplicar las condiciones de frontera

1. Para dominios con fronteras simples y suaves, como el círculo, hay disponibles conjuntos ortonormales de funciones base.

$$F(x, y) = 0 \quad (15)$$

La función  $F(x, y)$  es continua y posee derivadas parciales continuas con respecto a  $x$  e  $y$ .

La función  $W(x, y)$  puede seleccionarse como:

$$w(x, y) = \pm F(x, y) \quad (16)$$

Para una región circular de radio  $R$  centrada en el origen, la ecuación de la frontera satisface la ecuación

$$F(x, y) = R^2 - x^2 - y^2 = 0 \quad (17)$$

La función de peso  $W(x, y)$  se toma como

$$w(x, y) = R^2 - x^2 - y^2 = 0 \quad (18)$$

2. En regiones delimitadas por polinomios convexos, las ecuaciones de sus lados se expresan como:

$$F_1(x, y) = a_1x + b_1y + d_1 = 0, \quad F_2(x, y) = a_2x + b_2y + d_2 = 0, \dots, \quad F_n(x, y) = a_nx + b_ny + d_n = 0 \quad (19)$$

la función de peso  $W(x, y)$  se elige de la forma:

$$w(x, y) = \pm F_1(x, y), \quad w(x, y) = \pm F_2(x, y), \dots, \quad w(x, y) = \pm F_n(x, y) \quad (20)$$

Se busca una función que se anule en toda la frontera del dominio y satisfaga la parte homogénea de las condiciones de frontera de primer tipo en la región de interés. Para cada una de las cuatro geometrías ilustradas en la Figura 1, se obtendrán múltiples soluciones para dicha función, tal como se definió previamente. Las condiciones de frontera específicas para cada una de estas geometrías (1a, 1b, 1c y 1d) se detallan a continuación.

$$a - x = 0, \quad a + x = 0, \quad b - y = 0, \quad b + y = 0 \quad (21)$$

$$y - \alpha x = 0, \quad y + \beta x = 0, \quad L - x = 0 \quad (22)$$

$$x = 0, \quad y = 0, \quad 1 - \frac{x}{a} - \frac{y}{b} = 0 \quad (23)$$

$$R_1^2 - x^2 - y^2 = 0, \quad R_2^2 - (x - L)^2 - y^2 = 0 \quad (24)$$

Las funciones de peso  $W(x, y)$  para cada geometría se presentan a continuación:

$$w(x, y) = (a^2 - x^2)(b^2 - y^2) \quad (25)$$

$$w(x, y) = (y - \alpha x)(y + \beta x)(L - x) \quad (26)$$

$$w(x, y) = xy\left(1 - \frac{x}{a} - \frac{y}{b}\right) \quad (27)$$

$$w(x, y) = (R_1^2 - x^2 - y^2)(R_2^2 - (x - L)^2 - y^2) \quad (28)$$

Para cada conjunto de condiciones de frontera, se requiere una función de peso específica. La solución de prueba se construye como una combinación lineal de estas funciones.

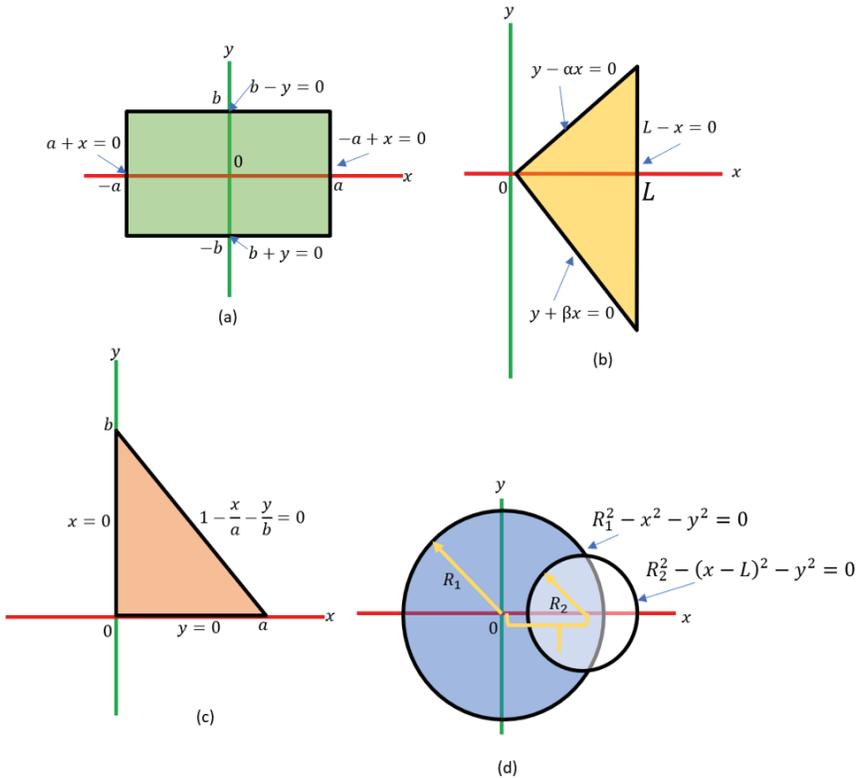


Figura. (1) región de contorno obtenida de [2].

## Aplicación

Una aplicación considere una viga como se muestra en la Figura. 2.

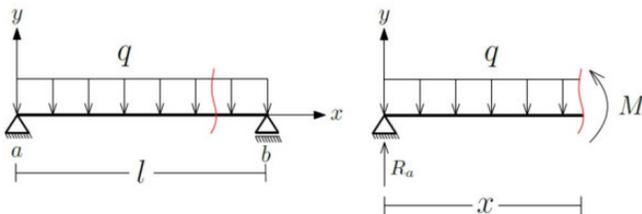


Figura 2. Viga doblemente apoyada con corte a distancia , donde . [3]

Como caso de estudio, se considera la aplicación del método de Galerkin a una viga simplemente apoyada sometida a momentos flectores en sus extremos (Figura 2). donde  $l$  es la longitud de la Distancia horizontal entre los puntos de sujeción del conductor en dos apoyos consecutivos,  $q$  es la intensidad de la carga estática que se distribuya uniformemente sobre toda la superficie y  $Ra$  es la reacción en el apoyo, se debe obtener la ecuación de momento flector para la viga en cuestión.

La ecuación gobernante de manera general:

$$EI \frac{d^2u(x)}{dx^2} - M(x) = 0 \quad (29)$$

condiciones de frontera:

$$\begin{aligned} u(0) &= 0 \\ u(l) &= 0 \end{aligned} \quad (30)$$

Para un caso particular [3].

$$\frac{d^2u}{dx^2} = \frac{qx}{EI} (l - x) \quad (31)$$

Donde:  $M(x) = \frac{qx}{EI} (l - x)$

condiciones de frontera:

$$\begin{aligned} u(0) &= 0 \\ u(l) &= 0 \end{aligned} \quad (32)$$

La  $u$  representa deflexión de la viga en función de la posición  $x$  se denota por  $M(x)$ . Los parámetros  $M(x)$  representan el momento flector,  $i$  y  $E$ , el momento de inercia y el módulo de Young, respectivamente. La longitud de la viga es  $l$ . Sustituyendo estos valores en la ecuación (29), se obtiene la solución analítica [3]. Esta dada por la ecuación (33).

$$u(x) = \frac{q}{EI} \left( \frac{lx^3}{16} - \frac{x^4}{24} - \frac{x l^3}{48} \right) \quad (33)$$

A continuación, se aplicará el método de Galerkin al problema.

Como función de prueba se selecciona, en general, una combinación lineal de polinomios ortogonales de la forma dada por la ecuación (31).

$$\tilde{y} = C_1\phi_1 + C_2\phi_2 + \dots, C_n\phi_n \quad (31)$$

donde las  $\phi_i$  satisfacen las condiciones de frontera, para este caso en particular se propone la siguiente

$$\tilde{y} = c_1\phi_1, \text{ donde } \phi_1 = \text{sen} \left( \frac{\pi x}{l} \right) \quad (32)$$

$$\tilde{y} = C_1\phi_1 \quad \text{donde } \phi_1 = \text{seno} \left( \frac{\pi x}{l} \right) \quad (33)$$

Donde:

$$\tilde{y} = C_1 \text{seno} \left( \frac{\pi x}{L} \right) \quad (34)$$

La ecuación satisface las condiciones de frontera como se muestra a continuación:

$$\tilde{y}(0) = C_1 \text{seno} \left( \frac{\pi(0)}{l} \right) = 0 \quad (35)$$

$$\tilde{y}(l) = C_1 \text{seno} \left( \frac{\pi l}{l} \right) = C_1 \text{seno}(\pi) = 0 \text{ para } \pi = 0, 2\pi, \dots, n\pi, n \text{ múltiplo de dos} \quad (36)$$

Sustituyendo (20) en (7) se obtiene

$$\int_0^l \left( EI \frac{d^2 \tilde{y}}{dx^2} - M(x) \right) \phi_1 dx = 0 \quad (37)$$

$$\int_0^l \left( \left[ C_1 \text{seno} \left( \frac{\pi x}{l} \right) - \frac{qx}{EI} (l-x) \right] \right) \text{seno} \left( \frac{\pi x}{l} \right) dx = 0 \quad (38)$$

donde

$$\tilde{y} = \left( C_1 \text{seno} \left( \frac{\pi x}{l} \right) \right) \quad (39)$$

$$\tilde{y}' = C_1 \left( \frac{\pi}{l} \text{coseno} \left( \frac{\pi x}{l} \right) \right) \quad (40)$$

$$\tilde{y}'' = -C_1 \left( \left( \frac{\pi}{l} \right)^2 \text{seno} \left( \frac{\pi x}{l} \right) \right) \quad (41)$$

$$\int_0^l \left( -C_1 \left( \left( \frac{\pi}{l} \right)^2 \text{seno} \left( \frac{\pi x}{l} \right) \right) - \frac{qx}{EI} (l-x) \right) \text{seno} \left( \frac{\pi x}{l} \right) dx = 0 \quad (42)$$

$$-C_1 \left( \frac{\pi}{l} \right)^2 \int_0^l \text{seno}^2 \left( \frac{\pi x}{l} \right) dx - \int_0^l \frac{qx}{EI} (l-x) \text{seno} \left( \frac{\pi x}{l} \right) dx = 0 \quad (43)$$

Integran utilizando la identidad:

$$\text{seno}^2(\theta) = \frac{1 - \text{coseno}(2\theta)}{2} \quad (43)$$

$$-C_1 \left( \frac{\pi}{l} \right)^2 \int_0^l \text{seno}^2 \left( \frac{\pi x}{l} \right) dx = -C_1 \left( \frac{\pi}{l} \right)^2 \left( \frac{l}{2} \right) = -C_1 \left( \frac{\pi^2}{2l} \right) \quad (44)$$

$$\int_0^l x(l-x) \text{seno} \left( \frac{\pi x}{l} \right) dx = -4 \frac{q}{EI} \left( \frac{l}{\pi} \right)^3 \quad (45)$$

Sustituyendo en la ecuación (38), las ecuaciones (44-45)

$$-C_1 \left( \frac{\pi^2}{2l} \right) - 4 \frac{q}{EI} \left( \frac{l}{\pi} \right)^3 = 0 \quad (46)$$

$$C_1 = -\frac{4 \frac{q}{EI} \left( \frac{l}{\pi} \right)^3}{\left( \frac{\pi^2}{2l} \right)} = -\frac{q}{EI} \left( \frac{8l^3}{\pi^5} \right) \quad (47)$$

Sustituyendo la ecuación (47) en la ecuación (33) se tiene la solución aproximada.

$$\tilde{y} = -\frac{q}{EI} \left( \frac{8l^3}{\pi^5} \right) \text{seno} \left( \frac{\pi x}{L} \right) \quad (48)$$

Tomando Valores  $q = 1$   $E = 1$   $L = 1$  se graficará la ecuación (33) y ecuación (48)

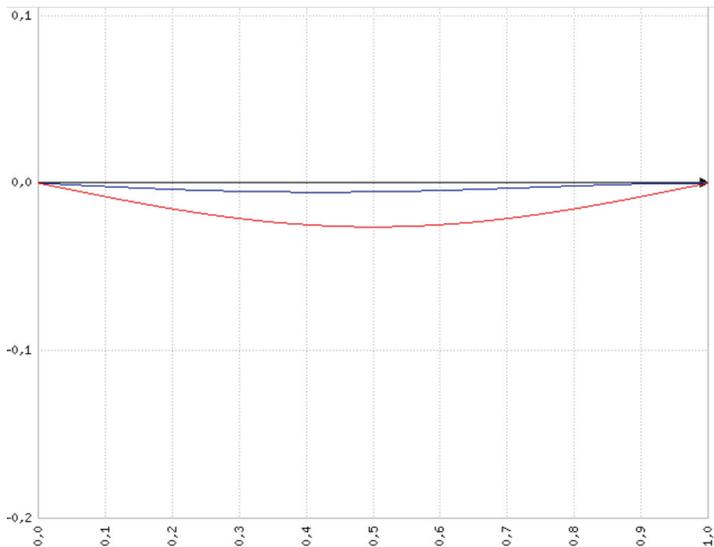


Figura. 3. Grafica de la solución analítica(roja) y aproximada (azul).

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

Con el avance de la tecnología, el software actual permite calcular de manera rápida y precisa derivadas e integrales simbólicas. Esta herramienta resulta invaluable para la aplicación del método de Galerkin. Al aumentar el número de términos en la función de prueba, se obtiene una aproximación cada vez más cercana a la solución analítica exacta. Si bien en algunos casos es posible encontrar esta solución analítica, en la mayoría de las situaciones, especialmente cuando se enfrentan ecuaciones no lineales, resulta muy difícil o incluso imposible de obtener.

La Figura 3 ilustra cómo, al utilizar un solo término en la función de prueba, la diferencia entre la solución numérica y la solución analítica (si existiera) puede ser significativa. Sin embargo, a medida que se incorporan más términos, esta diferencia se reduce considerablemente.

## CONCLUSIONES

El método de Galerkin, al aplicarse a ecuaciones diferenciales parciales u ordinarias, permite transformar el problema en una forma integral. Esta transformación facilita la obtención de una solución analítica aproximada, la cual puede compararse con la solución exacta para evaluar el error. Este método constituye una alternativa viable para resolver problemas de vigas simplemente apoyadas sujetas a momentos concentrados en los extremos.

## REFERENCES

[1] Computational Methods in Applied Mathematics, (2017), One Hundred Years of the Galerkin Method, Sergey Repin, <https://doi.org/10.1515/cmam-2017-0013>

[2] DAVID W. HAHN. NECATI ÖZISIK. (2012) HEAT CONDUCTION, JOHN WILEY & SONS, INC. PP. 521-523.

[3] Mariana Coelho Portilho Bernardi<sup>1</sup> , Adilandri Mércio Lobeiro , Rogério Zolin Bertechini<sup>1</sup> and Tamara Liz Schwab Ribeiro,(2020), Comparative Analysis of the Deflections of Two Beams Using the Finite Difference Method, Journal of Mechanics Engineering and Automation 10 (2020) 84-86 doi: 10.17265/2159-5275/2020.03.002

# REFLEXIONES QUE SUSTENTAN EL REDISEÑO DE CLASES QUE INTEGRAN EL PENSAMIENTO MATEMÁTICO Y COMPUTACIONAL

---

*Fecha de presentación: 22/08/2024*

*Data de aceite: 01/10/2024*

### **María José Seckel**

Universidad Católica de la Santísima  
Concepción  
Facultad de Educación  
Concepción, Chile  
<https://orcid.org/0000-0001-7960-746X>

### **Viviane Hummes**

Universidad de Barcelona  
Facultad de Educación  
Barcelona, España  
<https://orcid.org/0000-0003-2031-8238>

### **Claudia Vásquez**

Pontificia Universidad Católica de Chile  
Facultad de Educación  
Villarrica, Chile  
<https://orcid.org/0000-0002-5056-5208>

### **Valentina Seckel-Aravena**

Universidad Mayor  
Facultad de Ciencias Sociales y de Artes  
Santiago, Chile  
<https://orcid.org/0009-0007-2290-4157>

### **Roxana Saavedra**

Universidad Católica de la Santísima  
Concepción  
Concepción, Chile  
<https://orcid.org/0009-0000-7248-2414>

**RESUMEN:** El desarrollo del Pensamiento Computacional desde los primeros años de escolaridad se ha convertido en una tendencia en diversos sistemas educativos, lo que implica un desafío en los centros escolares y en la formación del profesorado. En este estudio, centramos el interés investigativo en la formación que han recibido un grupo de futuras maestras de Educación Infantil para integrar el Pensamiento Matemático y Computacional en sus prácticas de enseñanza y aprendizaje. Específicamente, se analizan las reflexiones sobre la simulación de la clase que han diseñado, y los vínculos de sus reflexiones con el rediseño de la clase propuesta. La investigación siguió una metodología cualitativa y participó un total de veinte futuras maestras organizadas en seis equipos de trabajo. Los datos se recolectaron a través de un informe que contiene todas las tareas solicitadas durante un módulo formativo y se analizaron mediante la técnica de análisis de contenido. El análisis se realizó en tres fases: 1) análisis descriptivo de las clases diseñadas, 2) análisis global de las reflexiones y 3) análisis en profundidad de las reflexiones y rediseño de la clase propuesta por un caso seleccionado. Los resultados evidencian

que las futuras maestras reflexionan críticamente sobre la clase simulada con base en los criterios de idoneidad didáctica (epistémico, cognitivo, interaccional, mediacional, afectivo y ecológico), y dichas reflexiones son coherentes con el rediseño de clase que proponen.

**PALABRAS-CLAVE:** Educación Matemática, Pensamiento computacional, Blue-bot, Formación de profesores, Criterios de idoneidad didáctica.

## REFLECTIONS SUPPORTING THE REDESIGN OF CLASSES THAT INTEGRATE MATHEMATICAL AND COMPUTATIONAL THINKING

**ABSTRACT:** The development of Computational Thinking from the early years of schooling has become a trend in various educational systems, which implies a challenge in schools and teacher training. In this study, the investigative interest is focused on the training received by a group of future Early Childhood Education teachers to integrate Mathematical and Computational Thinking into their teaching and learning practices. Specifically, the reflections on the simulated class they have designed are analysed, along with the links of these reflections with the proposed class redesign. The research followed a qualitative methodology, and a total of twenty future teachers organized into six teams participated. The data were collected through a report containing all the tasks requested during a training module and were analysed using the content analysis technique. The analysis was conducted in three phases: 1) descriptive analysis of the designed classes, 2) overall analysis of the reflections, and 3) in-depth analysis of the reflections and redesign of the class proposed by a selected case. The results show that the future teachers critically reflect on the simulated class based on the Didactic Suitability Criteria (epistemic, cognitive, interactional, mediational, affective, and ecological), and these reflections are consistent with the class redesign they propose.

**KEYWORDS:** Mathematics Education; Computational Thinking; Blue-bot; teacher training, Didactic Suitability Criteria

## INTRODUCCIÓN

El Pensamiento Computacional (PC) es una habilidad esencial para enfrentar los desafíos del mundo actual, en el que la tecnología está cada vez más presente en diversos ámbitos de la vida. Por esta razón, se ha discutido la importancia de que los docentes de todos los niveles educativos tengan una formación sólida en PC para que lo integren en sus clases y preparen a los estudiantes para el futuro (Freina, Bottino y Ferlino, 2019; Montero, 2021). Sin embargo, si queremos examinar los procesos formativos del profesorado en PC, lo primero que debemos hacer es aclarar su significado.

Según Wing (2006), una de las pioneras en la definición del PC, este se refiere a la solución de problemas, el diseño de sistemas y la comprensión del comportamiento humano utilizando los conceptos básicos de la informática. Wing (2006) también enfatizó que estas habilidades deben ser desarrolladas por todas las personas, no solo aquellas que trabajan en el campo de la informática, y, además, sugirió que el PC debe introducirse gradualmente desde edades tempranas. Asimismo, Brackmann, Barone, Casali, Boucinha y Muñoz-

Hernandez (2016) consideran que el PC es una habilidad creativa, crítica y estratégica que permite resolver problemas utilizando los fundamentos de la computación en diversas áreas del conocimiento. Sin embargo, algunos autores enfatizan que el desarrollo del PC no requiere necesariamente del uso de un computador (Melián, 2020; Zapata-Ros, 2019).

En los últimos años, se ha detectado un creciente interés en el desarrollo del PC a través de la inclusión de la programación y la robótica a nivel escolar (García-Peñalvo y Mendes, 2018; Llorens-Largo, García-Peñalvo, Molero-Prieto y Vendrell-Vidal, 2017), teniendo un amplio uso en los primeros niveles educativos (Seckel, Salinas, Font y Sala-Sebastià, 2023). En ese sentido, la enseñanza del PC en la formación de maestras de Educación Infantil es un tema que demanda investigación. Diversos autores (Freina, Bottino y Ferlino, 2019; Guirado, 2022; Montero, 2021) plantean que los profesores que están capacitados en el PC pueden integrar mejor la tecnología en su enseñanza y ayudar a los niños a desarrollar habilidades importantes de resolución de problemas y pensamiento crítico desde una edad temprana, entendiendo que este tipo de pensamiento se desarrolla de manera progresiva.

Considerando lo expuesto anteriormente, resulta imperativo investigar los procesos de formación que reciben las futuras maestras de Educación Infantil con el fin de abordar adecuadamente las necesidades curriculares actuales. En este sentido, este estudio analiza las reflexiones de futuras maestras de infantil que enfrentan el desafío de planificar una clase de matemática que integra el PC a través del uso del robot Blue-bot, lo que corresponde a una actividad de cierre de un módulo formativo. En este contexto, el interés de este estudio es dar respuesta a las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuáles son los componentes de los Criterios de Idoneidad Didáctica (CID) enseñados en el módulo formativo que las participantes emplean para reflexionar sobre sus clases simuladas? ¿De qué manera se vinculan las reflexiones de las participantes con las propuestas de rediseño de las clases?

El enfoque principal del estudio se centra en analizar y describir los componentes e indicadores de los CID (Godino, Batanero y Font, 2019) que las participantes han aprendido durante el módulo formativo. Estos criterios proporcionan un marco de referencia para valorar la idoneidad didáctica de las clases diseñadas y simuladas, considerando seis dimensiones que se describen en detalle en el siguiente apartado (epistémica, cognitiva, interaccional, mediacional, afectiva y ecológica). De esta manera, se busca comprender cómo las participantes utilizan los CID como herramienta de reflexión y lo convierten en un insumo para el rediseño de las clases simuladas.

## MARCO TEÓRICO

### Formación de profesores para el desarrollo del Pensamiento Computacional

Diversas investigaciones describen los procesos de formación inicial y continua del profesorado para que estos enfrenten el desafío de desarrollar el PC a nivel escolar (Casali, San Martín, Monjelat, y Viale, 2020; El-Hamamsy et al., 2021; Pewkam y Chamrat, 2022). Algunas características comunes que se observan en dichos procesos de formación son el trabajo colaborativo entre los participantes para el diseño e implementación de experiencias de enseñanza y aprendizaje (Seckel, Breda, Font y Vásquez, 2021).

En línea con lo anterior, Estebanell et al. (2018), proponen un modelo formativo de cuatro niveles, denominados: 1) Usuario, 2) Usuario reflexivo, 3) Maestro y 4) Maestro reflexivo. La propuesta implica iniciar el proceso formativo a partir de experiencias en las que el profesorado enfrenta problemáticas sobre cómo usar un lenguaje de programación desde un rol de usuario hasta finalizar en un nivel de maestro reflexivo en el que se pretende que el profesorado reflexione sobre el proceso de enseñanza y aprendizaje relacionado con el PC. Es importante destacar que el modelo plantea la progresión de la trayectoria formativa considerando la transición de niveles, así como la profundización de la formación en cada nivel. Al respecto, en Seckel et al. (2022) se plantea que, si bien el componente Reflexivo se menciona de manera explícita sólo en el nivel 4 de este modelo, dicho componente también está presente en el nivel 3 cuando el profesorado se dispone a diseñar experiencias de enseñanza y aprendizaje.

Ahora bien, de acuerdo a las experiencias de formación antes descritas, el modelo propuesto por Estebanell et al. (2018), debería considerar como metodología de enseñanza, el trabajo colaborativo entre los profesores en formación. Para lograr esto, existe la posibilidad de articular este modelo con la estrategia de desarrollo profesional docente Estudio de Clases (EC) (Huang, Takahashi y Ponte, 2019), tal como se muestra en la figura 1.

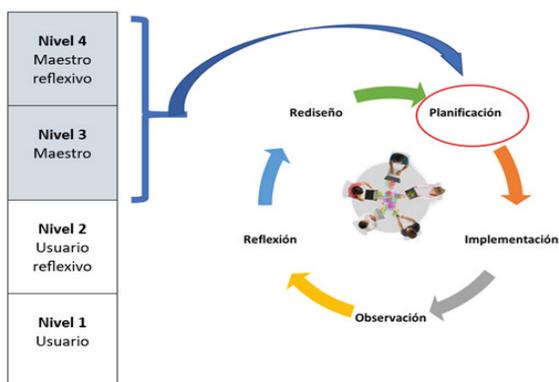


Figura 1. Articulación del modelo de aprendizaje del PC con el modelo de EC.

Fuente: elaboración propia

El EC es un enfoque de desarrollo profesional docente originario de Japón. Se destaca por su enfoque en mejorar las prácticas de enseñanza y aprendizaje a través de la colaboración entre pares. En el EC, los docentes se reúnen en grupos pequeños y siguen un ciclo de trabajo que implica diseñar una clase en conjunto, implementarla y observarla para luego reflexionar sobre ella y rediseñar los aspectos que requieran mejoras. Este enfoque de trabajo colaborativo se ha tenido en cuenta en el proceso de formación docente desarrollado en este estudio.

Sin embargo, dado que los participantes son profesores en formación inicial, la implementación de las clases se ha llevado a cabo en contextos de simulación de clases, como se ha señalado en estudios anteriores (Gaintza-Jauregi, 2020). Además, en este estudio se ha incorporado la enseñanza de un concepto teórico proveniente del campo de la Didáctica de la Matemática, conocido como Criterios de Idoneidad Didáctica (CID), con el fin de orientar los procesos reflexivos en la cuarta fase del EC. En el siguiente subapartado se explicará cómo los CID se utilizan como herramienta para la reflexión.

### **Criterios de idoneidad didáctica como herramienta para la reflexión**

El Enfoque Ontosemiótico del Conocimiento y la Instrucción Matemáticos (EOS) (Godino, Batanero y Font, 2019) tiene en cuenta cinco tipos diferentes de análisis de los procesos instruccionales: 1) identificación de prácticas matemáticas; 2) desarrollo de configuraciones de objetos y procesos matemáticos; 3) análisis de trayectorias e interacciones didácticas; 4) identificación del sistema de normas y metanormas; y 5) valoración de la idoneidad didáctica del proceso instruccional (Font, Planas y Godino, 2010). Los primeros cuatro tipos de análisis son herramientas para la instrucción descriptiva-explicativa, mientras que el quinto tipo se enfoca en evaluar la idoneidad didáctica con base en un análisis anterior de la instrucción y es una síntesis destinada a identificar mejoras potenciales en los procesos de enseñanza y aprendizaje.

El EOS define la idoneidad didáctica de un proceso de enseñanza y aprendizaje como el grado en que exhibe ciertas características que permiten etiquetarlo como apropiado (o ideal) para lograr la adaptación entre los significados obtenidos personalmente en el aprendizaje y aquellos destinados o implementados en entornos institucionales (enseñanza), teniendo en cuenta las circunstancias y los recursos disponibles (entorno). Este constructo multidimensional se descompone en Criterios de Idoneidad Didáctica (CID) parciales que pueden ser útiles para orientar los procesos de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas y evaluar su implementación (Breda, Font y Pino-Fan, 2018).

El EOS tiene en cuenta seis CID: 1) *idoneidad epistémica*, para determinar si las matemáticas que se enseñan son “buenas matemáticas”; 2) *idoneidad cognitiva*, para determinar si lo que se enseña está a una distancia razonable de lo que los estudiantes ya saben y si el conocimiento adquirido está en línea con los resultados esperados; 3)

*idoneidad interaccional*, para evaluar si las interacciones resuelven los conflictos de significados y las dificultades de los estudiantes; 4) *idoneidad mediacional*, para evaluar la adecuación de los contenidos y recursos temporales utilizados a lo largo del proceso instruccional; 5) *idoneidad afectiva*, para evaluar la participación de los estudiantes (intereses y motivaciones) en el proceso; 6) *idoneidad ecológica*, para valorar, entre otros aspectos, la adecuación del proceso docente al proyecto educativo del centro, las orientaciones curriculares y el entorno social y profesional.

Los CID se caracterizan con un conjunto de componentes e indicadores observables que sirven como guía para analizar y valorar el proceso de enseñanza y aprendizaje en cada etapa educativa (Breda et al., 2021). En un proceso de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas, los CID tienen una doble función. Antes de la implementación, actúan como guía para orientar la forma en que se debe llevar a cabo el proceso. Después de la implementación, se utilizan para evaluar la efectividad del proceso educativo llevado a cabo. Los CID están siendo cada vez más utilizados en programas de formación como una herramienta para que los profesores reflexionen sobre su práctica docente (Esqué y Breda, 2021).

## **METODOLOGÍA**

En base al objetivo propuesto, el estudio siguió un enfoque interpretativo con una metodología cualitativa (Cohen, Manion y Morrison, 2007). Participaron un total de veinte futuras maestras de educación infantil de una Universidad de la Región del Bio Bío en Chile, quienes estaban cursando la asignatura denominada “Adquisición de nociones aritméticas y la numeración en el párvulo” durante el año académico 2022. El módulo formativo se centró en el último resultado de aprendizaje declarado en el programa de estudio “reconocer al juego como estrategia didáctica en el desarrollo de las nociones aritméticas y la numeración y su relación con las orientaciones emanadas del Currículum Nacional de Educación Parvularia”. En este contexto, el robot Blue-bot fue el recurso utilizado para diseñar experiencias de enseñanza y aprendizaje basadas en el juego, con el desafío de articular el Pensamiento Matemático y Computacional.

Las participantes, se organizaron en seis equipos de trabajo, quienes se denominaron como E1, E2, E3 ... E6. Los datos se obtuvieron de los documentos escritos de cada equipo de trabajo que corresponden a un informe final que contiene todas las tareas solicitadas en el transcurso del módulo formativo.

## Descripción del módulo formativo

El módulo contempló un total de 9 sesiones de una hora y cuarenta minutos cada una.

En la sesión 1, las futuras maestras resolvieron una secuencia de problemas robóticos que se presentaron considerando un nivel de complejidad progresivo. Estos problemas ya se utilizaron en un estudio anterior con futuras maestras de infantil (Seckel et al., 2022). En esta sesión, las futuras maestras logran aprender el lenguaje de programación que tiene el robot BlueBot e identificar las posibles respuestas correctas y errores comunes que surgen al intentar resolver cada problema.

En la sesión 2, se presentaron los conceptos y prácticas computacionales de Brennan y Resnick (2012) para caracterizar el PC. A partir de estas definiciones, el lenguaje de programación del BlueBot y los objetivos de aprendizaje del núcleo de Pensamiento Matemático que se establece en el Currículum de Educación Infantil en Chile, se identifican los conceptos y prácticas del PC que se pueden considerar en un futuro diseño de clase.

En la sesión 3, se solicitó la conformación de los equipos de trabajo para un diseño colaborativo de una clase que integrara el Pensamiento Matemático y Computacional a través del uso del robot BlueBot. La condición para dicho diseño era que se consideren los objetivos de aprendizaje del currículum relacionados con la asignatura que cursan las futuras maestras.

En las sesiones 4 y 5, los equipos simularon sus clases. Algunos integrantes de los equipos asumieron la responsabilidad de la implementación, mientras que otros integrantes observaron los resultados de la misma. Asimismo, las estudiantes que no eran parte del equipo asumieron el rol de estudiantes del curso simulado. Al finalizar cada clase, cada grupo reflexionó sobre la clase simulada y discutió abiertamente con todo el curso sus reflexiones, tomando apuntes de todos los temas tratados.

En la sesión 6, se enseñaron los CID como herramienta útil para orientar y profundizar la reflexión sobre las prácticas de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas. Tal como se ha trabajado en otras experiencias formativas (Hummes, Breda, Seckel y Font, en prensa) se parte con el reconocimiento del uso implícito de las dimensiones epistémicas, cognitivas, interaccionales, mediacionales, emocionales y ecológicas en las reflexiones de cada grupo. Posteriormente, se presenta la caracterización de cada dimensión o CID, y luego se solicita que realicen una reflexión final teniendo como base esta herramienta teórica.

En la sesión 7, cada equipo rediseñó su clase basándose en las reflexiones finales. Finalmente, en las sesiones 8 y 9, los equipos presentaron al curso el diseño de clase inicial, las reflexiones finales de la simulación y el rediseño de la clase.

## Análisis e interpretación de los datos

Para el análisis de los datos se utilizó la técnica de análisis de contenido (Cáceres, 2003), revisando los informes finales de cada equipo. El proceso de análisis se desarrolló en tres fases. En la primera fase, se realizó un análisis del diseño de la clase propuesta por cada equipo. En la segunda fase, se analizó las reflexiones de los equipos de trabajo, identificando los componentes e indicadores de los CID que orientaron la reflexión sobre la clase simulada. Para esto se siguió los criterios de análisis propuestos en Seckel et al (2022, p.5): a) La teoría de la idoneidad didáctica es la postura teórica con la cual se analizó el contenido, b) los segmentos de contenido (unidad de análisis), frases o párrafos, fueron individualizados para ser categorizados, c) dado el carácter dual de las dimensiones presentadas en la teoría de la idoneidad didáctica, se consideró como regla que una unidad de análisis puede ser categorizada en más de una dimensión. En la tercera fase, se seleccionó un caso para analizar en profundidad la relación entre las reflexiones y los cambios sugeridos en el rediseño de las clases. Para la interpretación de los datos se tuvo en consideración el criterio regulativo de dependencia (Guba & Lincoln, 2002, citado en Latorre, 2004), que consiste en un proceso de control de la interpretación de los datos a partir de la triangulación del análisis realizado por los autores de este estudio.

## RESULTADOS

### Clases diseñadas por las futuras maestras

A continuación, en la tabla 1, se presentan de manera general las características del diseño de clase que realizó cada equipo de trabajo antes de conocer los CID.

Equipo	Problema robótico		Enfoque de la tarea	Conceptos computacionales				Habilidades computacionales			Habilidades matemáticas				
	Sí	No		Integran conceptos matemáticos y computacionales	Refuerzan conceptos matemáticos	secuencia	bucle	evento	datos	Incremental e iterativo	Probar y depurar	Reutilizar y remezclar	Abstractar y modularizar	Resolución de problemas	representar
1	X			X				X	X	X			X		X
2	X			X					X				X	X	
3	X			X	X	X				X			X		
4	X			X	X	X				X			X		
5	X			X			X	X	X				X		
6	X			X	X	X				X	X		X		

Tabla 1. Caracterización de las clases propuestas

Tal como se muestra en la tabla 1, todos los grupos lograron diseñar un problema robótico para sus clases, y tuvieron un enfoque de refuerzo de conceptos matemáticos. Asimismo, respecto de las habilidades matemáticas pretendidas, todos los equipos declaran la habilidad de resolución de problemas y, además, uno declara la habilidad de representar y otro la de comunicar. Por otra parte, en cuanto al desarrollo del PC, se observa que la mayoría de los equipos (4 de 6) proponen abordar más de un concepto computacional en sus clases, principalmente los conceptos de secuencias y eventos. En cuanto a las habilidades computacionales pretendidas, la mayoría de los equipos (5 de 6) proponen abordar la habilidad de probar y depurar.

## Reflexiones sobre la simulación y propuesta de rediseño de clase

A continuación, en la tabla 2, se muestran los resultados generales de las reflexiones que evidenció cada equipo de trabajo después de realizar la simulación de la clase diseñada.

Equipo	Epistémico	Cognitivo	Interaccional	Afectivo	Mediacional	Ecológico
	Errores Ambigüedades Riqueza de procesos Representatividad Conocimientos previos Adaptación curricular a las diferencias ind. Aprendizaje Alta demanda cognitiva Interacción docente-estudiantes Interacción entre estudiantes Autonomía Evaluación formativa Intereses y necesidades Actitudes Emociones Recursos materiales N° de estudiantes, horarios y condiciones del aula Tiempo Adaptación al currículo Conexiones intra e interdisciplinarias Utilidad socio laboral Innovación didáctica					
1		x	x	x	x	+ +
2	+	x	x	+	x	+ +
3	x	x	x	x x	x x	x
4	x x x	x x x x	x x x x	x x x	x x x	x x +
5	x x	x	x	x x	x	x + +
6	x	x	x	x	x	x

Nota: x = reflexiones sobre aspectos de la clase que requieren mejora; + = reflexiones positivas sobre aspectos del diseño de la clase simulada.

Tabla 2. CID presentes en las reflexiones sobre las clases simuladas.

La tabla 2 permite observar que cinco de los seis equipos de trabajo (E2, E3, E4, E5 y E6) consideraron todos los CID para reflexionar sobre las clases simuladas. El equipo E1, a pesar de desarrollar un apartado de reflexión epistémica en su informe, el análisis da cuenta de un mal uso de esta herramienta, ya que dichas reflexiones corresponden al CID cognitivo, específicamente al componente de conocimientos previos. Asimismo, se observa que cuatro de los seis equipos (E1, E2, E4 y E5) reflexionaron sobre aspectos positivos de la simulación de la clase y, además, sobre los aspectos que requieren ser mejorados en el rediseño. Sin embargo, hubo dos equipos (E3 y E6) cuyas reflexiones se centraron solo en los aspectos que requieren mejora.

Por otra parte, se observa que en cada CID se reconoce al menos un componente que fue utilizado por la mayoría de los equipos de trabajo en sus procesos reflexivos. En el caso del CID epistémico, destaca el componente “riqueza de procesos” (5 de 6 equipos); en el CID cognitivo, destaca el componente “conocimientos previos” (5 de 6 equipos); en el CID interaccional, destaca el componente “docente-estudiantes” (todos los equipos); en el CID afectivo, destacan los componentes “intereses y necesidades” (4 de 6 equipos) y el de “actitudes” (4 de 6 equipos); en el CID mediacional, destaca el componente “recursos materiales” (4 de 6 equipos) y, finalmente, en el CID ecológico, destacan los componentes “adaptación al currículum” (5 de 6 equipos) y el de “utilidad socio-laboral” (4 de 6 equipos). Por último, es importante destacar la reflexión del equipo E4, dado que es el único que consideró todos los componentes de todos los CID para reflexionar sobre la clase simulada.

A continuación, en la tabla 3, analizamos en profundidad un equipo de trabajo que se destacó en el análisis general de los datos reportados en la tabla 2 (E4), por ser el equipo que utilizó la mayor cantidad de componentes de cada CID en sus reflexiones.

CID	Análisis de la reflexión	Análisis del rediseño
Epistémico	<p>El equipo plantea la siguiente reflexión relacionándola con el componente “errores”:  <i>“Consideramos que el error estuvo presente en el planteamiento del problema, que, a los niños y niñas dentro de la simulación solo se le plantearon preguntas, transformándose en ejercicios matemáticos, sin haber un razonamiento previo al ejercicio matemático.”</i> (reflexión E4).</p> <p>Sin embargo, esto no corresponde a un error matemático de la futura maestra a cargo de implementar el diseño de la clase, sino que se relaciona con el componente “riqueza de procesos”, dado que se espera promover la habilidad de resolución de problemas, pero no se presentan problemas matemáticos en la clase.</p> <p>Respecto al componente “ambigüedades”, el equipo presenta la siguiente reflexión:  <i>“Dentro de la actividad hubo algunos conflictos de significado, vistos al usar el término de suma o resta, cuando en realidad dentro de sus conceptos sólo conocen el añadir o quitar (educación Parvularia).”</i> (reflexión E4).</p> <p>Sobre la “riqueza de procesos”, el equipo señaló que:  <i>“Observamos que al ser una actividad que considera el trabajo de manera individual, no se logró trabajar de manera correcta, ya que en algunos casos solo se les mencionó que estaba bien el ejercicio matemático, pero no el “cómo” llegó a ese resultado o la “argumentación del error o veracidad” del resultado.”</i> (reflexión E4).</p> <p>En relación al componente “representatividad”, el equipo destacó lo siguiente:  <i>“Solo mencionamos que fue muy pequeña la representatividad de la simbología de la matemática pura de añadir o quitar.”</i> (reflexión E4).</p> <p>Esta reflexión no está lo suficientemente desarrollada para asegurar que el equipo comprende la idea de representatividad. No queda claro a qué se refieren con la idea de “simbología matemática pura”.</p>	<p>La propuesta de mejora implica cambiar el enfoque de la actividad, ya no se considera un problema matemático diferente para cada estudiante, sino que se plantea un problema matemático general para todos los grupos. Con esto, esperan asegurar: 1) unificar el trabajo que desarrollan los estudiantes para gestionar un mejor uso de conceptos matemáticos y adaptados al nivel educativo y 2) mejorar la riqueza de proceso, dando lugar a la comunicación del razonamiento matemático y a la resolución del problema. Lo anterior, da cuenta que en el rediseño no se consideran cambios en términos de “errores” matemáticos, ni de “representatividad”.</p>

Cognitivo	<p>Respecto al componente “conocimientos previos”, el equipo señaló que:  <i>“En este punto, debemos considerar, no tan solo una activación de conocimiento previos, sino que más que nada, preguntar a algún niño o niña, quièn no recuerda u olvido la programación computacional del BlueBot, con el significado de cada tecla, pensamos también que un buen ejercicio para potenciar en el área cognitiva es la repetición en voz alta, ya que se activa los recuerdos y motiva a los niños y niñas a trabajar de mejor manera”</i> (reflexión E4).</p> <p>En relación al componente “adaptación a las diferencias individuales”, el equipo reconoce que:  <i>“Si bien sabemos la gran mayoría supo responder bien las preguntas matemáticas, por la razón que fue una simulación entre personas adultas, pero si fuera dentro de un contexto real, la experiencia nos enseña que todos los niños y niñas tienen diferentes ritmos de aprendizajes, y ante eso, es necesario ir respondiendo a esos niños y niñas que tienen distintas características.”</i> (reflexión E4).</p> <p>Relativo al componente “aprendizaje”, se menciona que:  <i>“Aquí lo mismo que lo anterior, ya que, si fuera dentro de un contexto real, los docentes tras el tiempo que están con los niños y niñas conocen las características de cada uno, por ende, al momento de una actividad como esta, no tan solo se les ofrecería que trabajen con material concreto, sino más bien una variedad de maneras en que ellos pudiesen representar el resultado de la problemática.”</i> (reflexión E4).</p> <p>Esta reflexión evidencia una mala comprensión del componente de aprendizaje, ya que el discurso sigue centrado en el componente “adaptación a las diferencias individuales”.</p> <p>Respecto al componente “alta demanda cognitiva”, el equipo señala que:  <i>“Reflexionamos que debimos hacer notar el cierre de la actividad, no tan solo con preguntales si quieren volver a trabajar en una actividad similar, sino más que nada cerrarlo con la participación de algún niño o niña que quiera de manera voluntaria hacer una retroalimentación de la programación robótica, que contara si les resulto entretenido llegar al resultado usando el robot y cuál de los problemas matemáticos les resultaron más fácil y difícil.”</i> (reflexión E4).</p>	<p>La propuesta de mejora se enfoca en reforzar los conocimientos previos sobre el uso de los robots y la resolución de problemas matemáticos. En una descripción general, señalan la necesidad de considerar tareas de refuerzo para responder a las necesidades individuales, pero estas no las muestran en el rediseño. El tapete no considera modificaciones.</p> <p>En el cierre de la clase consideran un momento para que los estudiantes realicen una autoevaluación en función de la meta de trabajo.</p> <p>Lo anterior, da cuenta que en el rediseño no se consideran cambios en el componente “aprendizaje”.</p>
-----------	---	--

mediacional	<p>Respecto al componente “recursos materiales”, el equipo señaló que:  “Al ser la ruleta de manera digital, resultó difícil para utilizar en adultos, suponemos que en niños y niñas resultaría más dificultoso. Además, la ruleta que señalaba un color (colores presentes en las láminas que contenían ejercicios matemáticos), en el transcurso nos dimos cuenta de que mientras cada niña iba pasando a tirar la ruleta, podía salir el mismo color en un lapso de tiempo corto y teníamos que pedir la lámina a quien le había salido primero. Por este motivo, no cumplimos con la cantidad de recursos que se necesitaban al momento de ejecutar la planificación.” (reflexión E4).  En cuanto al “número de alumnos, se señaló que:  “Al ser una propuesta simulada con personas adultas, no se visualizan todos los puntos, pero sí podemos resaltar que fallamos en la distribución de las personas, ya que el trabajo planificado fue de manera individual. Dentro de un contexto real, nos preguntamos: ¿qué haríamos con los demás niños/as que están sentados? ¿Solo mirarían y esperarían su turno? A lo que la experiencia responde: estarían encima de los demás compañeros o distraídos, desplazándose por otros espacios del aula.” (reflexión E4).  En referencia al componente “tiempo”, el equipo manifestó que:  “En este punto, al ser una planificación con la participación individual, el tiempo fue excesivo, resultando una actividad muy larga y tediosa para trabajarlo con niños dentro del aula.” (reflexión E4).</p>	<p>La propuesta de mejora sugiere eliminar las tarjetas y utilizar una ruleta concreta que contenga problemas matemáticos, los cuales serán resueltos de manera grupal por todos los integrantes del curso. Además, se sugiere formar grupos de hasta 3 estudiantes para resolver los problemas de forma simultánea. Esta propuesta busca optimizar la dinámica de la actividad, fomentar la colaboración entre los estudiantes y reducir el tiempo necesario para completarla.</p>
Afectivo	<p>En cuanto al componente “intereses y necesidades”, el equipo manifestó que:  <i>“Si bien es cierto, trabajar con el uso del BlueBot resulta interesante y logra captar la atención de los estudiantes por un buen tiempo, de igual manera consideramos que debiera haber otra manera de captar su interés, pero en el área de las matemáticas, pudiese haber sido necesario la utilización de elementos cotidianos en la problemática para que ellos se familiaricen con la matemática, y a la vez, sea más amigable.”</i> (reflexión E4).  En relación al componente “actitudes”, se sugiere:  <i>“Crear un ambiente en donde lo actitudinal sea más positivo y motivante, ya que, en el primer diseño, resultaron ser algunos hechos muy mecánicos, rápidos y muy poco participativos.”</i> (reflexión E4). En cuanto a las “emociones”, la reflexión destaca que:  <i>“Llevándolo a la vida real, con estudiantes del nivel, vamos a generar varios conflictos personales, debido que como solo algunos pasan a realizar los ejercicios, provocaremos frustración al no poder utilizar el BlueBot, podrían generarse discusiones y peleas, seguido de, perder el interés de esta actividad y de los recursos utilizados.”</i> (reflexión E4).</p>	<p>La propuesta de mejora sugiere revertir el enfoque de planificación para evitar situaciones y emociones negativas por parte de los estudiantes. Para ello se sugiere un número adecuado de robots para la participación activa de todos. Además, se propone ofrecer la actividad en un espacio más amplio y cómodo, que brinde bienestar a los estudiantes y les permita tener más libertad y una mejor relación con los demás. Esta propuesta busca crear un entorno más favorable para el desarrollo emocional y social de los estudiantes.  Si bien el equipo reflexiona sobre la necesidad de considerar contextos de interés en los problemas matemáticos, estos problemas no se presentan en el rediseño.</p>

Interaccional	<p>En cuanto al componente “interacción docente-estudiantes”, el equipo señala que:  <i>“Sí estuvo presente, pero no como debiera haber sido, ya que no hubo en todos los casos un diálogo que permita argumentar en qué falló para llegar al resultado o cuál fue su error en la programación computacional.”</i> (reflexión E4).</p> <p>Respecto al componente “interacción entre estudiantes”, el equipo destacó que:  <i>“Al no haber un trabajo grupal, no se dio la oportunidad para el diálogo e intercambio de ideas entre sus pares.”</i> (reflexión E4).</p> <p>Sobre el componente “autonomía”, se reconoce que:  <i>“Estuvo presente la autonomía, pero dentro de un contexto real, los estudiantes podrían necesitar más recursos para la exploración”.</i> (reflexión E4).</p> <p>Por último, respecto al componente “evaluación formativa”, la reflexión destaca que:  <i>“Al ser una instancia única, no se logra apreciar este punto, pero sí consideramos importante que se debería realizar un registro de observación fotográfico, ya que nos ayudan a ver la progresión de sus aprendizajes de manera individual, y a la vez lo cualitativo nos ayuda a evaluar y registrar de mejor manera lo cuantitativo.”</i> (reflexión E4).</p> <p>Respecto de esta última evidencia se observa que no hay una comprensión acabada de este componente, dado que hacen referencia a la evaluación del aprendizaje (CID cognitivo) y no al monitoreo del aprendizaje que se realiza durante la implementación de la clase para una retroalimentación oportuna.</p>	<p>La propuesta de mejora sugiere una interacción más profunda y cercana entre la maestra y los estudiantes. En esta línea, el rediseño anticipa diversas preguntas que podrían plantearse durante el desarrollo de la clase. Además, se enfatiza en fomentar el diálogo y el trabajo en equipo entre los estudiantes para enriquecer la actividad (el rediseño, a diferencia del diseño, contempla la resolución de un mismo problema por grupos de trabajo). Además, se propone utilizar el registro de observación y fotográfico como una herramienta para analizar y seguir el progreso de los estudiantes, identificando áreas en las que puedan necesitar apoyo adicional.</p> <p>El rediseño no presenta cambios para fortalecer la clase en el ámbito de la evaluación formativa.</p>
Ecológico	<p>Respecto al componente “adaptación al currículo”, la reflexión destaca que:  <i>“Dentro de la simulación, nos resultó fácil llegar a los resultados de los ejercicios. Sin embargo, es importante considerar los errores encontrados al aplicar esta planificación, ya que el objetivo de aprendizaje establecido en las bases curriculares no se cumplió en su totalidad.”</i> (reflexión E4).</p> <p>Sobre el componente “conexiones intra e interdisciplinarias”, la reflexión plantea que:  <i>“En la simulación realizada no incorporamos la resolución de problemas matemáticos, si no ejercicios matemáticos, no estaban relacionados al todo con lo que se esperaba lograr.”</i> (reflexión E4).</p> <p>Esta reflexión es reiterativa ya que fue mencionada en el componente “riqueza de procesos” del CID epistémico, donde tiene sentido. De esta manera, observamos que el equipo no manifiesta una adecuada comprensión del componente “conexiones intra e inter disciplinarias”.</p> <p>Relativo al componente “utilidad socio-laboral”, el equipo destacó lo siguiente:  <i>“Como bien habíamos mencionado anteriormente, la utilización del BlueBot, es necesaria para un futuro, debido a que actualmente ya vemos cómo todo está transformándose a lo computacional, esto quiere decir que como todo avanza y evoluciona, también lo hará nuestro día a día. Poder manejar desde pequeño/a conceptos computacionales, te facilita las habilidades que puedas adquirir a futuro.”</i> (reflexión E4).</p>	<p>El rediseño propone mejorar la actividad (proponer problemas matemáticos) para que esté en línea con el objetivo curricular seleccionado para la clase</p>

Tabla 3. Análisis de la reflexión y rediseño del equipo E4

En cuanto a las reflexiones del equipo E4, se observa que presentan reflexiones relacionadas con todos los componentes de los CID; sin embargo, evidencian un uso deficiente de esta herramienta en algunos aspectos. Por ejemplo, en el CID epistémico, se identifica un uso inadecuado de los componentes “errores” y “representatividad”. Por otra parte, en cuanto al CID cognitivo, se resalta un uso inadecuado del componente “aprendizaje”. Con respecto al CID afectivo, se reflexiona sobre la importancia de incorporar contextos de interés en los problemas matemáticos, específicamente en el componente “intereses y necesidades”, pero estos no son integrados en el rediseño. Asimismo, en el CID interaccional, se evidencia una falta de comprensión en el uso del componente “evaluación formativa” mientras que, en el CID ecológico, se identifica un mal uso del componente “conexiones intra e interdisciplinares”.

Pese a lo anterior, las participantes proponen adecuaciones a su plan de clases inicial, las que se sustentan en gran medida por sus reflexiones sobre la simulación de la clase diseñada.

## CONCLUSIONES

Este estudio se enfocó en analizar las reflexiones de futuras maestras de infantil que se enfrentan al desafío de planificar una clase de matemáticas integrando el PC a través del uso del robot Blue-bot. A diferencia de otras investigaciones (Seckel et al. 2022) este estudio analiza las reflexiones sobre los diseños de clases simuladas y, mediante el estudio, se buscó responder a dos preguntas fundamentales: ¿Cuáles son los componentes de los Criterios de Idoneidad Didáctica (CID) enseñados en el módulo formativo que las participantes emplean para reflexionar sobre sus clases simuladas? ¿De qué manera se vinculan las reflexiones de las participantes con las propuestas de rediseño de las clases?

En cuanto a los componentes de los CID, se observaron hallazgos significativos en cada uno de ellos. En el CID epistémico, la “riqueza de procesos” fue el componente más relevante para la mayoría de los equipos, demostrando la importancia de enfocarse en el desarrollo de habilidades matemáticas. En el CID cognitivo, sobresalió el componente de “conocimientos previos”, evidenciando que las futuras maestras reconocen la importancia de considerar el conocimiento previo de los estudiantes al planificar sus clases. En el CID interaccional, se destacó la relación “docente-estudiantes” como un elemento crucial para fomentar un ambiente de aprendizaje efectivo. Asimismo, en el CID afectivo, los componentes relacionados con “intereses y necesidades” y “actitudes” fueron notables, lo que refleja la preocupación de las participantes por atender las emociones y motivaciones de sus estudiantes. En el CID mediacional, el componente de “recursos materiales” se destaca en las reflexiones, mostrando la relevancia del uso adecuado de herramientas como el robot Blue-bot para enriquecer la enseñanza de las matemáticas. Por último, en el CID ecológico, los componentes de “adaptación al currículum” y “utilidad socio-laboral” fueron destacados, subrayando la necesidad de alinear las actividades educativas con los objetivos y contextos curriculares.

No obstante, es importante mencionar que se identificaron debilidades respecto al uso de algunos de los CID y sus componentes, situación similar a lo observado en otros estudios (Seckel et al. 2022; Sala-Sebastià et al. 2023). En el caso estudiado en profundidad, el equipo E4 demostró su esfuerzo al abarcar reflexiones sobre todos los componentes de los CID, pero se identificaron deficiencias en el abordaje de aspectos clave en algunos de ellos, como el epistémico y el cognitivo. Estas observaciones sugieren la necesidad de una mayor profundidad en el análisis y aplicación de los CID por parte de las futuras maestras.

En relación a la vinculación de las reflexiones con las propuestas de rediseño de la clase simulada, el equipo E4 presentó sugerencias de mejora en base a las valoraciones de cada componente. Esto refleja la capacidad de las participantes para reconocer aspectos de sus prácticas pedagógicas que requieren ajustes y adaptaciones con el fin de optimizar el aprendizaje de sus estudiantes. Además, el estudio resalta la relevancia de formar a las futuras maestras en el desarrollo del PC en educación infantil y su integración en las clases de matemáticas con el apoyo del robot Blue-bot (Seckel et al. 2023), cuyos resultados subrayan la importancia de considerar los componentes de los CID como guía para la reflexión (Godino et al. 2019) y mejora de las prácticas de enseñanza (Breda et al. 2021). Las conclusiones de este estudio tienen implicaciones prácticas para la formación docente y abren oportunidades para futuras investigaciones que profundicen en el desarrollo del PC en el contexto educativo, promoviendo un enfoque más reflexivo y crítico en el diseño de experiencias de aprendizaje con el uso de la tecnología.

Una limitación de este estudio radica en el número de participantes, ya que no es posible la generalización de los resultados a otros contextos y niveles educativos. Además, el enfoque particular en el robot BlueBot y la integración del PC en clases de matemáticas podría restringir la aplicabilidad de los hallazgos a otras tecnologías educativas y áreas curriculares. Otra limitación se relaciona con la duración y alcance del módulo formativo, ya que la cantidad de tiempo y recursos dedicados a la formación podría influir en la profundidad y detalle de las reflexiones y propuestas de rediseño de las participantes.

Como futuras líneas de investigación, se sugiere ampliar el número de participantes y explorar las reflexiones que emergen al implementar las clases que articulan el pensamiento matemático y computacional en contextos reales. Además, se recomienda desarrollar programas de formación docente específicos que aborden de manera más profunda los componentes epistémicos y cognitivos de los CID, con el fin de mejorar la comprensión de esta herramienta que orienta los procesos de reflexión. Por último, se sugiere que a través de la investigación se responda a la necesidad de complementar los CID para facilitar reflexiones que profundicen aspectos relacionados con el desarrollo del PC. Estas investigaciones permitirían avanzar en la integración de la enseñanza de la matemática y el PC a nivel escolar.

## REFERENCIAS

- Brackmann, C., Barone, D., Casali A., Boucinha R., & Muñoz-Hernandez, S. (2016). *Computational thinking: Panorama of the Americas*. International Symposium on Computers in Education (SIIE), Salamanca, Spain. <https://doi.org/10.1109/SIIE.2016.7751839>.
- Breda, A., Font, V., y Pino-Fan, L. (2018). Criterios valorativos y normativos en la Didáctica de las Matemáticas: el caso del constructo idoneidad didáctica. *Bolema*, 32(60), 255-278. <https://doi.org/10.1590/1980-4415v32n60a13>.
- Breda, A., Pochulu, M., Sánchez, A. & Font, V. (2021). Simulation of Teacher Interventions in a Training Course of Mathematics Teacher Educators. *Mathematics*, 9, 3228. <https://doi.org/10.3390/math9243228>
- Brennan, K., & Resnick, M. (2012). New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking. In *Proceedings of the 2012 Annual Meeting of the American Educational Research Association* (Vol. 1, pp. 25). Vancouver: American Educational Research Association. <http://scratched.gse.harvard.edu/ct/files/AERA2012.pdf>. Accessed Aug 2022.
- Cáceres, P. (2003). Análisis cualitativo de contenido: una alternativa metodológica alcanzable. *Psicoperspectivas*, 2, 53–82.
- Casali, A., San Martín, P., Monjelat, N. & Viale, P. (2020). Experiencias y aprendizajes del trayecto proyectual en una Especialización Docente en Didáctica de las Ciencias de la Computación. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, (27), 9-19. <https://doi.org/10.24215/18509959.27.e1>
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Research methods in education (Sixth)*: Routle
- El-Hamamsy, L., Chessel-Lazarotto, F., Bruno, B., Roy, D., Cahlikova, T., Chevalier, M., ... & Mondada, F. (2021). A computer science and robotics integration model for primary school: evaluation of a large-scale in-service K-4 teacher-training program. *Education and Information Technologies*, 26, 2445-2475. <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10355-5>.
- Esqué, D., y Breda, A. (2021). Valoración y rediseño de una unidad sobre proporcionalidad utilizando la herramienta Idoneidad Didáctica. *Uniciencia*, 35(1), 38-54. <https://doi.org/10.15359/ru.35-1.3>
- Estebanell, M.; López, V.; Peracaula, M.; Simarro, C.; Cornellà, P.; Couso, D.; González, J.; Alsina, A.; Badillo, E., & Heras, R. (2018). *Pensament Computacional en la formació de mestres. Guia didàctica*. Servei de Publicacions UdG.
- Font, V., Planas, N., y Godino, J. D. (2010). Modelo para el análisis didáctico en educación matemática. *Infancia y Aprendizaje*, 33(1), 89-105.
- Freina, L., Bottino, R. & Ferlino, L. (2019). Fostering Computational Thinking skills in the Last Years of Primary School. *International Journal of Serious Games*, 6(3), 101-115. <https://doi.org/10.17083/ijsg.v6i3.304>.
- García-Peñalvo, F. J., & Mendes, J. A. (2018). Exploring the computational thinking effects in preuniversity education. *Computers in Human Behavior*, 80(1), 407-411. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.12.005>.
- Godino, J. D., Batanero, C., y Font, V. (2019). The onto-semiotic approach: Implications for the prescriptive character of didactics. *For the Learning of Mathematics*, 39(1), 37- 42.

- Guirado, C. M. (2022). *Pensamiento computacional a través de la programación en Educación Primaria: una propuesta didáctica* [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de Jaén]. Repositorio institucional de la Universidad de Jaén <https://hdl.handle.net/10953.1/1730>.
- Gusmão, T. C. R. S., & Font, V. (2020). Ciclo de estudo e desenho de tarefas. *Educação Matemática Pesquisa*, 22(3), 666-697.
- Huang, R., Takahashi, A., & Ponte, J. P. (2019). Theory and practice of lesson study in mathematics around the world. In R. Huang, A. Takahashi & J. P. Ponte (Eds.), *Theory and practice of lesson study in mathematics* (pp. 3-10). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-04031-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-04031-4_1)
- Hummes, V.; Breda, A.; Seckel, M. J.; Font, V. (en prensa). Improvement of reflection on teaching practice in a training course that integrates the Lesson Study and Criteria of Didactical Suitability. *Journal of Higher Education Theory and Practice* 23(14).
- Latorre, A. (2004). *La investigación-acción. Conocer y cambiar la práctica educativa [Action research. Knowing and changing educational practice]* (2nd ed.). Graó. <https://www.uv.mx/rmipe/files/2019/07/La-investigacion-accion-conocer-y-cambiar-la-practica-educativa.pdf>
- Llorens-Largo, F., García-Peñalvo, F. J., Molero-Prieto, X., & Vendrell-Vidal, E. (2017). La enseñanza de la informática, la programación y el pensamiento computacional en los estudios preuniversitarios. *Education in the Knowledge Society (EKS)*, 18(2), 7-17. <https://doi.org/10.14201/eks2017182717>.
- Melián, D. A. (2020). Pensamiento Computacional: sistema de monitorización de actividades desenchufadas, España [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de La Laguna]. Repositorio institucional de la Universidad de La Laguna <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/21329>.
- Montero, J. (2021). La inclusión de la robótica y el pensamiento computacional en la educación obligatoria, España [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de Málaga]. Repositorio institucional de la Universidad de Málaga <https://hdl.handle.net/10630/22704>.
- Pewkam, W. & Chamrat, S. (2022). *Pre-Service Teacher Training Program of STEM-based activities in Computing Science to Develop Computational Thinking*, *Informatics in Education*, 21(2), 311-329. <https://doi.org/10.15388/infedu.2022.09>
- Sala-Sebastià, G., Breda, A., Seckel, M.J., Farsani, D., Alsina, À. (2023). Didactic–Mathematical–Computational Knowledge of Future Teachers When Solving and Designing Robotics Problems. *Axioms* 2023, 12, 119. <https://doi.org/10.3390/axioms12020119>
- Seckel, M.J., Breda, A., Farsani, D. & Parra, J. (2022). Reflections of future kindergarten teachers on the design of a mathematical instruction process didactic sequences with the use of robots. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(10), em2163. <https://doi.org/10.29333/ejmste/12442>
- Seckel, M.J.; Breda, A., Font, V. & Vásquez, C. (2021). Primary School Teachers' Conceptions about the Use of Robotics in Mathematics. *Mathematics*, 9, 3186. <https://doi.org/10.3390/math9243186>
- Seckel, M. J., y Font, V. (2020). Competencia reflexiva en formadores del profesorado en matemáticas. *Magis, Revista Internacional de Investigación en Educación*, 12(25), 127-144. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.m12-25.crfp>

Seckel, M.J., Salinas, C., Font, V. & Sala-Sebastià, G. (2023). Guidelines to develop computational thinking using the Bee-bot robot from the literatura. *Education and Information Technologies*, <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11843-0>

Seckel, M. J., Vásquez, C., Samuel, M., & Breda, A. (2022). Errors of programming and ownership of the robot concept made by trainee kindergarten teachers during an induction training. *Education and Information Technologies*, *27*(3), 2955-2975. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10708-8>.

Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, *49*(3), 33-35.

Zapata-Ros, M. (2019). Pensamiento computacional desenchufado. *Education in the Knowledge Society (EKS)*, *20*(1), 18-29. [https://doi.org/10.14201/eks2019\\_20\\_a1](https://doi.org/10.14201/eks2019_20_a1)

# UMA PROPOSTA DE ENSINO DE ONDAS SONORAS COM USO DE ARDUINO

*Data de submissão: 30/08/2024*

*Data de aceite: 01/10/2024*

### **Jaqueline da Silva Rocha**

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física Programa, Universidade Federal de Viçosa – Viçosa – MG

### **Ana Paula Campos Fernandes**

Universidade Presidente Antônio Carlos, Governador Valadares

**Resumo:** Este artigo aborda a introdução da robótica no ensino de física com o objetivo de capacitar os alunos como protagonistas de sua própria aprendizagem. Destaca a importância de permitir que os alunos compreendam fenômenos naturais e avanços tecnológicos, criando um ambiente de aprendizado interativo que estimula habilidades como abstração, criatividade, liderança, habilidades computacionais e trabalho em equipe. O método utilizado é qualitativo, com uma abordagem de pesquisa-ação, onde o professor intervém para promover mudanças positivas no ambiente escolar. O projeto é dividido em três etapas: apresentação do ambiente de programação, exploração de conceitos físicos relacionados a ondas mecânicas e ecolocalização, e a construção de um sensor de estacionamento. No geral, o

projeto demonstrou que a robótica e a física podem ser usadas de forma eficaz para promover uma aprendizagem significativa e duradoura, destacando o trabalho em equipe e o desenvolvimento de habilidades cognitivas como benefícios. O projeto foi reconhecido com o primeiro lugar em uma feira de ciências da UFV, evidenciando o sucesso da iniciativa, embora sugira-se a realização de mais estudos para explorar ainda mais o impacto dessas abordagens inovadoras no ensino de física.

**Palavras-chave:** Tikercad; Ecolocalização; Ensino de Física; Arduino.

### **A PROPOSAL FOR TEACHING SOUND WAVES USING AN ARDUINO**

**Abstract:** This article addresses the introduction of robotics in physics teaching with the aim of empowering students to be protagonists of their own learning. Highlights the importance of enabling students to understand natural phenomena and technological advances, creating an interactive learning environment that encourages skills such as abstraction, creativity, leadership, computational skills and teamwork. The method used is qualitative, with an action research approach,

where the teacher intervenes to promote positive changes in the school environment. The project is divided into three stages: presentation of the programming environment, exploration of physical concepts related to mechanical waves and echolocation, and the construction of a parking sensor. Overall, the project demonstrated that robotics and physics can be used effectively to promote meaningful and lasting learning, highlighting teamwork and the development of cognitive skills as benefits. The project was recognized with first place in a UFV science fair, demonstrating the success of the initiative, although it is suggested that more studies be carried out to further explore the impact of these innovative approaches in teaching physics.

**Keywords:** Tinkercad; Echolocation; Physics Teaching; Arduino.

## INTRODUÇÃO

O ensino de Física tem como objetivo investigar os fenômenos mais fundamentais da natureza e estuda as interações entre matéria e energia. Como também levar o estudante a entender e relacionar a importância de estudar essa disciplina para sua formação e para sua vida, é um aspecto fundamental é um desafio para os educadores. O método tradicional de ensino é sempre muito criticado por pesquisadores em ensino, visto este ambiente a proposta deste trabalho é proporcionar uma ferramenta de ensino que envolve a prática experimental e tecnologia.

Nos Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio enfatizam que:

É preciso discutir qual Física ensinar para possibilitar uma melhor compreensão do mundo e uma formação para a cidadania mais adequada. Sabemos todos que, para tanto, não existem soluções simples ou únicas, nem receitas prontas que garantam o sucesso. Essa é a questão a ser enfrentada pelos educadores de cada escola, de cada realidade social, procurando corresponder aos desejos e esperanças de todos os participantes do processo educativo, reunidos através de uma proposta pedagógica clara. É sempre possível, no entanto, sinalizar aqueles aspectos que conduzem o desenvolvimento do ensino na direção desejada.

Não se trata, portanto, de elaborar novas listas de tópicos de conteúdo, mas sobretudo de dar ao ensino de Física novas dimensões. Isso significa promover um conhecimento contextualizado e integrado à vida de cada jovem. (Brasil, 1999, p. 23)

Abordar o ensino da física no ensino médio, pressupõe-se conhecer o percurso histórico de inclusão deste componente curricular na educação básica no Brasil, o qual é relativamente recente, há registros de sua implantação em 1837, no Colégio Pedro II, no Rio de Janeiro. Entretanto, somente em 1950 “a Física passou a fazer parte dos currículos desde o ensino fundamental até o médio, tendo sua obrigatoriedade ocorrido em função da intensificação do processo de industrialização no país.” (Rosa; Rosa, 2005, p. 4).

Na década de 1960, com a criação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) os currículos foram reformulados e intensificaram-se “os investimentos na aquisição de materiais para aulas experimentais, sobretudo através de convênios com instituições e governos estrangeiros.” (Rosa; Rosa, 2005, p. 5). Assim, havia o ensejo de que o ensino da física deixasse de ser centrado unicamente através de aulas expositivas, com resolução de exercícios algébricos, memorização de conceitos e fórmulas, centrado na preparação dos alunos para provas e vestibulares.

Na década de 1980 surgiu um novo paradigma educacional. A partir da modernização, a produção do conhecimento passou a ser direcionada para os avanços tecnológicos. Assim, iniciou-se a discussão de que não é possível separar o ensino de ciência e tecnologia. Mais uma vez o ensino sofre uma reformulação para que este esteja centrado em benefícios para a melhoria da sociedade.

Diante de tantas reformulações nos currículos da educação básica e no ensino da física, ainda hoje é possível encontrar um processo de ensino tradicional, em que o aluno não consegue fazer a correlação dos conteúdos aprendidos com as vivências do dia a dia, conforme salientam Rosa e Rosa (2005, p. 6):

No Brasil mais uma vez, de concreto não sofreu alterações significativas no ensino de Ciências, permanecendo um ensino preso a modelos tradicionais. O ensino de Física em particular, não consegue atingir os níveis desejados, sendo praticado, na sua grande maioria, por professores que desconheciam as relações entre Sociedade, Tecnologia e Ciência, mantendo-se arraigados aos processos de ensino voltado a informação, sem qualquer vínculo com as concepções modernas de educação. (Rosa e Rosa, 2005, p. 6)

Assim, é necessário que haja uma alteração efetiva e real no ensino da física na educação básica, pois os índices de proficiência demonstram que a aprendizagem dos alunos encontra-se muito abaixo do esperado, além de estar estagnado desde 2009, conforme dados do Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (PISA).

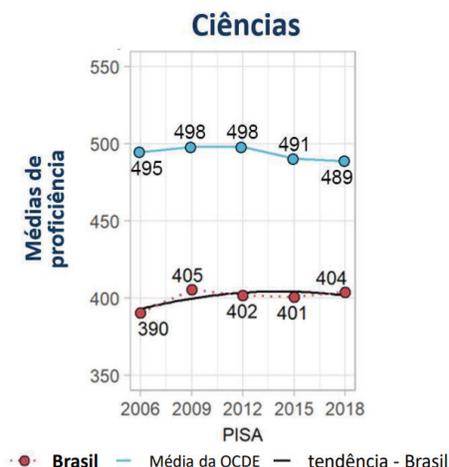


Gráfico 1 - Tendência das médias de proficiência do Brasil em Ciências do PISA. Fonte: Brasil (2019b)

Percebe-se, portanto, que embora tenha sido realizado o aumento nos investimentos na área de educação, a contar 18 bilhões de reais 2009 a 39 bilhões de reais em 2018, os índices de aprendizagem continuam abaixo do esperado e da média internacional, ou seja, o desempenho escolar não acompanhou o aumento dos gastos em educação. Além disso, 55% dos estudantes não possuem nível básico de proficiência em Ciências, sendo incapazes de resolver questões simples e rotineiras. Estes dados colocam o Brasil em último lugar no ranking de aprendizagem de ciências na América do Sul. (Brasil, 2019a)

Tais dados demonstram a necessidade de melhorar os índices de aprendizagem. Assim, além do professor dominar o conteúdo o qual irá lecionar, é igualmente importante que ele saiba como vai ensinar para os alunos aprenderem. A este respeito, Carvalho e Sasseron (2018, p. 43):

Dizíamos que os alunos aprendiam quando eles sabiam repetir na prova de avaliação o que o professor tinha falado em classe, o que eles tinham decorado do livro texto e, também, quando o aluno acertava os problemas muito parecidos com a lista de exercício já resolvidos em aulas. Um aluno que estudasse na véspera da prova era um bom aluno. Mas esse padrão de ensino, no qual o professor é o agente que pensa e o aluno é o agente passivo, que segue o raciocínio do professor, mudou. Passou-se a exigir que o professor levasse o aluno a construir ele próprio a estrutura do pensamento. Era importante ter um aluno intelectualmente ativo. E isso não é fácil. A profissão de professor ficou muito mais difícil. (Carvalho; Sasseron, 2018, p. 43)

Nesta perspectiva, o “como” ensinar está centrado no processo de formação de professores. Ensinar na atualidade pressupõe saber o conteúdo a ser lecionado, mas também refletir sobre teorias da área de pedagogia e didática, para conseguir trazer o conhecimento aplicado às práticas cotidianas dos alunos. Estas práticas podem ser embasadas em estudos realizados desde a década de 90, os quais difundem que o ensino da atividade científica deve ser realizado como prática social (Longino, 1990; Knorr-Cetina, 1999 apud Carvalho; Sasseron, 2018, p. 44).

Nesse sentido, o ensino da física deve possibilitar ao estudante uma formação no contexto científico que o mesmo compreenda e interprete os fenômenos naturais e a evolução tecnológica. Norteadas pelos conceitos de Lev S. Vygotsky, onde o aluno não é simples receptor mas faz parte de um processo de construção dos conceitos que, inclusive, valoriza os conhecimentos do cotidiano, parte deles para a construção de saberes mais sistematizados. Logo, saber Física corresponde, a saber, empregar instrumentos conceituais para dialogar com o mundo em vários níveis do seu contexto.

Introduzir a robótica nas aulas de física oferece ao professor o papel de mediar, fazendo com que o aluno torne-se o protagonista da sua própria aprendizagem, além de criar situações ambientes de aprendizagem, desenvolvendo a capacidade de abstração, pois serão levados a colocarem suas ideias em um ambiente virtual de interação simultânea e depois com experimentação prática. Portanto, o processo de ensino/aprendizagem deixa

de estar centrado no professor e o educando assume um papel ativo na construção do seu próprio conhecimento, ele planeja, elabora e testa hipóteses, desenvolve habilidades como curiosidade, liderança, habilidades computacionais, criatividade e inovação, comunicação eficiente, planejamento e organização, trabalho em equipe, usadas como ferramentas não só no ensino de física mas para seu dia a dia.

Assim, levando em conta a necessidade de transformação do processo de ensino aprendizagem no conteúdo de física, além de para melhorar os índices de aprendizagem, nos próximos capítulos serão descritas as etapas da sequência didática proposta.

## REFERENCIAL TEÓRICO

Para que os alunos conseguissem a melhor compreensão do funcionamento do sensor de estacionamento se fez necessário que os mesmos tivessem estudado sobre ondulatória, um conteúdo da disciplina Física costumeiramente abordado no segundo ano do ensino médio. Como o foi ofertado para todos os alunos do ensino médio, e tivemos participantes do segundo e terceiro ano, logo foi grande importância uma pequena revisão do conteúdo.

Abaixo segue um pouco da referência teórica e imagem reproduzida a partir do quadro branco no dia dessa revisão. Usando como referência o livro didático ofertado pela escola Ser Protagonista, e o livro Fundamentos de Física” de Halliday e Resnick publicada em 1991, a sequência foi uma explicação do que é uma onda, suas características e nos fenômenos ondulatórios focado apenas para reflexão da onda.

### Ondulatória

Estamos rodeados em nosso meio por ondas, mecânicas, sonoras, luminosas, de rádio eletromagnética. Graças a elas temos acesso a muitas maravilhas do mundo moderno, como GPS, Raio X, radar, telecomunicações, tv, o rádio, etc.

#### *O que é uma onda?*

Esse fenômeno pode ser descrito como uma perturbação num meio. É toda sequência de pulsos na qual há transporte de energia sem que haja transporte de matéria.

#### *Ondas Sonoras*

Definimos o som como uma onda mecânica é uma onda mecânica, longitudinal, tridimensional e periódica. Definiremos agora algumas características das ondas, destacando dentre elas as que se atribuem as ondas sonoras. Elas podem ser classificadas quanto a sua natureza de vibração, direção de vibração, e grau de liberdade para a propagação (Halliday e Resnick, 1991).

## Características das ondas

Podem ser classificadas pela direção de vibração, direção de propagação e pela natureza.

- Pela direção de vibração:
  - Ondas transversais: a direção da perturbação é perpendicular à direção da vibração
  - Ondas longitudinais: a direção da perturbação é a mesma da propagação.
- Pela direção de propagação:
  - Ondas unidimensionais: se propagam em uma direção, exemplo: ondas em uma corda.
  - Ondas Bidimensionais: se propagam em duas direções, exemplo as ondas se propagando na superfície de um lago.
  - Ondas Tridimensionais: as ondas que se propagam em todas as direções possíveis., como exemplo as ondas sonoras.
- Pela natureza:
  - Ondas mecânicas: precisam de meio material para se propagar, como por exemplo, as ondas sonoras e as ondas em uma corda.
  - Ondas eletromagnéticas: se propagam tanto no ar quanto no vácuo, como por exemplo, as ondas de rádio e a luz.



Figura 1: Ilustração do quadro branco no dia da aula sobre ondas. Fonte: acervo dos autores.

## Propriedades gerais da onda

A figura abaixo representa o modelo simplificado de onda.

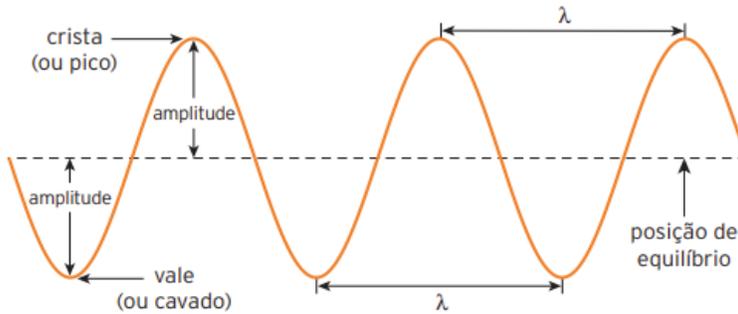


Figura 2: Esquema com as principais propriedades de uma onda. Fonte: Válio et al (2015)

- **Crista:** ponto mais alto de uma onda.
- **Vale:** ponto mais baixo de uma onda.
- **Amplitude (A):** máximo deslocamento escalar da onda a partir da sua posição de equilíbrio
- **Comprimento de onda ( $\lambda$ ):** a distância entre duas cristas ou entre dois vales.
- **Período (T):** intervalo de tempo que uma onda leva para realizar um ciclo completo.
- **Frequência (f):** número de ciclos completos por unidade de tempo. A frequência pode ser calculada como o inverso do período.
- **Velocidade da onda (v):** é comprimento de onda dividido pelo período, equação fundamental da ondulatória  $v = \lambda \cdot f$

## Fenômenos ondulatórios

Quando uma onda incide em uma superfície, ela se propaga. As formas de propagação das ondas são reflexão, refração, difração e interferência.

Quando uma onda incide na fronteira entre dois meios, uma parte da energia incidente retorna ao meio onde a onda se propagava (reflexão); a outra parte passa a se propagar no novo meio (refração).

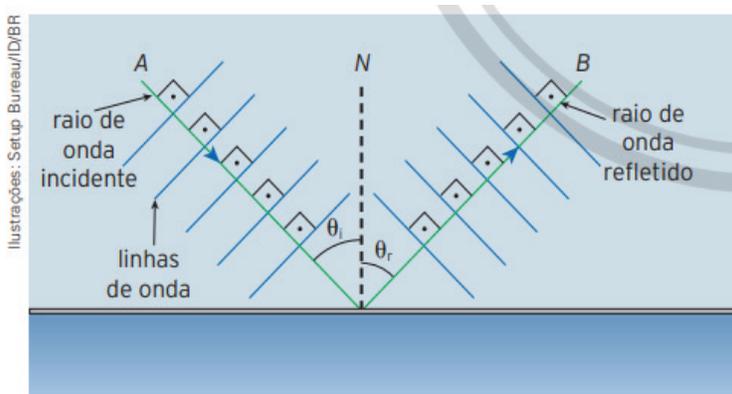


Figura 3: Exemplo de onda reta sendo refletida. Fonte: Válio et al (2015)

## MÉTODOS

O projeto tem uma abordagem qualitativa, não atendo análise numéricas da aprendizagem. Além disso, é uma pesquisa-ação a qual pode ser definida como intervenção realizada pelo professor em busca de mudanças positivas no contexto escolar.

Os autores deste projeto trabalham em escolas estaduais do estado de Minas Gerais sendo uma delas faz Mestrado Profissional no Ensino de Física. Como parte do plano de ensino da disciplina “Atividades Experimentais para o Ensino Médio e Fundamental” foi proposto um uma aplicação do Arduino no Ensino da Física. Esta proposta foi inscrita na Feira de Ciências da UFV e na Feira de Ciências do STEM Brasil.

As etapas do desenvolvimento das atividades foram: Etapa 01, apresentação do ambiente de programação, o Tinkercad que usa a linguagem de programação C++ e apresentação dos componentes do kit robótica, etapa 02, referencial teórico envolvidos no tema do trabalho, ondas mecânicas e ecolocalização, com o objetivo de potencializar a aprendizagem dos conceitos físicos por trás da temática, e etapa 03 a elaboração e construção do sensor de estacionamento. Todas essas etapas serão melhor detalhadas no próximo capítulo.

Ainda no próximo capítulo haverá um tópico específico para a avaliação dos alunos sobre o projeto realizado. Nesta etapa os mesmos responderam um breve questionário detalhado na seção.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Detalhamento da sequência didática: o uso do Arduíno na disciplina de física

#### *Etapa 4.1: Apresentação do ambiente de programação*

A abertura da aula foi com a seguinte pergunta: O que é programação? Esperava-se que os alunos apresentassem seus conhecimentos sobre o assunto, dando a eles um tempo para pensarem individualmente sobre a pergunta norteadora. A partir das respostas, a discussão foi conduzida para a linha correta de raciocínio, levando-os a pensar onde se vê programação no seu cotidiano e os aproximar da linguagem do futuro, já que o uso da tecnologia faz parte das nossas vidas e o seu conhecimento é cada vez mais valorizado no mercado de trabalho. Posteriormente, eles conheceram três grandes áreas que prometem ser as mais promissoras:

- Desenvolvedores: dentre outras atribuições, são os profissionais capacitados para criar aplicativos e softwares;
- Analistas/cientistas/Engenheiros de dados: resumidamente são profissionais que atuam em coletas, compilação, análise e interpretação de grandes volumes de dados. Trabalham em muitos setores como por exemplo em grandes empresas e agências governamentais.
- Especialistas machine learning e Inteligência artificial: esses profissionais tem a capacidade de criar dispositivos eletrônicos que analisem dados e tomem decisões como se fosse o cérebro humano.

Também foi apresentado um breve dicionário da linguagem de programação com os significados mais relevantes para o desenvolvimento do trabalho: Algoritmo, Backup, bug, código e loop. Assim como, as principais linguagens de programação, JavaScript, Python, C++, onde são vistas no dia a dia para uma melhor identificação da importância da aula. A situação foi aproveitada para atentar por meio de exemplos de seu uso e onde são encontradas:

- JavaScript: em sites front-end e no desenvolvimento de jogos, como o linkedin e o jogo Mortal Kombat, com salários médios de 4.814,00/mês.
- Python - trabalham com scripts e arquitetura de sites, softwares e aplicativo, com salários médios de R\$ 5.469,00/mês;
- C++ - criam programas de computador, sistemas operacionais, desenvolvimento de videogames, com salário médio de R\$ 7.156,00/mês.

Nesta mesma aula, os alunos foram instruídos de como utilizar o Tinkercad, que é uma ferramenta online de design de modelos 3D e simulação de circuitos elétricos, desenvolvida pela Autodesk, que será a ferramenta usada para a próxima etapa do projeto. Usaram o ambiente de simulação de circuitos, os quais não precisaram fazer cadastro no site, pois a professora criou uma sala de aula e cadastrou cada participante, sendo possível o controle e auxílio dos circuitos.

Os estudantes tiveram a oportunidade de conhecer todo o ambiente com a ajuda da professora. Cada um criou, inicialmente, para se familiarizar, a simulação de um semáforo e logo depois passaram essa simulação para a prática com os kits de robótica que receberam. Assim, montaram o protótipo, conhecendo os componentes envolvidos, sendo eles, leds, resistores, protoboard, jumpers e uma placa de Arduino uno.

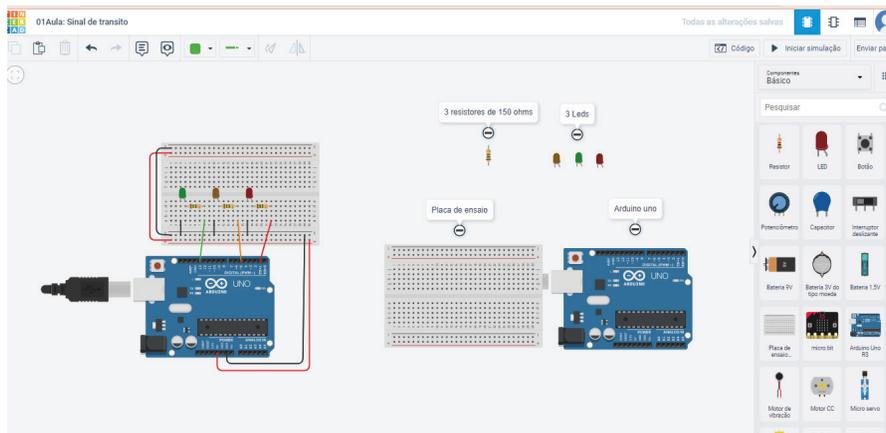


Figura 4: Ambiente de simulação tinkercad e componentes usados. Fonte: acervo dos autores

Cada estudante usou as portas que achava mais conveniente, e ao realizarem a atividade prática de montagem na placa de ensaio, notaram que o semáforo não funcionava, os leds não estava piscando como eles imaginavam, faltava alguma coisa e assim surgiram questionamentos como:

“Mas professora, tem alguma coisa errada!”

“Está tudo ligado, mas nada acende.”,

Criando a oportunidade esperada para que, em vez de respondê-los de imediato, os mesmos foram questionados com algumas perguntas do tipo:

“Mas porque vocês acham que nada funciona?”,

“Vocês deram algum comando para o programa?”,

“Como vamos nos comunicar com a máquina?”.

A partir destes questionamentos, foi possível notar que eles tiveram alguns insights, do tipo:

“Nossa é mesmo! Ninguém falou nada para o computador”,

“A gente estava achando que ele ia adivinhar o que era para fazer com esse tanto de fio.”

“Isso faz todo sentido, mas e agora? Como vamos fazer funcionar?”

O momento foi como esperado para explicar que, para nosso semáforo funcionar precisamos dar ordens para o circuito e assim, criar um código de programação ou uma linguagem para o homem interagir com a máquina.

A linguagem C++, é a linguagem disponível no simulador Tinkercad, foi utilizada para o desenvolvimento das atividades. Este software é bem didático, além da forma mais comum de códigos que são em textos, ele fornece aos usuários os códigos em forma de blocos, que é muito mais simples de compreensão e utilização, sendo assim esta foi a escolhida para o desenvolvimento dos dois projetos, o semáforo e o projeto principal, o sensor de estacionamento.

Esse momento também foi um grande desafio, pois a linguagem de programação exige dos aprendizes raciocínio lógico, o aluno acaba sendo ensinado a pensar de forma estruturada, pois eles dignam ações a serem cumpridas através dos códigos específicos para cada. O ensino de robótica estimula o aluno a organizar seus pensamento e ações. Essa atividade pode vir a melhorar o desempenho em outras disciplinas escolares, as que foram observados pelos próprios, a matemática, física e também o inglês.

Vencida a etapa da criação do código para o funcionamento do semáforo, chegou a hora da instalação do programa Arduino, esta etapa os alunos puderam notar que para o nosso semáforo virar algo físico e sair no ambiente de programação deveria existir uma ponte de ligação e comunicação entre esses dois sistemas. Cada um entrou no site oficial do Arduino (<https://www.arduino.cc/en/software>) baixaram e instalaram o Arduíno IDE 1.8.19. Lhes foi passada pequenas informações sobre a interface, baixamos o código do tinkercad e carregamos.

Como era de se esperar os circuitos de alguns alunos não deram certo, mesmo funcionando no simulador, o que também foi um grande momento do trabalho, pois lhes foi explicado sobre as portas, a disposição e separação da placa de ensaio, alguns leds estavam queimados, mas o alunos só conseguiram notar o mal funcionamento das peças porque houve um grande comprometimento de todos e trabalho em equipe, o aluno que conseguiu resolver o seu problema passou a ajudar os demais.

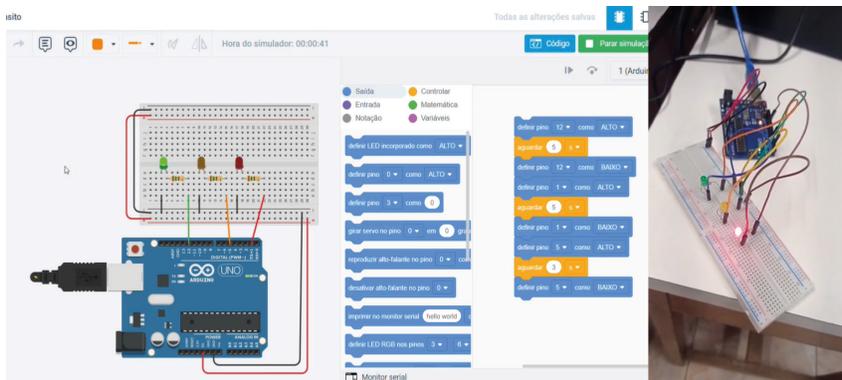


Figura 5: Simulador e protótipo de sinal de trânsito. Fonte: acervo dos autores

Ao final desta aula, depois de tantas barreiras e erros, o projeto do sinal de trânsito estava funcionando, e pode ser notado a felicidade e satisfação dos alunos. A presença do erro, é inevitável, ensinar a pensar sobre ele faz muita diferença no processo de ensino aprendizagem, como afirma Luckesi (2002). “o erro não é fonte de castigo, mas suporte para o crescimento”, a final de contas, aprender é reestruturar o sistemas de compreensão. O objetivo não era os alunos na primeira barreira erro, largar o projeto, e sim buscarem por si mesmo as respostas.

No processo de investigação científica o não sucesso tem duas indicações, em primeiro, um indicador que ainda não chegou na solução necessária, e em segundo, o modo de como não resolver um problema. Toda essa etapa foi necessária para facilitar as próximas, criar subsunçores para o crescimento do conhecimento.

*Etapa 4.2: Questão problema: Como os morcegos se orientam sem utilizar a visão?*

Nesta etapa, foram explicados conceitos físicos envolvidos no projeto, descobertos os subsunçores que os estudantes tinham sobre a pergunta e assim desenvolvidos os novos conceitos em torno da ecolocalização.

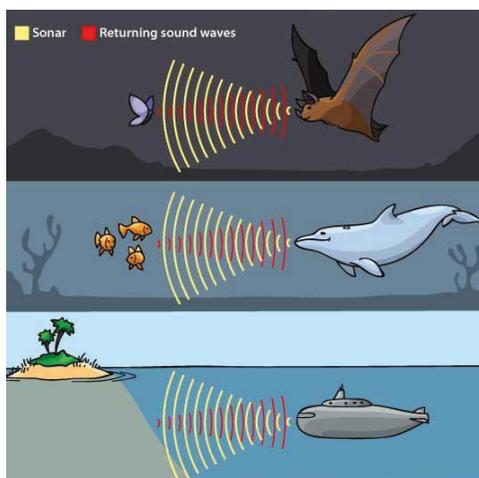


Figura 6: Ilustração da ecolocalização de morcegos, baleias e também a emissão de ondas ultrassônicas artificiais. Fonte: sonarfisica.blogspot.com

Definida como uma forma de comunicação, utilizada por alguns animais, como morcegos e golfinhos. Pode ser chamada de biossonar ou localização pelo eco, sendo uma importante adaptação, que permite o reconhecimento do ambiente sem o auxílio da visão. Esses animais conseguem montar um mapa de localização, pois têm uma visão pouco desenvolvida ou vivem em ambientes pouco iluminados.

Através da observação, dessa característica nestes animais, a ecolocalização é usada em várias áreas como, por exemplo, na medicina com o ultrassom, no sensor de estacionamento dos carros.

Dando prosseguimento à metodologia da aula, os alunos foram indagados de quais outros conceitos físicos estão envolvidos na ecolocalização. A partir deste momento foi abordado o tópico “Som e a habilidade: compreender as propriedades e efeitos das ondas sonoras”, que está dentro do eixo temático “Luz, som e calor”, presentes no plano de curso do Ensino Médio 2022 do Governo de Minas Gerais.

Neste tópico, a aula foi conduzida para a explicação de ondas sonoras, sendo elas um tipo de onda mecânica, longitudinal e tridimensional, sobre velocidade do som em diferentes meios, o espectro sonoro, infrassom, a faixa audível ao ouvido humano e o ultrassom.

Com o auxílio do gerador de som online, foi possível gerar algumas frequências sonoras e observar quantos alunos conseguem escutar o som gerado.

Foi feito um estudo da função de cada peça, com foco no sensor ultrassônico que tem a função de descobrir a distância de um objeto, a partir da emissão de uma onda ultrassônica (Trigger) e aguardar que essa onda atinja algum objeto e retorne (Echo) para saber se há algo em seu trajeto. O sensor usado no Arduino é o sensor ultrassônico HC-SR04 ele é capaz de medir de 2 cm até 4 m e opera na tensão de 5V disponível na placa de Arduino uno.



Especificações técnicas do módulo ultrassônico HC-SR04	
Tensão de Operação	5 V DC
Corrente de Operação	15mA
Frequência Máxima de Leitura	40Hz
Distância Máxima	4m
Distância Mínima	2cm
Sinal de entrada do Trigger	Pulso de 10uS

Figura 7: Pinos do sensor HC-SR04 Tabela 01: Especificações técnicas do módulo ultrassônico HC-SR04, Fonte: [flaviobabos.com.br/sensor-ultrassonico-arduino/sonarfisica.blogspot.com](http://flaviobabos.com.br/sensor-ultrassonico-arduino/sonarfisica.blogspot.com)

Aqui foi explicado como o sensor calcula a distância entre ele e o objeto, que é feito a partir do tempo de emissão e o tempo de recepção do sinal ( $\Delta t$ ), onde o cálculo é feito usando a velocidade do som, que é de 340,29 m/s.

$$\Delta S = 340,29 \cdot \frac{\Delta t}{2}$$

Onde,  $\Delta S$  é a distância percorrida pelo sensor e  $\Delta t$  é a tempo de ida e volta do pulso sonoro.

### Etapa 4.3: Criação do protótipo do sensor de estacionamento

Esta etapa começou com a separação do material usado para a montagem do sensor, que são: dois leds vermelho e outro amarelo, dois resistores de 150 ohms onde foi usada a lei de OHM para chegar ao valor da resistência em cada led, um Buzzer Ativo, um sensor ultrassônico, um Arduino uno, uma protoboard de 400 pontos e alguns jumpers macho.

Com o material separado, iniciou-se a construção do circuito no simulador Tinkercad. Assim como na etapa do semáforo, cada estudante criou o seu circuito, como já havia ambientação com simulador, esta fase foi mais rápida que esperado, pois já tinham conhecimento prévio necessário para a criação tanto do circuito como do código de funcionamento. Houve apenas uma intervenção maior nesta etapa quanto ao código, pois nele havia uma variável nova Distância que foi criada junto com os estudantes e explicada sua função dentro do código.

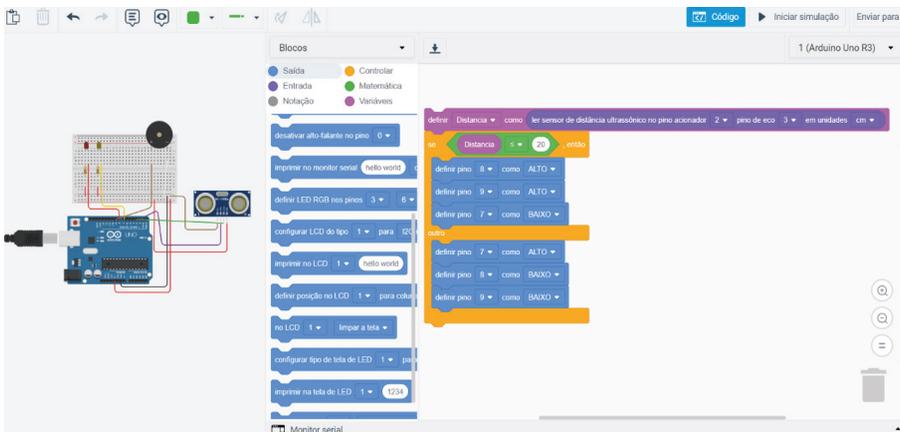
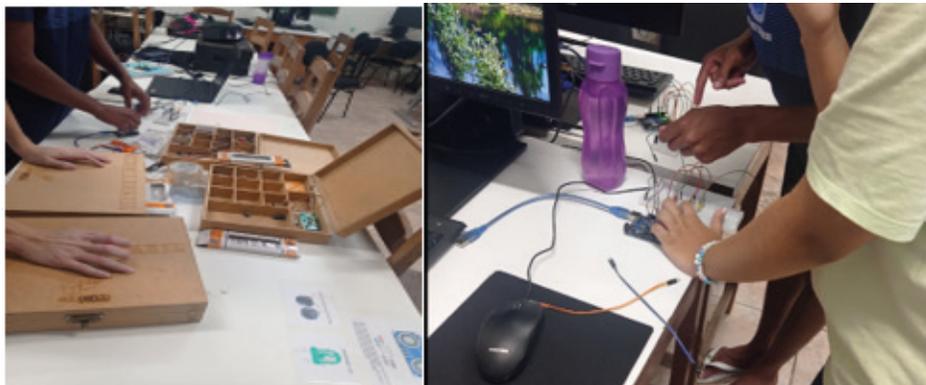


Figura 8: Circuito e código de um dos alunos. Fonte: acervo dos autores

Durante todas as etapas houve erros de programação, erros de montagem e até alguns alunos “perderam a paciência”. Neste momento, foi necessário a intervenção do professor em desenvolver outras atividades para que eles não desistissem do desenvolvimento do projeto. Assim, retornaram para sala de aula e direcionaram a atenção em outras atividades relacionadas ao ensino/aprendizagem de física, pois sem paciência diminuiriam as possibilidades de assimilarem o objetivo do projeto e o desenvolvimento das atividades com êxito. Houve também momentos de eles retornarem, em outro dia, cheios de ideias para resolver algum dos problemas que surgiram durante algumas das atividades.



Figuras 9 e 10: Montagem do sensor de estacionamento Fonte: acervo dos autores

As figuras 9 e 10 apresentam um dos momentos que desmontaram todo o circuito, testaram as peças, pois no dia anterior houve a tentativa de reduzir a quantidade de jumpers aparente, o que infelizmente não deu certo e tiveram que remontar. Portanto, este processo de erros e acertos, na tentativa de resolver os problemas propostos, é um momento de aprendizagem significativa.

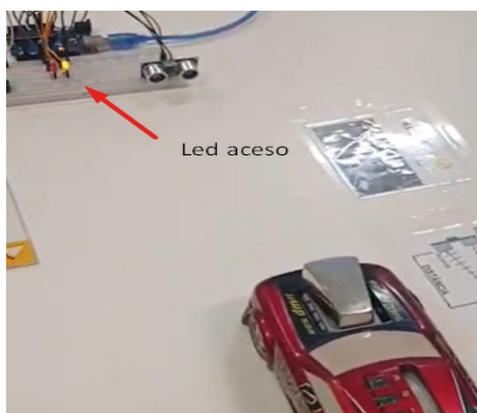


Figura 11: Carro a uma distância segura. Fonte: acervo dos autores

Certamente a atividade descrita poderia ter sido estudada de forma mais profunda, desenvolvendo em mais detalhes a parte teórica com os alunos. No entanto, do ponto de vista didático, este projeto foi extremamente satisfatório, em nível de Ensino Médio o desenvolvimento da atividade prática foi suficiente para dar aos estudantes subsídios para a compreensão da teoria.

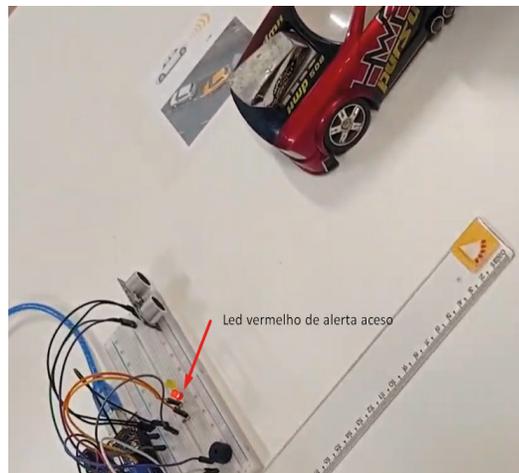


Figura 12: Carro a uma distância menor de 20 cm. Fonte: acervo dos autores

Levando em consideração que a escola a qual foi desenvolvido o projeto é uma escola da rede estadual, situada em uma zona rural, e mesmo depois da pandemia onde o nível de conhecimento dos alunos diminuiu drasticamente devido a inúmeros fatores que não cabe ressaltar neste momento, a participação dos estudantes nas atividades propostas foi de muito empenho. Esta atividade foi ofertada a aproximadamente 60 alunos dentre eles 1º, 2º e 3º ano do ensino médio, mas apenas três alunos tiveram interesse em participar. Acredita-se que foi pela falta de conhecimento sobre o tema, pois quando as atividades iniciaram-se e os envolvidos começaram a comentar com os demais, apareceram mais alunos interessados. A pouca adesão não foi ruim, pois cada aluno recebeu melhor atenção, e a quantidade de material foi suficiente para todos montarem seu próprio protótipo, sem a necessidade de compartilhar.

Ao final da sequência didática, os alunos que desenvolveram as atividades ficaram satisfeitos por terem conseguido resolver o problema apresentado em sala de aula, além de chegaram à conclusão que a robótica e a física proporcionaram aulas mais interativas. Na perspectiva da professora que desenvolveu o projeto, foi possível explicar as teorias da física de forma mais prática e que pudesse relacionar o conteúdo teórico de aplicada em situações do cotidiano. Para um próximo estudo, sugere-se que sejam discutidas questões relacionadas ao aumento da adesão dos alunos em atividades como a apresentada no estudo.

## AVALIAÇÃO E VISÃO DOS ALUNOS

Neste projeto não houve um sistema de avaliação como aplicado na maioria das vezes que apresenta somente uma relação com provas e notas, pois esse poderia gerar um impacto negativo nos estudantes.

Durante todas as atividades acima descritas foram dados feedback de orientação que visava ajudar os estudantes a aprimorar e aumentar seu conhecimento com relação ao que estava sendo ensinado. Em alguns casos, também foi importante deixar visível que seu comportamento ou a sua vontade em aprender “motivação” impacta diretamente na qualidade da sua aprendizagem.

Foi utilizado uma outra forma de feedback da descrita acima, onde podemos ver os resultados pela visão dos alunos, o que possibilita saber se o aluno aprendeu ou não o proposto. Foram elaboradas as seguintes questões:

Sobre o projeto do sensor de estacionamento, descreva:

- a) Se o projeto alterou sua visão sobre o conteúdo “Física”.
- b) E como foi sua experiência em participar da elaboração de todas as etapas do projeto?
- c) Para finalizar, dê sua opinião de qual foi a contribuição desse trabalho para sua vida escolar.

Inicialmente a proposta era um questionário de forma anônima, onde os mesmos ficariam livre para responder as perguntas, mas como a escola é rural e estávamos em período de chuvas, não tinha como os ônibus escolares buscá-los, pois as estradas estavam ruins, impossibilitando assim a ideia inicial, então optamos em enviar o questionário pela rede social.

Abaixo estão as respostas de alguns alunos, estas foram passadas para o formulário. Preferimos colocar apenas uma resposta de cada aluno.



Figura 13: feedback do aluno 01 Fonte: acervo dos autores



Figura 14: feedback do aluno 02 Fonte: acervo dos autores



Figura 15: feedback do aluno 03 Fonte: acervo dos autores

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este projeto abordou o uso de robótica, o uso do Arduino e seus componentes como ferramenta no processo de ensino e aprendizagem de Física, levando a uma aprendizagem realmente significativa, isto é, capaz de criar aprendizagem duradoura e aplicada à resolução de problemas do dia a dia, uma vez que a proposta era utilizar os conhecimentos da física e robótica para simular um sensor de estacionamento. Além disso, pôde-se observar as relações dos alunos, com o trabalho em equipe, e capacidades cognitivas com a concepção de códigos que estimulam o raciocínio lógico matemático.

A grande interação dos alunos envolvidos os possibilitou aprender fazendo e utilizando os conhecimentos adquiridos durante o processo, os fez relacionar ciência e tecnologia, presente no dia a dia e os conectar com áreas em constante crescimento.

Também foi possível observar que durante as atividades com o material de robótica, notaram que não é um trabalho simples e rápido de se fazer e que requer várias habilidades, e tem a possibilidade de levar o estudante a compreender o mundo do trabalho e a complexidade e responsabilidades em torno da sociedade.

O resultado de todo trabalho desenvolvido em sala de aula, pode ser observado durante a feira de ciência da UFV, cuja organização foi excelente, domínio do conteúdo e principalmente a segurança apresentada pelos alunos durante a apresentação. O final desse trabalho nos levou a ganhar o primeiro lugar, prêmio que veio como um reconhecimento tanto do trabalho dos alunos, quanto de toda comunidade escolar que efetivamente se uniu para levar os participantes em outra cidade, com recursos da comunidade, mas principalmente dos pais.

Portanto, o desenvolvimento desta sequência de atividades foi considerado positivo, tanto pelos professores envolvidos quanto para os alunos, trouxe como resultados que é possível aplicar conhecimentos da física de forma mais prática. Entretanto, sugerem-se mais estudos apresentando os resultados de atividades práticas, bem como, discussões sobre o índice de participação e interesse dos alunos. Uma vez que metodologias ativas e desenvolvimento de resolução de problemas na área de física tem sido pouco exploradas em publicações científicas.

## REFERÊNCIAS

ALLEVATO, Norma SG; ONUCHIC, Lourdes R. *Ensinando matemática na sala de aula através da resolução de problemas. Boletim GEPEN, Rio de Janeiro*, v. 33, n. 55, p. 133-156, 2009. Acesso em: 17 nov. 2022. <http://costalima.ufrj.br/index.php/gepem/article/download/77/228#page=131>

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio*. Brasília: MEC/SEMTEC, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+): ensino médio*. Brasília: Ministério da Educação, 2022, p. 80.

BRASIL. Ministério da Educação. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira - INEP. *Programa Internacional de Avaliação de Estudantes PISA 2018*. Brasília, 2019b. Acesso em: 5 nov. 2022., [http://portal.mec.gov.br/images/03.12.2019\\_Pisa-apresentacao-coletiva.pdf](http://portal.mec.gov.br/images/03.12.2019_Pisa-apresentacao-coletiva.pdf).

BRASIL. Ministério da Educação. *Pisa 2018 revela baixo desempenho escolar em Leitura, Matemática e Ciências no Brasil*. Brasília, 2019a. Acesso em: 5 nov 2022., <http://portal.mec.gov.br/ultimas-noticias/211-218175739/83191-pisa-2018-revela-baixo-desempenho-escolar-em-leitura-matematica-e-ciencias-no-brasil>.

BARRO B.. *As 10 Linguagens de Programação Mais Usadas em 2023: Aprimore suas Habilidades em Desenvolvimento Web*. Disponível em: <https://www.hostinger.com.br/tutoriais/linguagens-de-programacao-mais-usadas>. Acesso em: 03 de novembro de 2022.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa; SASSERON, Lúcia Helena. *Ensino e aprendizagem de Física no Ensino Médio e a formação de professores. Estudos Avançados*, v. 32, p. 43-55, 2018. Acesso em: 5 nov 2022., <https://www.scielo.br/lj/ea/a/KMMfk3s86fdK6pTrKmcnFBD/?format=pdf&lang=pt>.

BABOS F. *Sensor Ultrassônico com Arduino: Como Controlar?* Acesso em: 03 de novembro de 2022., <https://flaviobabos.com.br/sensor-ultrassonico-arduino/>.

*Gerador de som online*. Acesso 02 de novembro de 2022. <https://www.szynalski.com/tone-generator/>.

Halliday, D., Resnick, R. *Fundamentos de Física* v.2. Rio de Janeiro: LTC, 1991.

MARCHIORI L. *As 9 linguagens mais usadas na programação de jogos?* Acesso em: 03 de novembro de 2022., <https://blog.betrybe.com/linguagem-de-programacao/linguagens-para-programacao-jogos/>.

Martin Evans, J. N. (2013). *Arduino Em Ação*. São Paulo: Novatec

MORAES, M. C. *Robótica Educacional: Socializando e produzindo conhecimentos matemáticos*. Dissertação de Mestrado. UFRG, Rio Grande, RS. 2010.

PAIVA, Vera Lúcia Menezes de Oliveira. *Manual de Pesquisa em Estudos Linguísticos*. São Paulo: Parábola Editorial, 2019.

*Plano de curso do Ensino Médio 2022*. Acesso 02 de novembro de 2022 ., <https://curriculoreferencia.educacao.mg.gov.br/index.php/plano-de-cursos-crmg>.

*Robótica educacional: o que é, como funciona e importância*. Acesso 02 de novembro de 2022., <https://fia.com.br/blog/robotica-educacional/>.

ROSA, Cleci Werner; ROSA, Álvaro Becker. Ensino de Física: objetivos e imposições no ensino médio. *Revista Electrónica de Enseñanza de las ciencias*, v. 4, n. 1, 2005. Acesso em: 5 nov. 2022., [http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen4/ART2\\_Vol4\\_N1.pdf](http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen4/ART2_Vol4_N1.pdf) .

ROSA, L. D. *O que é um Arduino?*. Usinainfo. Acesso em: 02 de nov. de 2022. , <https://www.usinainfo.com.br/blog/o-que-e-arduino/>.

SOUZA, A. R., PAIXÃO, A. C., UZÊDA, D. D., DIAS, M. A., DUARTE, S., AMORIM, H. S. *A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física*. *Revista Brasileira de Ensino de Física* v. 33, n.1, 1702 (2011).

VÁLIO, Adriana Benetti Marques et al. *Ser Protagonista - Física - 2º Ano*. SM, 2015.

# PROPUESTA DE FORMACIÓN DOCENTE ¿CÓMO GESTIONAR LA HABILIDAD DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS MATEMÁTICOS DE TIPO ADITIVO?

---

*Data de submissão: 02/09/2024*

*Data de aceite: 01/10/2024*

### **Daniel Carvajal**

Universidad Católica de la Santísima  
Concepción  
Facultad de Educación  
Concepción, Chile  
<https://orcid.org/0009-0002-8628-4149>

### **María José Seckel**

Universidad Católica de la Santísima  
Concepción  
Facultad de educación  
Concepción, Chile  
<https://orcid.org/0000-0001-7960-746X>

**RESUMEN:** El estudio examina la práctica docente de una profesora de matemáticas durante su participación en una capacitación sobre resolución de problemas de tipo aditivo. A partir de un análisis cualitativo de los datos recogidos durante el proceso, se identifican tres estrategias fundamentales: anticipación de respuestas, gestión del error y las cuatro etapas para fomentar la discusión matemática. Aunque la docente ha demostrado competencia en la implementación de la discusión matemática, las estrategias de anticipación de respuestas y gestión del error requieren un desarrollo más profundo.

La profesora es capaz de crear y resolver problemas aditivos utilizando metodologías adecuadas, lo que indica una mejora en su conocimiento. Sin embargo, se observa que no ha logrado apropiarse completamente de las definiciones de los diferentes tipos de problemas aditivos, lo que limita su capacidad para seleccionar problemas que fomenten el desarrollo de habilidades en los estudiantes. Además, aunque reconoce la importancia de aprovechar los errores como oportunidades de aprendizaje, no especifica cómo gestionar estos errores en el aula. El análisis sugiere que, para mejorar la práctica docente, es crucial que la profesora continúe formándose en estrategias de enseñanza que promuevan la interacción y el aprendizaje significativo. La reflexión sobre su práctica y la metacognición son esenciales para optimizar la enseñanza de las matemáticas y garantizar que los estudiantes desarrollen habilidades críticas en la resolución de problemas. En conclusión, se requiere un enfoque más integral en la formación docente para abordar las necesidades del aula de manera efectiva.

**PALABRAS-CLAVE:** Capacitación docente, resolución de problemas matemáticos, interacción, problemas aditivos.

## TEACHER TRAINING PROPOSAL: HOW TO MANAGE THE SKILL OF SOLVING ADDITIVE MATHEMATICAL PROBLEMS?

**ABSTRACT:** The study examines the teaching practice of a mathematics teacher during her participation in training on solving additive problems. Through a qualitative analysis of the data collected during the process, three fundamental strategies are identified: anticipating responses, managing errors, and the four stages for fostering mathematical discussion. While the teacher has demonstrated competence in implementing mathematical discussion, the strategies of anticipating responses and managing errors require further development. The teacher is capable of creating and solving additive problems using appropriate methodologies, indicating an improvement in her knowledge. However, it is observed that she has not fully grasped the definitions of the different types of additive problems, which limits her ability to select problems that promote skill development in students. Additionally, although she recognizes the importance of using errors as learning opportunities, she does not specify how to manage these errors in the classroom. The analysis suggests that to improve teaching practice, it is crucial for the teacher to continue training in teaching strategies that promote interaction and meaningful learning. Reflection on her practice and metacognition are essential to optimize mathematics teaching and ensure that students develop critical problem-solving skills. In conclusion, a more comprehensive approach to teacher training is needed to effectively address classroom needs.

**KEYWORDS:** Teacher Training, Mathematical Problem Solving, Interaction, Additive Problems.

### INTRODUCCIÓN

La educación matemática es un campo que capta el interés de diversos investigadores, donde la calidad de la enseñanza y el aprendizaje se ven influenciados por diversos factores, entre ellos, la formación y capacitación de los docentes. En este contexto, el presente trabajo centrado en la formación del profesorado, se centra en la necesidad de fortalecer el conocimiento didáctico-matemático de los educadores en la comuna de Arauco, Chile. A través de un enfoque centrado en la resolución de problemas, se busca no solo mejorar las prácticas pedagógicas, sino también fomentar un ambiente de aprendizaje significativo que potencie las habilidades matemáticas de los estudiantes.

El currículo de matemática chileno establece una serie de habilidades (resolución de problemas, comunicar y argumentar, representar y modelar) que los estudiantes deben desarrollar a lo largo de su formación escolar (MINEDUC, 2012). Sin embargo, la gestión efectiva de estas habilidades depende en gran medida de la preparación y el conocimiento de los docentes. Teniendo en cuenta la relevancia de la capacitación continua de los docentes, este trabajo se llevó a cabo con una docente de matemáticas del primer grado de educación primaria de una escuela de la comuna de Arauco (Chile), quien, en una fase diagnóstica, evidenció un bajo conocimiento didáctico-matemático para la gestión de la habilidad de resolución de problemas de tipo aditivo.

Para lograr el propósito antes mencionado, se diseñó un proceso de formación de 4 sesiones, donde se abordaron estrategias específicas para gestionar las interacciones en el aula, promover la discusión matemática y facilitar la resolución de problemas. A la vez, la propuesta de capacitación consideró la actualización de conocimiento respecto de la tipología de problemas aditivos (Urdain, 2006): a) cambio, b) combinación, c) comparación y d) igualación. De esta manera, el presente escrito describe en detalle la capacitación y los resultados alcanzados. A través de un enfoque cualitativo y basado en la evidencia, se busca contribuir al debate sobre la formación continua de los docentes y la importancia de una enseñanza matemática de calidad en el contexto educativo actual.

## MARCO TEÓRICO

El marco teórico que sustenta la propuesta de formación docente consideró tres temáticas principales: 1) conocimiento didáctico-matemático y 2) Resolución de problemas matemáticos, los que se presentan a continuación.

### Conocimiento Didáctico-Matemático

Existen distintos modelos que buscan caracterizar el tipo de conocimiento que debe poseer un profesor de matemática para que su práctica sea más efectiva (Shulman, 1986; Ball et al., 2000; Pino-Fan & Godino, 2015). Según Pino-Fan y Godino (2015), este tipo de conocimiento es crucial para que los docentes puedan desempeñarse de manera favorable en sus prácticas educativas y contribuir al aprendizaje significativo de los alumnos. Según estos autores, el conocimiento del profesor se compone de tres dimensiones: 1) dimensión matemática, 2) dimensión didáctica y, 3) dimensión meta didáctico - matemática.

En la dimensión matemática se incluyen dos subcategorías: a) conocimiento común del contenido y, b) conocimiento ampliado del contenido. En el primero se refiere al conocimiento suficiente para abordar una determinada tarea matemática o resolver un problema del currículo o texto de estudio, este conocimiento es el que se comparte entre profesor- estudiante, mientras que, el segundo (conocimiento ampliado), es aquel que debe tener el profesor sobre nociones matemáticas y que y que está desarrollado con mayor profundidad que lo establecido en el currículo. Este provee al profesor de las bases matemáticas necesarias para plantear a los estudiantes desafíos de mayor complejidad y permite que se vincule la matemática que está enseñando con otras áreas del conocimiento.

Es importante mencionar que, si bien el conocimiento común y ampliado del profesor es importante, no es suficiente para abordar con efectividad el proceso de enseñanza- aprendizaje de la matemática, por lo que se requiere complementarlo con la dimensión didáctica, que es el conocimiento pedagógico del contenido. En esta dimensión se encuentran seis subcategorías: a) epistémica: que corresponde al conocimiento

especializado de la matemática; b) cognitiva: que corresponde al conocimiento sobre los aspectos cognitivos de los estudiantes; c) interaccional: que corresponde al conocimiento sobre las interacciones que se producen en el aula; d) mediacional: que corresponde al conocimiento sobre los recursos y medio que permiten potenciar el aprendizaje matemático; e) afectiva: que corresponde al conocimiento afectivo, emocional y actitudinal de los estudiantes y d) ecológica: que corresponde al conocimiento de los aspectos curriculares, contextuales, sociales, políticos, entre otros, que influyen en la gestión de los aprendizajes de los estudiantes (Breda y Lima, 2016; Seckel y Font, 2020).

Considerando lo anterior, para abordar las necesidades de capacitación, la propuesta formativa se centró, principalmente, en la faceta epistémica e interaccional. Teniendo en cuenta esto, es importante destacar que, en cuanto a la gestión de las interacciones en el aula matemática, el docente debe conocer cómo promover la discusión entre estudiantes o entre profesor-estudiantes. Para esto, Smith y Stein (2016) proponen cuatro pasos que ayudan a promover la discusión matemática:

Paso 1: Ayudar individualmente a los estudiantes a que clarifiquen y compartan sus pensamientos, en este paso se debe dar tiempo para pensar, girar y conversar con el compañero, parar y anotar, hacer preguntas como ¿compartirías tu idea con tus compañeros? ¿Entonces estás diciendo...?

Paso 2: Ayudar a los estudiantes a escuchar con atención a otros, en este paso se puede hacer preguntas como: ¿quién puede repetir lo que dijo su compañero? ¿quién lo puede decir de nuevo? ¿quién puede decir eso con sus palabras? Etc.

Paso 3: Ayudar a los estudiantes a que profundicen su propio razonamiento, en este paso se pueden hacer preguntas como: ¿por qué piensas eso? ¿cuál es tu evidencia? ¿cómo llegaste a esa respuesta?, etc.

Paso 4: Ayudar a los estudiantes a involucrarse con el razonamiento de otros estudiantes, en este paso se puede hacer preguntas como: ¿qué piensas de lo que dijo tu compañero? ¿estás de acuerdo o desacuerdo con lo que dijo? Etc.

## Resolución de Problemas Matemáticos

Muchos investigadores han propuesto diferentes métodos para el proceso de resolución de problemas. En particular Schoenfeld (1985) centra la relación entre la resolución de problemas y el desarrollo del pensamiento matemático, para ello propone los siguientes pasos: 1) Comprensión del problema, 2) Diseño de un plan de solución, 3) Ejecutar el plan y 4) Mirada retrospectiva.

Se comprende el problema cuando el estudiante es capaz de reproducirlo con sus propias palabras y también identifica los elementos principales, de hecho, cuando se ha comprendido el problema se responden preguntas como: ¿de qué trata el problema?, ¿qué se busca?, ¿qué datos se dan?, ¿seré capaz de resolverlo?, ¿son suficientes los

conocimientos que tengo para resolver el problema? En el diseño de un plan se buscan las ideas para una solución, esto implica procesos deductivos, inductivos, análisis y síntesis. En la ejecución del plan se concretan los resultados del problema, en donde se validan las hipótesis realizadas en el paso anterior. En la mirada retrospectiva, predomina la metacognición, y en esta fase se garantiza la validez de las estrategias usadas para la solución de problemas.

Es importante destacar que pese a tenerse una estructura definida de este método de resolución de problemas, esto no significa que debe ser utilizado rígidamente, ya que la vía de solución puede experimentar avances y retrocesos, por lo cual se requiere de flexibilidad (Lozada y Fuentes, 2018). Según Lozada y Fuentes (2018), es necesario conocer estrategias que permiten gestionar la habilidad de resolución de problemas, como lo son: a) selección y ejecución de problemas matemáticos, b) orquestación de la discusión matemática en el que se movilice las interacciones y c) anticipación de las respuestas ya sean correctas o incorrectas y gestión del error.

## **PROBLEMAS DE TIPO ADITIVO**

De acuerdo con Urdiain (2006), los problemas de tipo aditivo son 4:

1. Problemas de cambio: en los problemas de cambio se distinguen 3 momentos diferentes: hay una cantidad sometida a una acción o transformación que la modifica para llegar a una cantidad final
2. Problemas de Combinación: en los problemas de combinación hay dos cantidades estáticas (A y B) que forman parte de un todo que los incluye y lo conforman en su totalidad
3. Problemas de comparación: en los problemas de comparación se dan simultáneamente dos cantidades que se relacionan mediante la comparación
4. Problemas de igualación: en los problemas de igualación exponen una acción física, necesaria para que una cantidad sea igual a la otra.

## **MARCO METODOLÓGICO**

El marco metodológico se estructura en torno a un enfoque cualitativo, centrado en la capacitación de docentes en la gestión de la habilidad de resolución de problemas matemáticos. A continuación, se describen los componentes clave de este marco, incluyendo el diseño de la capacitación, las técnicas de recolección de datos, y el análisis de la información.

## DISEÑO DE LA CAPACITACIÓN

La intervención se llevó a cabo en una escuela de la comuna de Arauco, Chile, con el objetivo de capacitar a una docente de matemáticas en estrategias didácticas centradas en la resolución de problemas de tipo aditivos.

El diseño de capacitación esperaba alcanzar los resultados que se presentan en la tabla 1

Resultado esperado	Indicador de logro
1. Identifica las características de un problema matemático.	Logra diferenciar entre un problema matemático y un ejercicio con enunciado, reconociendo al menos 3 características que debe tener un problema
2. Reconoce el campo de problemas aditivos	Clasifica problemas matemáticos de tipo aditivo, reconociendo al menos 3 de ellos según la tipología dada
3. Aplica estrategias para gestionar la interacción en una clase centrada en la resolución de problemas matemáticos	Explica cómo abordar las estrategias para gestionar la interacción en una clase centrada en resolución de problemas (Anticipación de respuestas, gestión del error y etapas que provocan discusión matemática) e incluye al menos 2 de ellas en la planificación de clases.

Tabla 1. Resultados esperado e indicadores de logro de la capacitación

El diseño de la capacitación se basa en las siguientes etapas:

*Diagnóstico Inicial:* Se realizó una evaluación inicial a través de entrevistas semiestructuradas y la observación de clases grabadas. Esta etapa permitió identificar las debilidades en el conocimiento didáctico-matemático de la docente, así como las causas de su enfoque tradicional en la enseñanza.

*Planificación de Sesiones:* tal como se muestra en la tabla 2, se diseñaron cuatro sesiones de capacitación (en función del tiempo disponible), con una duración aproximada de 80 minutos cada una. Cada sesión estuvo enfocada en diferentes aspectos de la gestión de la resolución de problemas. Las sesiones incluyeron actividades prácticas, discusiones y reflexiones sobre la práctica docente.

Sesión	Descripción de la sesión
1	Se introdujeron las directrices generales del proyecto y se abordó la diferencia entre problemas matemáticos y ejercicios con enunciados. Esta sesión sentó las bases para entender la importancia de los problemas que generan conflicto cognitivo en el aprendizaje.
2	Se centró en los tipos de problemas aditivos. En esta sesión se identificó y clasificó diferentes problemas de tipo aditivo.
3	Esta sesión se enfocó en la discusión matemática y la gestión de la interacción en el aula. Se presentaron estrategias para fomentar la discusión entre los estudiantes, así como la importancia de la anticipación de respuestas y la gestión del error en el proceso de enseñanza.
4	El objetivo fue planificar una clase centrada en la resolución de problemas. La docente trabajó en la integración de un problema aditivo que generara conflicto y discusión matemática, aplicando lo aprendido en las sesiones anteriores

Tabla 2. Sesiones de capacitación

*Implementación:* las sesiones se llevaron a cabo de manera secuencial, permitiendo a la docente aplicar lo aprendido en su práctica diaria. Se promovió un ambiente de aprendizaje colaborativo, donde la docente pudo compartir sus experiencias y reflexionar sobre su enseñanza.

*Evaluación de Resultados:* Al finalizar la intervención, se evaluaron los resultados de aprendizaje alcanzados por la docente en casa sesión. Se utilizaron pautas de cotejo para medir el progreso en la gestión de la resolución de problemas.

## INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

Para evaluar la efectividad de la capacitación, se emplearon cuatro pautas de cotejo, una para cada sesión, las que permitieron analizar datos de tipo cualitativo e identificar si la participante logró o no, cada indicador. El logro del conjunto de indicadores de cada pauta, permitía concluir si se alcanzaba total o parcialmente el resultado esperado de cada sesión. A continuación, en la tabla 3, se muestran los indicadores considerados en las pautas de cotejo de cada sesión.

Pauta de cotejo	Resultado esperado	Indicadores
Sesión 1	R1. Identifica características de un problema matemático	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comprende qué es un ejercicio matemático.</li> <li>Comprende qué es un problema matemático.</li> <li>Identifica ejemplos de ejercicios matemáticos.</li> <li>Identifica ejemplos de problemas matemáticos.</li> <li>Identifica al menos 3 características de un problema matemático.</li> </ul>
Sesión 2	R2. Reconoce el campo de problemas aditivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comprende la existencia de distintos tipos de problemas aditivos.</li> <li>Reconoce un problema aditivo de cambio</li> <li>Reconoce un problema aditivo de combinación</li> <li>Reconoce un problema aditivo de comparación</li> <li>Reconoce un problema aditivo de igualación</li> <li>Crea un problema aditivo</li> <li>Usa la representación de barra para modelar una situación aditiva</li> </ul>
Sesión 3	R3. aplica estrategias para gestionar la interacción en una clase centrada en la resolución de problemas matemáticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identifica las 4 etapas de discusión matemática.</li> <li>Reconoce la gestión del error.</li> <li>Reconoce anticipación de respuestas.</li> </ul>
Sesión 4	R1, R2 y R3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se anticipan al menos 2 posibles respuestas correctas de los estudiantes del problema central de la clase.</li> <li>Se anticipan al menos 2 posibles respuestas erróneas de los estudiantes del problema central de la clase.</li> <li>Describe las preguntas que hará en la clase para provocar discusión matemática, considerando la estrategia de las 4 etapas.</li> <li>El problema central de la clase planificada cumple con las características de un problema según lo aprendido en la sesión N°1</li> <li>Integra problemas de tipo aditivos de un paso, según lo aprendido en la sesión N°2.</li> </ul>

Tabla 3. Caracterización de los instrumentos

## RESULTADOS

En este apartado se describen los resultados alcanzados por la participante y se muestran algunas evidencias de dichos logros.

### Resultado 1: Identificación de Problemas Matemáticos

La docente logró identificar y diferenciar entre problemas matemáticos que generan conflicto cognitivo y ejercicios con enunciados. Este resultado indica que la docente ahora puede reconocer la importancia de plantear problemas que fomenten la discusión y el pensamiento crítico en sus estudiantes, lo que es fundamental para el aprendizaje significativo en matemáticas. A continuación, en la figura 1, se muestran algunas evidencias de lo logrado por la participante.

Enunciado	Problema o ejercicio con enunciado	Argumento
1) Al meter 11 monedas en tres vasos, de forma que cada vaso contenga un número impar de monedas; podemos conseguirlo de muchas formas. Por ejemplo, poniendo 7 monedas en un vaso, 3 en otro y, 1, en el último. Sin embargo, ¿Sabría usted distribuir 10 monedas en estos mismos tres vasos, de modo que siga habiendo un número impar de monedas en cada vaso?	Problema	genera discusión Desafiante. Puede tener más de 1 solución. Fomenta la creatividad.
2) En un ecológico instalamos dos marcos acuáticos. Marco A tiene 5.420 L de agua uno de ellos y el otro con 3.850 L. ¿Cuántos litros de agua son en total?	Ejercicio con enunciado	- la solución es directa. - no hay muchas maneras de hacerlo. - se ejecuta en poco tiempo. - poco espacio para la discusión y exploración.
3) En un almacén hay 210 botellas de agua mineral y 157 botellas de jugo. ¿Cuántas botellas hay en total?	Ejercicio con enunciado	- solución directa. - no hay desafío. - se ejecuta en poco tiempo.
4) Pedro salió de su casa con un montón de latas de las olimpiadas y volvió sin ninguna. Su madre le preguntó qué había hecho con las latas y Pedro contestó: "A cada amigo que me encontré le di la mitad de las latas que llevaba, más una". Si Pedro se encontró con 6 amigos, ¿con cuántas latas salió de la casa?	Problema	- Problema desafiante. - tiene muchas estrategias para su solución. - fomenta la creatividad.

Figura 1. Evidencias del logro de resultado esperado 1 (primera sesión).

Tal como se ve en la figura 1, los enunciados 1, 4 y 5, la docente los reconoce como problemas matemáticos y no como ejercicios y entre sus argumentos se encuentran: “genera discusión”, “es desafiante”, “puede tener más de una solución”, “Fomenta la creatividad”, “tiene muchas estrategias para su solución”, “es desafiante y motiva”, entre otros. Por otro lado, los enunciados 2, 3 y 6, la docente los reconoce como ejercicios con enunciado y entre sus argumentos se encuentran: “la solución es directa”, “no hay desafío”, “se ejecuta en poco tiempo”, entre otras.

Como evidencia, además de las características que debe tener un problema matemático, se muestra a continuación la transcripción de la respuesta a la actividad número 2 de la sesión 1, en la cual se solicitaba a la docente responder las preguntas: ¿Qué elementos destacarías de la definición de resolución de problemas vista en las bases curriculares y el video? ¿Hay coincidencias en los planteamientos? ¿Cuáles serían esas coincidencias?

Respuestas de la participante:

“Los elementos que destacaría es que se habla de un problema matemático, en que no se enseña una estrategia para resolver, también debe ser motivante y desafiante.”

“...también los alumnos pueden encontrar formas distintas de resolver y eso le va a provocar al estudiante una actitud de logro...”

“... Un ejercicio matemático, aunque se presente como enunciado, no provoca lo que sí un problema, en el ejercicio con enunciado el alumno sabe cómo resolverlo pues ya tiene una estrategia enseñada por el profesor...”

“...Hay hartas coincidencias entre el video y las bases curriculares, coinciden que no existe una única estrategia para resolver y que no debe enseñárseles esas estrategias, el problema tiene que permitir que los niños buscaran formas para resolver y darse cuenta que puede tener varias soluciones.”

## Resultado 2: Planificación de Clases

La docente fue capaz de planificar una clase centrada en la resolución de problemas, integrando los conocimientos adquiridos en las sesiones anteriores. Esto incluyó la incorporación de un problema aditivo que generara discusión matemática y la aplicación de estrategias didácticas aprendidas. Este resultado demuestra un avance en su capacidad para diseñar actividades educativas que promuevan la interacción y el aprendizaje activo.

Las evidencias del logro de este resultado quedan de manifiesto por la realización adecuada de las actividades que se solicitó a la docente, en ella se observa que es capaz de clasificar los problemas matemáticos aditivos según su tipología (ver figuras 2 y 3).

Actividad 1:  
Instrucciones: A continuación, se presentan 4 enunciados y usted deberá responder las siguientes preguntas:  
¿Cómo pueden resolverse cada uno?  
¿Qué diferencias hay entre ellos?

Enunciado	¿Cómo se resuelve?	Tipología	Diferencias de cada problema
1) En un bus había 12 pasajeros y subieron 3 más. ¿Cuántos pasajeros hay ahora en el bus?	$12 + 3 = 15$	Combinación cambio	lo opuscular de la adición y el resto de números con sus diferencias
2) A un concierto de rock asistieron 112 personas entre hombres y mujeres. Si al concierto llegaron 35 mujeres. ¿cuántos hombres asistieron?	$112 - 35 = 77$	Combinación combinación	✓ Adición

Figura 2. Primera clasificación de problemas aditivos (Sesión 2)

<p>3) Un pudi pesa 10 kilos y un perro siberiano, 18 kilos, ¿Cuánto menos pesa el pudi?</p>	<p>Pudi 10 K. Perro 18 K. <math>18 - 10 = 8</math> ↓ menos pesa.</p>	<p>Comparación</p>
<p>4) Tengo 14 euros y mi hermano tiene 8. ¿Cuántos euros necesita recibir mi hermano para tener los mismos que yo?</p>	$\begin{array}{r} 14 \\ - 8 \\ \hline 6 \end{array}$	<p>Iguación</p>

Figura 3. Segunda clasificación problemas aditivos (Sesión 2)

Nótese que, a pesar de clasificar los 4 problemas aditivos según su tipología, a la hora de describir la diferencia que observa entre los problemas presentados (ver figura 2), la docente declara que la diferencia es la operatoria que modela cada situación y permite resolverlos, es decir, si estos se resuelven con una adición o sustracción. Sin embargo, no describe diferencias en función de las definiciones de cada tipo de problema, lo que permite interpretar que la docente no se ha apropiado, en esta sesión, de la definición de cada tipología, pese a reconocerlas.

Ahora bien, la docente si es capaz de crear un problema aditivo de combinación y resolverlo con la metodología de las barras rectangulares, lo que se evidencia en la figura 4.

CREA TU PROBLEMA Y RESUELVELO

En un ~~galpón~~ corral de animales hay 12 puros y se compraron 6 gallinas. ¿Cuántos animales hay en total?

Es un problema de combinación.

Solución:

18	
12	6

Figura 4. Creación de problema aditivo.

### Resultado 3: Gestión de la Interacción en el Aula

La docente aplicó estrategias para gestionar la interacción en una clase centrada en la resolución de problemas matemáticos. Esto incluyó la explicación de cómo abordar la anticipación de respuestas, la gestión del error y las etapas que provocan discusión matemática. Aunque se evidenció el cumplimiento completo de una de las estrategias (las 4 etapas de discusión matemática), se observaron evidencias parciales en las otras dos estrategias. Este resultado resalta la importancia de la interacción en el aula y cómo la docente ha comenzado a implementar prácticas que fomentan un ambiente de aprendizaje colaborativo.

A continuación, se muestra la figura 5, en donde la docente responde a las preguntas ¿Cómo se gestiona una clase de matemática con foco en la resolución de problemas? ¿Cómo promover la discusión matemática entre estudiantes y entre docente y estudiantes?

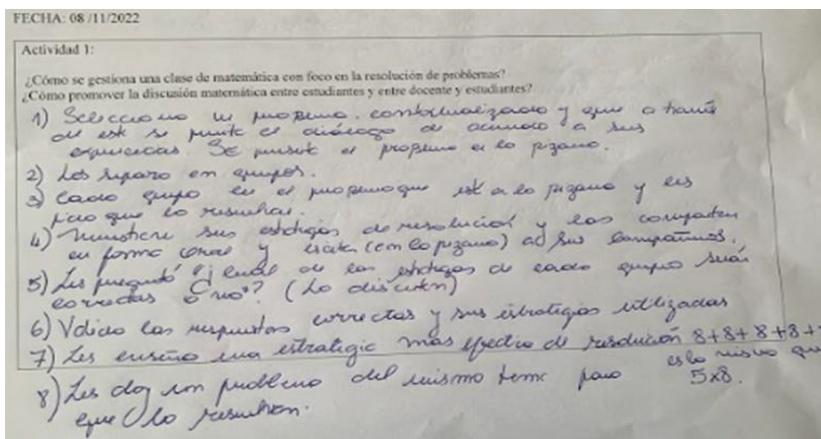


Figura 5. Respuestas actividad inicial (Sesión 3)

Obsérvese que las respuestas de ella surgen solo con los conocimientos previos que posee, y hay muestras de algunas ideas que se pretendía desarrollar en la sesión: “los separo en grupos”, “muestran sus estrategias de resolución y las comparten en forma oral a sus compañeros”, “les pregunto: ¿Cuál de las estrategias de cada grupo serán correctas o no?”, “valido las respuestas correctas”, “Les enseño una estrategia más efectiva de resolución”, “les doy un problema del mismo tema para que los resuelvan”.

En la actividad 2 de la sesión 3, se le solicita a la docente que responda a las preguntas: ¿Qué observas en relación a las interacciones que se producen entre estudiantes? ¿Qué preguntas hace el profesor? ¿Cómo se gestiona el error? ¿Se evidencia que el profesor anticipó respuestas al problema?, Las respuestas de ella son las siguientes (Ver figura 6).

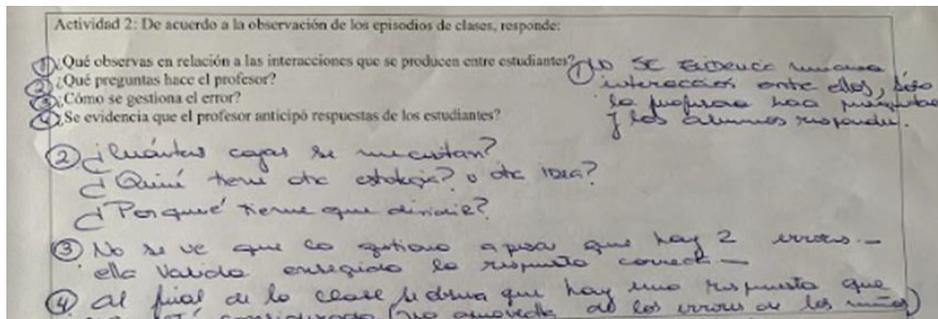


Figura 6. Respuestas de la observación de episodio de clases (Sesión 3)

Se puede apreciar que las respuestas de la docente son: “Se evidencia mínima interacción entre ellos, solo la profesora hace las preguntas y los alumnos responden”, “no se ve que lo que gestiona a pesar que hay 2 errores, ella valida enseguida la respuesta correcta”, “Al final de la clase se observa que una respuesta que no está considerada (no aprovecha los errores de los niños”.

Teniendo en cuenta sus respuestas, se observa que tiene ideas acerca de la gestión de las interacciones que deben producirse en una clase centrada en resolución de problemas.

Una vez que ella escribe sus apreciaciones, se le exponen las 3 estrategias que promueven la gestión de las interacciones y, al cabo de la exposición, se le pide que responda la pregunta: En relación con el video y a las estrategias vistas en esta sesión, ¿logra evidenciar algunas de estas? La respuesta de la docente se puede ver en la figura 7.

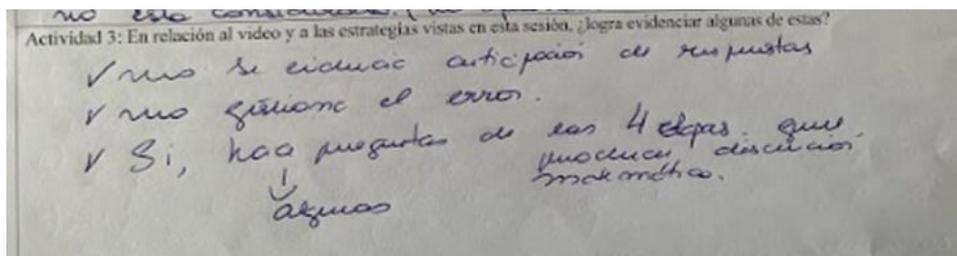


Figura 7. Respuestas observación de episodio de clases 2° parte (Sesión 3)

La docente reconoce la ausencia parcial de las estrategias que aprendió en la sesión, mediante la observación y reflexión del episodio de clases, ella logra evidenciar los siguiente: “No se evidencia anticipación de respuestas”, “No gestiona el error”, “Si hace algunas preguntas de las 4 etapas que producen discusión matemática”.

Para finalizar, ya en la última etapa de la sesión 3, se puede evidenciar el logro del resultado 3, ya que la tarea que se le solicita a la docente era proponer mejoras al episodio de clase considerando las estrategias vistas: a) Anticipación de respuestas, b) gestión del error y c) 4 etapas para la discusión matemática. La figura 8 muestra las respuestas de ella

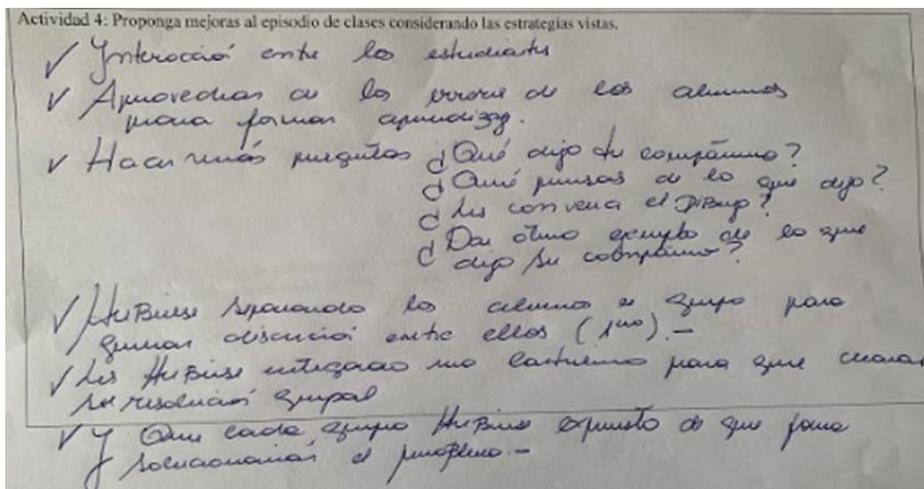


Figura 8. Mejoras al episodio de clases

Obsérvese que la docente propone las mejoras de acuerdo a las estrategias aprendidas. Sin embargo, en lo que refiere a la anticipación de respuestas no se evidencia una propuesta de mejora, en lo que refiere a la gestión del error, solo declara: “aprovechar de los errores de los alumnos para formar aprendizajes”, sin explicitar los tipos de errores que deben considerarse. Asimismo, donde más se muestran mejoras es en la estrategia de las 4 etapas que promueven la discusión matemática.

Las propuestas de mejora para la estrategia 3 (4 etapas que producen discusión matemática), se evidencia en las siguientes respuestas: “Interacción entre estudiantes”, “Hacer preguntas como: ¿Qué dijo tu compañero? ¿Qué piensas de lo que dijo? ¿les convence el dibujo?, da otro ejemplo de lo que dijo tu compañero”.

Otras propuestas de mejora son: “Hubiese separado a los alumnos en grupo para generar discusión entre ellos”, “Cada grupo hubiese expuesto de qué forma solucionan el problema.

Al inicio de este análisis, se afirmó que el logro del resultado 3: Aplica estrategias para gestionar la interacción en una clase centrada en la resolución de problemas, estaba logrado. Sin embargo, hasta ahora solo se han evidenciado el cumplimiento completo de una de las 3 estrategias (estrategia de las 4 etapas que provocan discusión matemática) y evidencias parciales de las otras 2 estrategias (anticipación de respuestas y gestión del error). Por este motivo, en el siguiente apartado se mostrará un análisis general del logro de los tres resultados esperados de esta intervención.

## RESULTADOS GLOBALES

El análisis global del logro de los resultados esperados presenta una evaluación integral de cómo la intervención ha impactado en la práctica docente y en el aprendizaje de los estudiantes. A continuación, se resume este análisis:

*Cumplimiento de resultados:* Se destaca que la docente ha logrado cumplir con los resultados esperados de la intervención, especialmente en la identificación de problemas matemáticos y en la planificación de clases centradas en la resolución de problemas. Esto indica un avance significativo en su conocimiento y habilidades didácticas.

*Evidencias de aprendizaje:* A través de las actividades realizadas en las sesiones, se recolectaron evidencias que respaldan el logro de los resultados. La docente mostró una mejora en su capacidad para diseñar y ejecutar clases que fomentan la discusión matemática y la interacción entre los estudiantes.

*Reflexión sobre la práctica:* Se enfatiza la importancia de la reflexión sobre la práctica docente. La docente ha comenzado a reflexionar sobre su enseñanza, lo que le permite identificar áreas de mejora y ajustar su enfoque pedagógico para beneficiar el aprendizaje de sus estudiantes en el ámbito de la resolución de problemas.

*Integración de aprendizajes:* La planificación de la clase en la sesión 4 permitió a la docente integrar los conocimientos adquiridos en las sesiones anteriores, lo que demuestra su capacidad para aplicar lo aprendido de manera efectiva en su práctica.

Estos resultados reflejan el impacto positivo de la intervención en la práctica docente y en la capacidad de la docente para mejorar la enseñanza de las matemáticas.

## CONCLUSIONES

Al terminar este proyecto se pueden afirmar las siguientes conclusiones:

La docente logró diferenciar entre un problema matemático que genera conflicto cognitivo y que a la vez desarrolla la habilidad versus un ejercicio con enunciado que muchas veces se entiende por la comunidad de profesores de matemática como problemas, cuando en realidad son solo ejercicios de aplicación.

La docente reconoce las características que debe tener un buen problema matemático y, por ende, en adelante, en sus clases de resolución de problemas, puede seleccionar problemas que permitan el desarrollo de la habilidad.

La docente conoce un campo de distintos problemas aditivos, con el cual puede dar intención a una clase según la tipología que quiera abordar.

La docente puede aplicar estrategias que permiten gestionar las interacciones en sus clases centradas en la resolución de problemas: 1) conoce qué preguntas hacer para provocar discusión matemática entre estudiantes y entre docente y estudiante, 2) es capaz de diseñar una clase centrada en resolución de problemas y de anticipar las posibles respuestas de los estudiantes, ya sean correctas o erróneas y 3) conoce como gestionar el error cuando aparecen en una clase, de hecho, es capaz de anticiparlo.

La docente conoce que ante un problema matemático puedan existir distintas estrategias para su solución y que debe encaminar con su gestión para que sean los propios estudiantes quienes las encuentren. Estas estrategias pueden ser simbólicas, pictóricas o concretas.

## LIMITACIONES Y PROYECCIONES

Entre las limitaciones que se presentaron en el desarrollo de la capacitación, destacan: 1) por cuestiones de tiempo disponible, solo pudo participar un docente de la escuela en la capacitación y 2) los tiempos fueron acotados, ya que el régimen trimestral no permitió muchas semanas para planificar más sesiones de capacitación.

En cuanto a las proyecciones, se observa la necesidad de implementar la capacitación con un número mayor de participantes. Asimismo, se observa la necesidad de contar con más tiempo para considerar sesiones en las que implementen la clase planificada, la observen (a través de video grabaciones), reflexionen sobre su propia practica y la mejoren con base a un análisis crítico.

## REFERENCIAS

Ball, D. L. (2000). Bridging practices: Intertwining content and pedagogy in teaching and learning to teach. *Journal of Teacher Education*, 51, 241-247.

Breda, A. & Lima, V. (2016). Estudio de Caso sobre el Análisis Didáctico Realizado en un Trabajo Final de un Máster para Profesores de Matemáticas en Servicio. *REDIMAT*, 5(1), 74-103. <https://doi.org/10.17583/redimat.2016.1955>

Lozada, J. A. D., & Fuentes, R. D. (2018). Los métodos de resolución de problemas y el desarrollo del pensamiento matemático. *Bolema: Boletim de Educação Matemática*, 32, 57-74.

MIMEDUC. (2012). Bases curriculares de primero a sexto básico. [https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-22394\\_bases.pdf](https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-22394_bases.pdf)

Pino-Fan, L. R., & Godino, J. D. (2015). Perspectiva ampliada del conocimiento didáctico-matemático del profesor. *Paradigma*, 36(1), 87-109.

Schoenfeld, A. H. (1985). Making sense of "out loud" problem-solving protocols. *The Journal of Mathematical Behavior*, 4, 171-191.

Seckel, M. J. & Font, V. (2020). Competencia reflexiva en formadores del profesorado de matemática. *magis, Revista Internacional de Investigación en Educación*, 12 (25), 127-144. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.m12-25.crfp>

Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14

Smith, M. & Stein, M. (2016). 5 prácticas para orquestar discusiones productivas en matemáticas. NCTM. [https://bibliotecadigital.mineduc.cl/bitstream/handle/20.500.12365/17702/practices-spanish-final-allpdf\\_compress.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://bibliotecadigital.mineduc.cl/bitstream/handle/20.500.12365/17702/practices-spanish-final-allpdf_compress.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Urdiain, I. E. (2006). Matemáticas resolución de problemas. Navarra: Fondo de publicaciones del gobierno de Navarra.

# A TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO APLICADA NO ENSINO DE QUÍMICA

---

*Data de submissão: 08/08/2024*

*Data de aceite: 01/10/2024*

### **Caroline Chibae de Amorim**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro - RJ  
<https://acesse.dev/8iqPB>

### **Ana Carolina Sá Coelho da Silva**

Centro Federal de Educação Tecnológica  
Celso Suckow da Fonseca – CEFET  
EIC – Escola de Informática e  
Computação  
Rio de Janeiro - RJ  
<https://l1nq.com/70P3H>

### **Elizabeth Teixeira de Souza**

Universidade do Estado do Rio de  
Janeiro, Instituto de Aplicação Fernando  
Rodrigues da Silveira, Departamento de  
Ciências da Natureza  
Rio de Janeiro - RJ  
<https://bityli.cc/uwD>

**RESUMO:** O presente trabalho tem como intuito instigar o aluno a explorar a área tecnológica que auxilia no campo de ensino da química, como: sites, aplicativos e jogos, principalmente na área da química orgânica na qual a dificuldade de visualização de moléculas em seus modelos espaciais, é grande. Segundo o educador e filósofo Paulo Freire, a utilização de computadores

na educação pode expandir a capacidade crítica e criativa dos alunos. Podendo assim, com a devida condução e a constante atualização do professor, o discente ter um aprendizado mais facilitado através destas ferramentas metodológicas diferentes do ensino tradicional. Tais ferramentas são capazes de fomentar o desenvolvimento motivacional e tecnológico para um conhecimento mais abrangente dos métodos alternativos do ensino da química, além disso auxiliam no processo ensino-aprendizagem dos conteúdos da Química Orgânica e Inorgânica, dando a oportunidade para os estudantes obterem conhecimentos de mundo diante da importância e vantagens do uso da tecnologia a partir da melhor exploração dos sites e aplicativos poucos conhecidos e divulgados.

**PALAVRAS-CHAVE:** ensino; tecnologia; sites; aprendizado; química

## INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY APPLIED IN CHEMISTRY TEACHING

**ABSTRACT:** The aim of this work is to encourage students to explore technology that helps in the area of chemistry teaching, such as websites, apps and games, especially in the world of organic chemistry, where it is very hard to visualize molecules in their spatial models. According to the educator and philosopher Paulo Freire, the use of computers in education can expand students' critical and creative capacity. Therefore, with the proper guidance and constant updating by the teacher, students can learn more easily using these methodological tools, which are different from traditional teaching. These methods are capable of fostering motivational and technological development for a more comprehensive understanding of alternative methods of teaching chemistry. They also help in the teaching-learning process of Organic and Inorganic Chemistry content, giving students the opportunity to gain world knowledge about the importance and advantages of using technology by better exploring little-known and publicized websites and applications.

**KEYWORDS:** teaching; technology; websites; learning; chemistry.

### INTRODUÇÃO

A tecnologia é imprescindível atualmente e um de seus benéficos dispositivos são os computadores, que se fazem presentes na maioria das atividades humanas. Ao revisitar brevemente a história da computação, destacam-se: marcos significativos que impulsionaram essa tecnologia (RODRIGUES; CARIDADE, 2022). Entre eles, é possível citar Alan Turing e sua contribuição fundamental com a primeira geração de computadores modernos (1943) e Steve Jobs, cujo pioneirismo resultou no desenvolvimento do primeiro computador pessoal com o Apple I (1979). É evidente que os computadores auxiliam e contribuem para os avanços de inúmeras áreas de estudo, possibilitando a realização de pesquisas e atividades complexas. (Julia Gadelha, 2020)

No contexto da química, a computação se insere, inicialmente, na área quântica, com a evolução de cálculos complexos feitos por computadores na década de 1950, destacando-se o computador EDSAC em Cambridge, com o desenvolvimento do primeiro cálculo de interação de configurações usando orbitais gaussianas (WILKES; RENWICK, 1950). No Brasil, um dos pioneiros da química quântica computacional foi Roy Edward Bruns, que criou uma escola com contribuições destacadas ao desenvolvimento nessa área, reafirmando o conceito da química computacional (FAPESP, 2020). Com o progresso da tecnologia e a evolução de métodos para aplicá-la nas mais diversas áreas, a computação foi e ainda é um dos fatores que contribuíram para a ampla pesquisa e desenvolvimento da química e suas vertentes.

Dentre as diversas plataformas e softwares que colaboram significativamente para a pesquisa, desenvolvimento e ensino de química, vale ressaltar as pioneiras que possuíram um papel fundamental auxiliando na realização de cálculos complexos e na obtenção de informações sobre as propriedades e comportamento das moléculas:

- Gaussian: Um dos softwares mais utilizados para cálculos de estrutura eletrônica, espectroscopia e reatividade química. Foi desenvolvido por John Pople e colaboradores na década de 1970. (HEMERSSON; ROMÃO; ALVES, [s.d.]
- GAMESS (General Atomic and Molecular Electronic Structure System): Um software de código aberto amplamente utilizado para cálculos de estrutura eletrônica de moléculas. Foi desenvolvido na década de 1970 pelo Mark Gordon's Quantum Theory Group e continua sendo uma ferramenta importante na área (GORDON GROUP, 2017).
- NWChem: Outro software de código aberto utilizado para cálculos de estrutura eletrônica de sistemas químicos complexos. É conhecido por sua escalabilidade e capacidade de lidar com sistemas de grande porte (APRÀ et al., 2020).

Na área acadêmica, atualmente, existem diversas plataformas e softwares essenciais para o ensino da química, tornando o aprendizado mais lúdico com, por exemplo, a visualização e construção de moléculas em 3D que, atualmente, diversas plataformas proporcionam.

Diante disso, o tema principal segue duas direções. Numa delas, está descrito as constantes atualizações da tecnologia e noutra, correlaciona-se a computação como uma metodologia ativa para o auxílio pedagógico na área de química.

O presente trabalho divide-se em 4 seções, além desta introdução. A seguinte apresenta os fundamentos da computação inteirando na atualidade do ensino remoto pós pandemia e também mostra os aspectos metodológicos da tecnologia, correlacionado com o aprendizado online e o funcionamento de algumas ferramentas possíveis de utilização. Já a segunda, integra os métodos e materiais propostos para a utilização mais efetiva das plataformas. A terceira resume os resultados e discussões e a quarta e última seção, expõe a conclusão sobre a implementação desses métodos após pandemia até os dias atuais.

## **ENSINO REMOTO ENSINO REMOTO E SUAS ATRIBUIÇÕES TECNOLÓGICAS PÓS PANDEMIA**

O processo de ensino-aprendizagem pós pandemia ficou bastante marcado devido a rápida e assertiva implementação dos métodos tecnológicos no ensino de química nas salas de aula online durante o período remoto. Com essa emergente inserção, a tecnologia foi sendo mais usada nos ambientes escolares e com isso demandou que os docentes e discentes procurassem uma melhor compreensão dos métodos que estavam sendo aplicados. Nesse ínterim, a computação e suas atribuições, foram se desenvolvendo ainda mais, com sites, aplicativos, que irão ser abordados em três exemplos neste trabalho, com a intenção de facilitar a compreensão de assuntos mais abstratos da química. (ABRINQ, 2021)

Em 2020, quando a quarentena começou, surgiu uma necessidade de se adaptar com o ensino remoto, com isso, o Google Meet, Zoom e Discord, plataformas gratuitas para encontros síncronos, foram bastante utilizadas e ambas prosperaram até os dias atuais em escolas e faculdades. Outra tecnologia implementada nas escolas na pandemia, é o Google sala de aula (Classroom) que até hoje essas academias ainda usam para postar conteúdos, seja ele vídeos ou exercícios para avaliações. Já outras instituições de ensino, decidiram partir para suas próprias plataformas digitais, com videoaulas gravadas e exercícios online para melhor fixação dos conteúdos. Todas essas tecnologias usadas, serviram para uma maior aproximação aluno-professor, que antes era basicamente só nas aulas presenciais. (ARAUJO, 2020)

### **Exemplo de aspectos tecnológicos do aprendizado de química.**

É factível que a tecnologia seja um dos fatores cruciais, atualmente, para uma boa aprendizagem, tendo em vista a grande gama de opções educacionais. Sob o cenário da química, sabe-se que pode ser difícil a visualização de moléculas sem uma alternativa visual, além dos inúmeros cálculos complexos envolvidos na química quântica e entre outras atividades. Buscando suavizar esses obstáculos, a tecnologia torna algumas áreas mais práticas com diversos sites e aplicativos.

O “ChemDraw” é um aplicativo pago que permite a representação visual em 2D e 3D de estruturas moleculares de forma precisa, possibilitando a criação de estruturas tanto por desenho quanto pela nomenclatura, além de outras funcionalidades rebuscadas, como a visualização de RMN (um tipo de análise de amostras por ressonância magnética). Essa plataforma pode ser integrada com softwares de modelagem molecular como o Gaussian, contribuindo na transferência de estruturas desenhadas para a realização de cálculos teóricos mais avançados, como os de estrutura eletrônica e espectroscopia. Por ser pago e não possuir tradução para PT-BR, muitos usuários optam por outras ferramentas que possuem características similares, como o MolView e o ChemSketch.

O “MolView” é um site que propõe, com um layout mais refinado e intuitivo, a visualização de moléculas em 2D e em 3D, permitindo que o usuário pesquise pela nomenclatura para retornar a estrutura correspondente. Por ser uma ferramenta online e de graça, é mais pretendida no ensino da química voltado para escolas, mesmo não tendo tantas funcionalidades complexas.

O “ChemSketch” é um programa gratuito que permite a representação de produtos químicos e moléculas com modelos tridimensionais de forma fácil e uniforme. Assim, é uma opção bem vista por professores pelas suas funcionalidades que podem ser aproveitadas em situações de ensino de química, sendo uma ótima ferramenta para esse ramo.

Sob a ótica da diversão na aprendizagem, é imprescindível citar a plataforma online “Coquinhos”, que disponibiliza inúmeros jogos que promovem conhecimentos em química, utilizando conceitos como atômica, interações moleculares, tabela periódica e estequiometria. Essa plataforma é voltada para um público mais jovem por ser mais interativo, lúdico e menos técnico, tornando o aprendizado em química uma atividade mais divertida para quem possui mais dificuldade.

Uma segunda plataforma nesse viés é a “Wordwall”, que tem como intuito a elaboração de atividades interativas e impressas. Nela, professores podem criar atividades de acordo com a matéria utilizando diversos modelos e possui um sistema de ranking, que gera mais interesse por parte dos alunos por certa “competição”.

Outro software utilizado é o “PhET”, que propõe diversas simulações na temática de química, com diversos conceitos que podem ser praticados nesta aplicação, como as interações atômicas, geometria molecular e escalas de pH. É um site projetado pela Universidade do Colorado e também promove atividades lúdicas e interativas para o aprendizado.

Observa-se, desse modo, que a tecnologia proporciona inúmeras maneiras de beneficiar o aprendiz e pesquisador de química, beneficiando todos os níveis de complexidade, permitindo desde atividades lúdicas educativas até plataformas mais técnicas e complexas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho pretende que ocorra usos mais recorrentes da tecnologia em estudos da química, em exemplo na parte da orgânica através de sites e aplicativos a fim de auxiliar na proposta do aluno ter mais visão espacial e conseqüentemente mais autonomia nos seus estudos e conhecimento tecnológico-científico. Consultou-se a BNCC (Base Nacional Comum Curricular) para verificar os conteúdos que são abordados em cada série do ensino médio regular e que poderão ser abordados de forma menos expositiva e mais lúdica na sala de aula (Tabela 1).

SÉRIE	CONTEÚDO
1° ano	Ligações interatômicas e intermolecular Transformações químicas Polaridade e hibridização Geometria da molécula
2° ano	Funções orgânicas e inorgânicas Tipos de fórmulas
3° ano	Polímeros Biomoléculas

Tabela 1 – conteúdos possíveis de serem abordados.

Com o planejamento dos conteúdos, cabe ao docente realizar a devida explicação teórica dos conteúdos abordados correlacionando com as tecnologias a serem utilizadas paralelamente à abordagem teórica dos conteúdos.

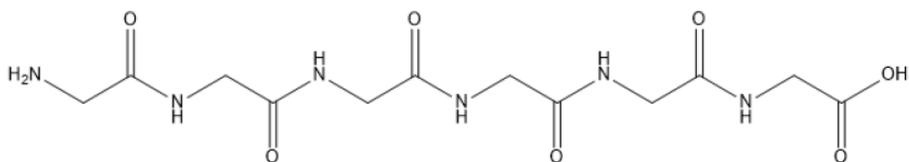
Os materiais utilizados para a aplicação desses métodos tecnológicos, serão:

- Computadores e/ou tablets;
- Celulares dos alunos;
- Projetor e slides;
- Mesa digitalizadora (para ensino remoto);
- Quadros interativos (se tiver disponibilidades);

A maioria dos sites e aplicativos educacionais são pouco abordados e conhecidos em sala de aula, talvez por conta da falta de tempo dos professores se dedicarem ao aprofundamento dessas tecnologias e aplicá-las nas salas de aula. Outro motivo são as barreiras enfrentadas por eles em escolas, por muitas vezes terem que seguir um projeto político pedagógico – PPP, próprio das instituições.

O primeiro dos aplicativos que iremos abordar neste trabalho, é o CHEMDRAW. Ele inclui todas as ferramentas necessárias para desenhar as estruturas químicas e suas reações das mais simples às mais complexas, contando com imagens de vidrarias de laboratório para maior conhecimento das práticas e objetos laboratoriais. Possui integração com MS Office e ferramentas customizáveis, podendo consultar bancos de dados online e publicar online seus desenhos.

Com essa ferramenta tanto online quanto offline, o aluno deverá desenhar a molécula desejada para melhor visualização da mesma, podendo também saber o nome da estrutura desenhada, ou vice-versa, podendo digitar o nome da molécula e o sistema a desenhará (Figura 1). Esse aplicativo, ainda, é todo em inglês, portanto pode gerar certa dificuldade nos alunos do ensino médio, por isso sua aplicação deverá ser conduzida em sala de aula com o auxílio do docente que tenha um bom domínio dessa plataforma, para que, assim, haja um direcionamento aos alunos e no futuro os mesmos poderão fazer uso sem ajuda do professor.



(a)



Figura 1 – (a) molécula de polímero feita no chemdraw. (b) objetos usados no laboratório. (c) tipos de ligações e orbitais.

O segundo site que falaremos é o MOLVIEW ( Figura 2) que é um site gratuito e online que é usado para visualizações espaciais de moléculas, permitindo também a construção das moléculas em bastão e 3d, fornecendo uma representação mais fiel aos ângulos e ligações reais, facilitado a visualizações.

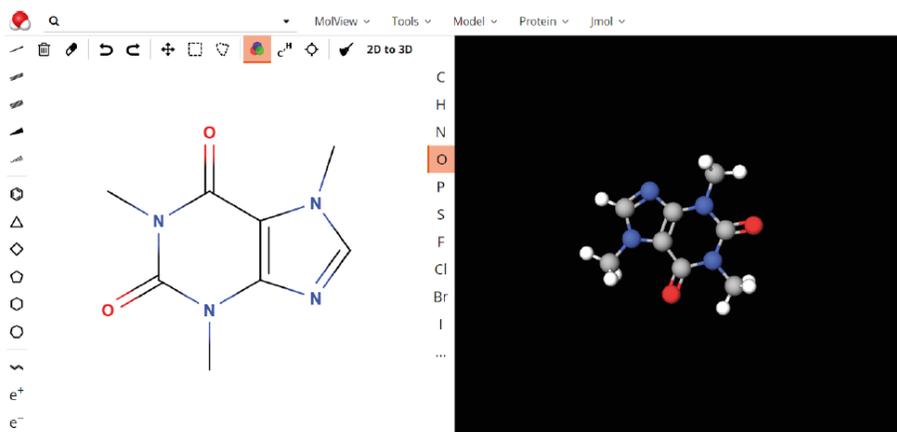


Figura 2 – site mol view. disponível em: <https://molview.org>.

A terceira plataforma é o site COQUINHOS (Figura 3 e 4) que reúne vários minijogos interativos para uma imersão de vários tópicos em uma só plataforma, implementando uma gamificação do aprendizado fazendo com que a química seja mais interessante para o público alvo.



(a)

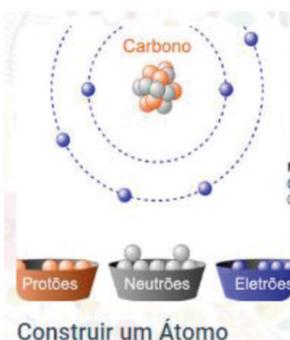


(b)

Figura 3 – (a) minijogo sobre o tema energia. (b) minijogo sobre estequiometria.



(a)



(b)



(c)

Figura 4–(a) minijogo sobre relações intermoleculares. (b) minijogo sobre a atomicidade. (c) mini jogo de combinar 3 vidrarias laboratoriais.

Um outro exemplo que pode ser implementado nas salas de aulas, seria o quadro interativo (Figura 5). Estes quadros permitem que o docente possa fazer a estrutura molecular espacial na hora, junto aos alunos, nos sites que foram citados neste trabalho, caso haja disponibilidade de internet no ambiente escolar, facilitando o entendimento dos estudantes para a montagem das estruturas.

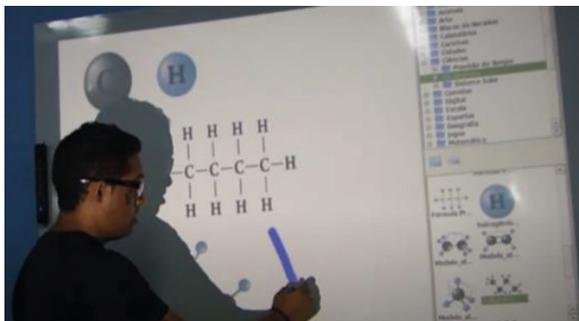


Figura 5– quadro interativo na sala de aula. disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=9BH2womRdLw>

Esse quadro permite que o docente faça a estrutura molecular espacial na hora, junto aos alunos, facilitando a compreensão dos estudantes para a montagem das estruturas. Isso também é possível fazer, por exemplo, em aulas remotas, onde o professor poderá utilizar uma mesa digitalizadora (Figura 6) que permitirá que o mesmo desenhe as estruturas espaciais transmitindo para a tela do computador simultaneamente. Essa seria uma ferramenta para os cursos à distância, com o propósito de facilitar e manter uma interação professor-aluno mais didática.



Figura 6 – mesa digitalizadora em uso. disponível em: <https://clube.design/mesa-digitalizadora-o-guia-definitivo/>

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados podem ser diversos. Espera-se que, com o uso dessas metodologias ativas conectadas à computação, os alunos possam compreender que a química vai além do caderno da sala de aula, podendo estar em qualquer ambiente tecnológico. À medida que os alunos aprendem que a tecnologia vai além das redes sociais, eles não apenas aplicam conceitos abstratos da visão espacial, mas também testemunham a relevância direta da química em sua vida cotidiana-tecnológica.

Essa conexão entre teoria e prática fortalece o entendimento conceitual e inspira um senso de propósito, reconhecendo como a química está ligada com questões atuais tecnológicas, inclusivas e interativas. Pretende-se, também, inserir o estudante numa posição mais autônoma em seu processo de aprendizagem, resultando no estímulo do conhecimento e desenvolvimento computacional.

A experimentação via tecnologia proporciona descontração no ambiente escolar que, para muitos alunos, pode ser desinteressante e entediante. Dessa forma, torna a aprendizagem mais atraente e, ademais, prepara os estudantes para se tornarem indivíduos engajados e curiosos, sendo capazes de analisar problemas com um nível de complexidade demandado pela tecnologia, buscando inovações que contribuem com o ensino. Essa abordagem da educação transmite conhecimento e molda atitudes e valores, pois aproxima o aluno de seus professores e da instituição, por promoverem atividades que se encaixam em sua gama de interesse.

## CONCLUSÕES

Espera-se que com o uso da experimentação vinculada às novas ferramentas tecnológicas os alunos consigam conhecer melhor a Química como uma área que facilita e ajuda a entender os acontecimentos na vida em sociedade e científica, além de perceber que tal intervenção didática pode proporcionar um ambiente lúdico e investigativo de aprendizagem baseado naquilo que mais está em crescente desenvolvimento nesse século e indagação contribuindo para a formação de um cidadão que se questiona, atualizado na educação tecnologicamente podendo também, intervir positivamente na sociedade em que vive. E, ainda, diversificar os estilos de aprendizagem que se destacam em uma sala de aula contribuindo para a adequação de metodologias e abordagem diferenciadas.

## REFERÊNCIAS

ABRINQ, F. Entenda como a pandemia impactou a educação no Brasil. Notícias, 2021. Disponível: <https://www.fadc.org.br/noticias/entenda-como-a-pandemia-impactou-aeducacao-no-brasil>. Acesso em: 21 abril. 2024.

A EVOLUÇÃO DOS COMPUTADORES. Disponível em: <<http://www2.ic.uff.br/~aconci/evolucao>>.

Alcides Loureiro Santos. GUIA PRÁTICO DE UTILIZAÇÃO DO CHEMSKETCH. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www2.ufac.br/mpecim/menu/produtos-educacionais/2014/produto-educacional-alcides-loureiro-santos.pdf>>.

APRÀ, E. et al. NWChem: Past, present, and future. The Journal of Chemical Physics, v. 152, n. 18, p. 184102, 14 maio 2020.

ARAÚJO, P. H. Ensino A Distância: Características e Desafios. Congresso Nacional Universidade EAD e Software Livre, v. 2, p. 1-6, 2020.

BRAZILIENSE, C. Censo mostra disparidade no ensino remoto entre escolas públicas e privadas. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br> Acesso em: 21 abril. 2024.

COMPONENTE CURRICULAR -QUÍMICA. [s.l.: s.n.]. Disponível em: [https://www.s bq.org.br/bahia/sites/s bq.org.br/bahia/files/componente\\_curricular\\_b ncc\\_quimica.pdf](https://www.s bq.org.br/bahia/sites/s bq.org.br/bahia/files/componente_curricular_b ncc_quimica.pdf).

FAPESP. Roy Edward Bruns - Biblioteca Virtual da FAPESP. Disponível em: <https://bv.fapesp.br/pt/pesquisador/4878/roy-edward-bruns/>. Acesso em: 22 abr. 2024.

GORDON GROUP. Gordon Group/GAMESS Homepage. Disponível em: <https://www.msg.chem.iastate.edu/game ss/>.

HEMERSSON, K.; ROMÃO, O.; ALVES, J. A UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE GAUSSIAN COMO FERRAMENTA PARA O ENSINO DAS REAÇÕES SN2 E E2 EM QUÍMICA ORGÂNICA. [s.l.: s.n.]. Disponível em: [https://editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2019/TRABALHO\\_EV127\\_MD4\\_SA16\\_ID3408\\_26092019103959.pdf](https://editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2019/TRABALHO_EV127_MD4_SA16_ID3408_26092019103959.pdf). Acesso em: 22 abr. 2024.

JOYE, C. R.; MOREIRA, M. M.; ROCHA, S. S. D. Educação a Distância ou Atividade Educacional Remota Emergencial: em busca do elo perdido da educação escolar em tempos de COVID-19. *Research, Society and Development*, v. 9, p. 1-29, 2020.

NUNES, M. R. A. DAN. Wordwall: ferramenta digital auxiliando pedagogicamente a disciplina de Ciências. *Revista Educação Pública*, v. 21, n. 44, 7 dez. 2021.

RODRIGUES, S. P. J.; CARIDADE, P. História da química computacional e do uso dos computadores em química. *História da Ciência e Ensino: construindo interfaces*, v. 25, n. 25, p. 140–153, 29 set. 2022.

UNIVERSITY OF COLORADO BOULDER. Simulações Interativas PhET. Disponível em: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/).

WILKES, M. V.; RENWICK, W. The EDSAC (Electronic delay storage automatic calculator). *Mathematics of Computation*, v. 4, n. 30, p. 61–61, 1 maio 1950.

# APRENDENDO NO MUSEU DE CIÊNCIAS DA TERRA: USO DA TEORIA SOCIAL COGNITIVA DE BANDURA NO ENSINO DE QUÍMICA

*Data de submissão: 04/08/2024*

*Data de aceite: 01/10/2024*

### **Thiago da Cunha Perrotti**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro - RJ  
<https://acesse.dev/cOXgC>

### **Elizabeth Teixeira de Souza**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira, Departamento de Ciências da Natureza  
Rio de Janeiro - RJ  
<https://bitlyli.cc/uwD>

**RESUMO:** O presente trabalho propõe uma visita guiada ao museu de ciências da terra como uma exploração de espaços não formais no processo ensino-aprendizagem de química à luz da teoria social cognitiva de Bandura. A aprendizagem através da observação e interação social é um dos pontos chave desta proposta, que aproxima as ciências do seu verdadeiro objeto de estudo: A realidade que nos cerca. Os museus de ciências são ricos em demonstrações, atividades práticas e exposições interativas. No caso do museu estudado no presente trabalho, suas exposições exploram diversos assuntos de química e ciências de maneira mais ampla,

sendo formas eficazes de aprendizagem observacional. A metodologia proposta envolve aplicação de um questionário enquanto avaliação diagnóstica, visita ao museu de ciências da terra e um novo questionário posterior à visita. Espera-se, com isso, fortalecer o ensino de química e de ciências de uma maneira geral e aplicá-lo não como uma mera memorização de fórmulas, mas enquanto ferramenta de transformação social e letramento científico. A proposta também abre possibilidades de trabalhos inter/transdisciplinares e proporcionando novas estratégias educacionais de incentivo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Espaços não formais; Novas metodologias; Ensino de ciências; Educação Museal; Bandura.

## LEARNING AT THE EARTH SCIENCE MUSEUM: USE OF BANDURA'S SOCIAL COGNITIVE THEORY IN CHEMISTRY TEACHING

**ABSTRACT:** This paper proposes a guided tour of the Earth Science Museum as an exploration of non-formal spaces in the chemistry teaching-learning process in the light of Bandura's social cognitive theory. Learning through observation and social interaction is one of the key points of this proposal, which brings the sciences closer to their true object of study: the reality that surrounds us. Science museums are rich in demonstrations, practical activities and interactive exhibitions. In the case of the museum studied in this paper, its exhibitions explore various chemistry and science subjects more broadly, and are effective forms of observational learning. The proposed methodology involves the application of a questionnaire as a diagnostic assessment, a visit to the earth science museum and a new questionnaire after the visit. It is hoped that this will strengthen the teaching of chemistry and science in general and apply it not as a mere memorization of formulas, but as a tool for social transformation and scientific literacy. The proposal also opens up possibilities for inter/transdisciplinary work and provides new educational incentive strategies.

**KEYWORDS:** Non-formal spaces; New methodologies; Science teaching; Museum education; Bandura.

### INTRODUÇÃO

Os museus são instituições que datam desde a antiguidade, desempenhando um papel vital na sociedade, servindo como guardiões da história, da arte e do conhecimento científico, e proporcionando experiências educacionais e culturais significativas para o público. Eles são espaços onde as pessoas podem se conectar com o passado, entender o presente e imaginar o futuro.

Alguns historiadores especulam que o museu de Enigaldi-Nana é o museu mais antigo do mundo. Datando em 530 a.C, estava localizado no estado de Ur, atual Iraque. Quando o arqueólogo Leonard Woolley conduziu escavações nas ruínas do local, descobriu que seu conteúdo era rotulado usando tabuletas e rolos de argila. (Grande, 2017)

Já o primeiro museu de ciências que se tem registro é o Ashmolean Museum of Art and Archaeology, museu de arte e arqueologia, também considerado o primeiro museu público da história (MacGregor, 2001).

No contexto do Brasil, o primeiro museu criado foi o Museu Nacional, também considerado a instituição científica mais antiga do Brasil. Fundado em 1818 por Dom João VI e foi um dos maiores museus de história natural e antropologia das Américas. Em 1946, foi incorporado à Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e, após um incêndio de grandes proporções em 2018, segue restaurado e oferecendo cursos de extensão, especialização e pós-graduação nas mais diversas áreas do conhecimento (Duarte, 2019).

Nos tempos modernos, existe uma necessidade de considerar o que os visitantes pensam das suas experiências em museus devido a dois fatores diferentes: Um é a crescente importância do papel educacional dos museus, o outro é a crescente pressão nos museus para justificar a sua existência (Hein, 1998).

O Museu de Ciências da Terra (MCTer) é o Museu escolhido para este trabalho. Data desde 1907, porém recebeu seu nome atual apenas em 1992, pelo ministro das minas e energia, com o objetivo de preservar a memória geológica do país. Foi tombado pela Prefeitura em 1994 e ocupa parte do segundo pavimento do prédio denominado Palácio da Geologia. Encontra-se em restauração devido a um grande incêndio no seu bloco, comprometendo a estrutura física do prédio. Apesar disto, contém um dos acervos mais ricos da América Latina, contendo mais de 10 mil amostras de minerais do Brasil e de fora, 12 mil rochas e 35 mil fósseis catalogados. Após o fim das obras, o Museu terá cerca de 5 mil metros quadrados de exposição, ocupando o prédio inteiro.

Diante disso, a preocupação deste trabalho é de abordar uma possibilidade de educação museal enquanto estratégia de ensino-aprendizagem de química e ciências de maneira mais ampla. Explorando todos os espaços oferecidos atualmente pelo MCTer e refletindo nas suas possíveis contribuições para a apresentação de diferentes conceitos de química e ciências.

O presente trabalho se divide em 6 seções, além desta introdução. A primeira seção desenvolve fundamentos teóricos que embasam a proposta apresentada. A segunda seção trata das informações referentes às definições e regulamentação de museus. A terceira seção discorre em detalhes como a atividade proposta pode ser implementada. A quarta seção apresenta os resultados esperados, a quinta discute sobre esses resultados e por fim, a sexta seção conclui o capítulo.

## **A TEORIA SOCIAL COGNITIVA DE ALBERT BANDURA**

Muito se discute sobre os fatores necessários para um ensino efetivo de qualidade. Muitos estudos na área de psicologia de educação têm como fim compreender esses fatores e a influência dos fatores internos e externos. Pois cada indivíduo aprende e ensina da sua forma. O conhecimento destas teorias, desde os autores mais clássicos como Piaget e Vygotsky até os mais modernos como Albert Bandura, referencial teórico principal deste trabalho, se tornam ferramentas vitais para professores e instituições de ensino.

Apesar de não ter se difundido tanto no Brasil quanto em outros países, o trabalho de Bandura conquistou muito espaço desde a formulação da Teoria Social Cognitiva em 1986. Esta teoria propõe uma abordagem abrangente para entender o comportamento humano, ao invés de se limitar a fatores internos e/ou externos de maneira isolada. Bandura destaca a interação dinâmica entre fatores sociais, cognitivos e ambientais, enfatizando a importância da aprendizagem por observação, modelagem de comportamento e crença de autoeficácia na formação do comportamento humano (Azzi, 2014). Sua teoria afirma que os indivíduos aprendem não apenas através de suas próprias experiências diretas, mas também observando e imitando os comportamentos de outros, especialmente modelos significativos em suas vidas. Estes modelos não se limitam a outros indivíduos.

A Teoria Social Cognitiva destaca a influência dos processos cognitivos internos, como pensamentos, crenças e expectativas, na forma como as pessoas percebem, interpretam e respondem ao ambiente ao seu redor. Essa abordagem integrada oferece uma compreensão abrangente do comportamento humano, destacando a interconexão entre o indivíduo (comportamento), o ambiente ao redor e os processos cognitivos na determinação do comportamento humano na chamada reciprocidade triádica, representada na figura 1.

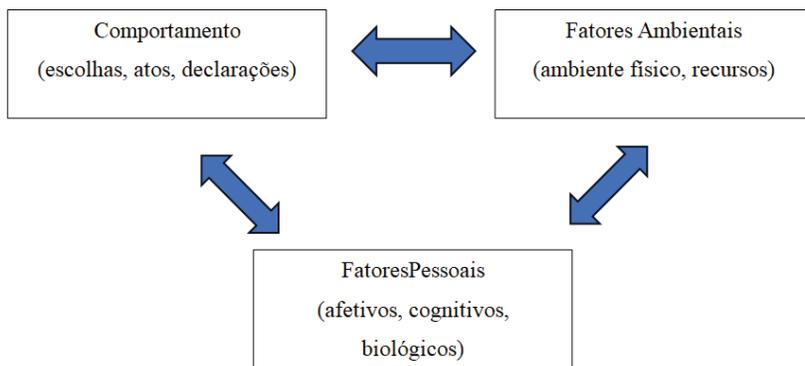


Figura 1 – Reciprocidade triádica. Elab.: autores.

O Comportamento se refere às ações observáveis e mensuráveis de um indivíduo. Esses são os atos e reações que podem ser vistos e analisados externamente. Já os fatores pessoais incluem aspectos internos do indivíduo, como cognições, emoções, motivações e crenças. Estes são os elementos psicológicos e biológicos que influenciam como uma pessoa pensa, sente e reage. Por esta razão são mais difíceis de medir. Por fim, os fatores ambientais referem-se aos contextos físicos e sociais nos quais o indivíduo se encontra. Incluindo objetos físicos, normas sociais, presença de outras pessoas e as circunstâncias situacionais. (Bandura, 1986)

Neste contexto, as pessoas são agentes e produtos destas interações. Desta forma, o indivíduo tem um certo nível de controle sobre suas ações e comportamentos, “assim como para colocar limites ao seu autodirecionamento” (Azzi, 2006). Outra característica central na teoria de Bandura é a Crença de Autoeficácia, que se refere à crença de um indivíduo em sua capacidade de executar tarefas específicas com sucesso. Essa confiança influencia a maneira como as pessoas pensam, se sentem e agem diante de desafios (Bandura, 1997). Portanto, conceito que também é central no campo da educação.

As teorias propostas por Bandura dialogam com a educação museal em diversos pontos. Em um museu, os visitantes entram em contato com artefatos que contam histórias, ensinam ciências e apresentam personalidades históricas. Por tanto, fatores ambientais e/ou modelos que influenciam o comportamento e o desenvolvimento cognitivo dos mesmos.

A educação museal proporciona aprendizagem construtivista, engajamento ativo e experiências significativas (Hein, 1998). Além disso, George Hein Utiliza os termos “formal” e “informal” como uma maneira de diferenciar os espaços pela presença ou ausência de um currículo formal. Espaços formais, como as escolas, ensinam um currículo específico e hierárquico, e geralmente possuem regras sobre frequência, tempo gasto nas aulas, colegas de classe e requisitos para a conclusão com sucesso. Espaços não formais, como museus, mesmo quando abertamente engajados em educação, não têm um currículo fixo que progrida de níveis inferiores para superiores, normalmente não exigem frequência e não certificam a maestria de conhecimento específico ao final de uma visita.

Um museu organizado de maneira didática/expositiva deve ter: Exibições sequenciais, com um começo e fim claros, componentes didáticos que descrevam o que deve ser aprendido na exibição, uma organização hierárquica do assunto, do simples ao complexo entre outros critérios que aproxima a experiência museal de uma abordagem formal de ensino (Hein, 1998). Apesar de nem todos os museus seguirem o apresentado, estes critérios auxiliam a docente no planejamento de uma atividade envolvendo museus.

## ÓRGÃOS REGULAMENTADORES

A definição de museu dada pelo IBRAM (Instituto Brasileiro de Museus) mais recente data de março de 2022, definindo museu da seguinte maneira: Instituição sem fins lucrativos de natureza cultural, que conserva, investiga, comunica, interpreta e expõe, para fins de preservação, estudo, pesquisa, educação, contemplação e turismo, conjuntos e coleções de valor histórico, artístico, científico, técnico ou de outra natureza cultural, aberta ao público, a serviço da sociedade e de seu desenvolvimento (IBRAM, 2022).

Durante a Conferência Geral do ICOM (Internacional Council of Museums), em 24 de agosto de 2022, a definição de museu foi reformulada, dizendo: Um museu é uma instituição permanente, sem fins lucrativos, a serviço da sociedade, que pesquisa, coleciona, conserva, interpreta e expõe patrimônio material e imaterial. Abertos ao público, acessíveis e inclusivos, os museus promovem a diversidade e a sustentabilidade. Atuam e se comunicam de forma ética, profissional e com a participação das comunidades, oferecendo experiências variadas de educação, entretenimento, reflexão e compartilhamento de conhecimento. (ICOM Brasil, 2024).

A definição do ICOM apresenta uma visão mais ampla e inclusiva dos museus, enfatizando seu papel social, comunitário e educativo, além de destacar a importância da acessibilidade, inclusão, ética e profissionalismo. Em contraste, a definição do IBRAM é mais tradicional e centrada nos aspectos legais e funcionais dos museus, sem abordar de forma tão explícita os aspectos sociais e inclusivos destacados pelo ICOM. Essa diferença reflete uma evolução no entendimento do papel dos museus na sociedade contemporânea, passando de meros depositários de objetos para agentes ativos na promoção da diversidade, sustentabilidade e envolvimento comunitário.

O IBRAM define os seguintes requisitos para registro de museus: Estar a serviço da sociedade e seu desenvolvimento, ser instituição de caráter permanente, preservar bens naturais e culturais, de natureza material ou imaterial, estimular a produção do conhecimento seja de maneira formal ou não formal, trabalhar de forma regular com bens culturais musealizados, possuir exposição ou comunicar seus bens culturais musealizados, ser instituição aberta ao público, não comercializar bens culturais musealizados, não se caracterizar como processo museológico, não se caracterizar como unidade de conservação da natureza e não se caracterizar como museu virtual (IBRAM, 2022).

## **MATERIAIS E MÉTODO PROPOSTO**

A visita proposta ao Museu de Ciências da Terra é uma atividade que potencializa o papel sócio-educacional de museus, além de facilitar o uso de metodologias ativas com apoio na teoria sócio cognitiva de Bandura. Além disso, pretende contribuir para a divulgação e letramento científico. Que poderá ser aplicado em qualquer série da educação básica (ciências), com enfoque no 9º ano e ensino médio (química). Os possíveis conteúdos de química para serem abordados no 9º ano seriam: Estados de agregação da matéria e suas transformações, substâncias e misturas. Para a 1ª série do ensino médio seriam: Ligações químicas, número de oxidação e funções inorgânicas. Por fim, para a 2ª série do ensino médio seriam: Radioatividade e reações nucleares.

Antes da visita propriamente dita, propõe-se uma aula expositiva abordando um dos temas acima em uma turma correspondente, de forma que uma avaliação diagnóstica possa ser realizada para aferir os conhecimentos adquiridos pela turma para fins de comparação antes e depois da visita. O passeio ao museu pode ser realizado no horário da aula de química ou em um dia não letivo, a depender da disponibilidade e distância da escola ao museu.

O roteiro da visita consiste em observar e discutir sobre as quatro áreas de exposição atualmente disponíveis no museu, sendo elas: Brasil Glacial (exposição de curta duração), fósseis, o paleontólogo Price e Salão de Rochas e Minerais (exposições de longa duração).

### **Brasil Glacial (tempo total estimado: 20 minutos)**

Localizado na entrada do museu, esta exposição ressignifica o que entendemos como Era do Gelo, mostrando evidências dos principais eventos glaciais registrados no Brasil (MCTer, 2024). Na figura 2 seguem os principais painéis e artefatos da exposição:

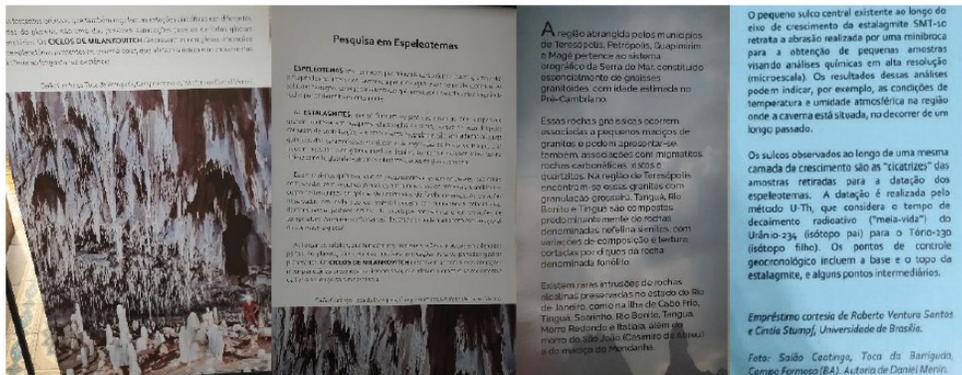


Figura 2 – Principais painéis da exposição Brasil Glacial. Elab.: autores.

Nesta exposição, além das curiosidades históricas, geológicas e científicas de maneira geral, é possível abordar o assunto funções inorgânicas, partindo de um dos painéis da figura 2, que fala sobre as pedras alcalinas (principalmente  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ ) presentes na região serrana e do painel sobre os espeleotemas, que são formados por minerais carbonáticos como calcita e aragonita, que tem composição  $\text{CaCO}_3$ . Além disso, podemos abordar o assunto de radioatividade para falar da datação dos espeleotemas (decaimento do  $\text{U}^{234}$ ).

### Fósseis (15 minutos)

Nesta exposição, diversos fósseis estão expostos, além de um vídeo do canal “It’s Just Astronomical!” que fala sobre os ciclos de Milankovitch, como mostra a figura 3. Podendo ser usado para discutir temas de geografia e física, sem tópicos da química para serem abordados.



Figura 3 – Capa do vídeo “How Ice Ages Happen: The Milankovitch Cycles” (como eras do gelo acontecem: Os ciclos de Milankovitch): Fonte: Canal “It’s Just Astronomical!”, 2024.

## Price (15 minutos)

Fala sobre a história de Iwory Price, um dos primeiros e maior paleontólogo brasileiro. Além de ter lecionado em Harvard, Price reuniu a maior coleção de vertebrados fósseis do Brasil. Apesar da exposição não dialogar com a química, é uma exposição interessante para entender a história da paleontologia no Brasil e a contribuição deste paleontólogo para a história da ciência brasileira.

No caminho para a próxima exposição, alguns painéis estavam expostos nas paredes falando sobre a mão de obra negra na mineração do Brasil, que pode propiciar debates sobre os impactos históricos da escravização no Brasil, além de trazer elementos da religiosidade afro-brasileira, permitindo diálogos com a lei 10.639. Além disso, um outro painel estava se dedicando exclusivamente aos cientistas negros de renome no Brasil, como Juliano Moreira, médico e psiquiatra, Teodoro Fernandes Sampaio, engenheiro, geógrafo, escritor e historiador e Milton Almeida dos Santos, geógrafo e escritor. Estima-se 10 minutos observando e discutindo os painéis.

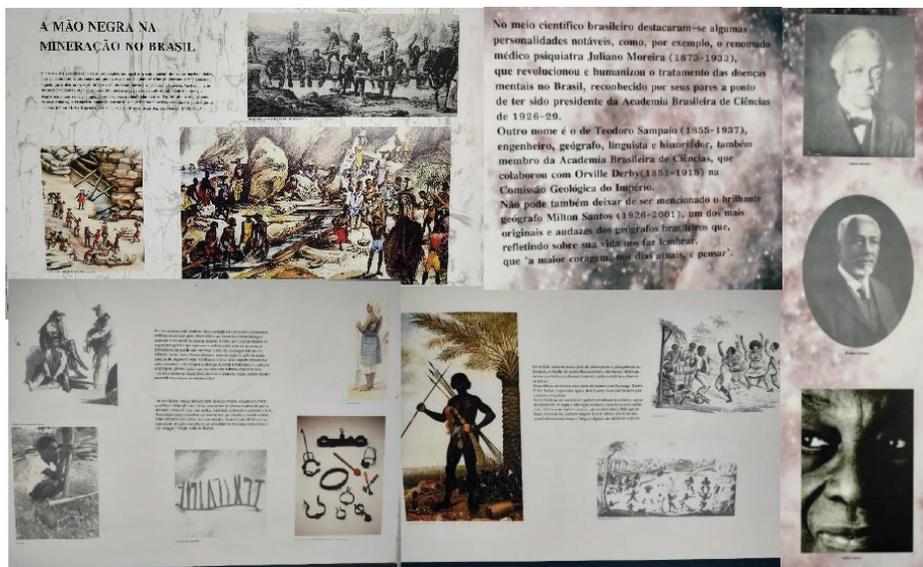


Figura 4 – Alguns Painéis expostos no caminho para a próxima exposição. Elab.: autores.

## Salão de rochas e minerais (40 minutos)

O carro chefe do museu, contando com incontáveis rochas, minerais, gemas, e meteoritos que chegaram à terra depois de viajarem pelo espaço por milhões de anos (MCTer, 2024), esta exposição se organiza de forma interessante para a química, pois os minerais são agrupados de acordo com a sua composição (figura 5), permitindo a visualização, em objetos reais, dos átomos e compostos estudados em sala de aula, além de serem visualmente interessantes.



de passar mais ou menos tempo do que mais desperta sua atenção. Outros resultados esperados são: O aluno ser capaz de reconhecer a contribuição brasileira nas diversas áreas de conhecimento na figura de Ivor Price e identificar as inter/transdisciplinaridades existentes nos diversos contextos tecno-científicos.

## DISCUSSÃO

A visita a museus, espaços que despertam a curiosidade de maneira mais espontânea, diferente da sala de aula, onde o conhecimento é dado segundo uma programação e avaliações recorrentes. Isso cria um ambiente descontraído e atraente. Os alunos são estimulados a refletir sobre fatos históricos e científicos, conectar objetos e exposições a conceitos estudados em sala de aula, e a compreender o impacto que as ciências tem na sociedade e vice-versa. Formando pessoas com ferramentas úteis para a compreensão da realidade que os cerca e para exercer suas cidadanias.

O estudo da teoria sócio cognitiva de Bandura se torna uma ferramenta importante para entender como os modelos de aprendizagem observacional estão presentes em um museu. Mesmo não se tratando de indivíduos de fato, vídeos, simulações, modelos, réplicas e as rochas/minerais proporcionam oportunidades valiosas para o aprendizado através da observação direta de fenômenos naturais, pois as pessoas são auto-organizadoras, proativas, auto-reguladoras e auto-reflexivas. Elas não são simplesmente observadoras de seu comportamento. Elas são contribuintes para suas circunstâncias de vida, não apenas produtos delas (Bandura, 2006).

Na psicologia da agência humana, Bandura discorre sobre 4 propriedades relevantes na compreensão dos efeitos positivos de uma visita a um museu, são elas: intencionalidade, que se refere à capacidade dos indivíduos de formar planos de ação para alcançar objetivos. Permite que as pessoas tenham propósitos e direções em suas ações.

Isto leva o visitante a participar da visita com a intenção de aprender, explorar novos conhecimentos e satisfazer curiosidades específicas. Na previsão, temos a capacidade de antecipar futuros eventos e consequências de ações antes que elas sejam realizadas. No caso da visita, o indivíduo pode prever os aprendizados e benefícios que o museu pode oferecer.

Outra propriedade importante é a auto-reatividade, que se refere à capacidade das pessoas de regular e ajustar suas ações para garantir que elas estejam alinhadas com suas intenções e objetivos. Incluindo a capacidade de adaptar seu próprio comportamento em resposta às circunstâncias e feedback. Eles podem seguir as instruções do guia/professor, interagir com as exposições e fazer perguntas, adaptando seu comportamento de acordo com as novas informações que recebem. Por fim, a auto-reflexão é fundamental após a visita, quando os alunos refletem sobre o que aprenderam e como a experiência no museu se relaciona com seu conhecimento prévio e objetivos de aprendizagem. Eles avaliam a eficácia de sua participação e as novas informações adquiridas, ajustando seu entendimento e estratégias de aprendizagem para futuras experiências. (Bandura, 2006).

## CONCLUSÕES

A visita ao Museu de Ciências da Terra, alinhada com o embasamento teórico de Albert Bandura, propicia uma visita que vai além de um mero passeio, trabalhando e desenvolvendo conceitos científicos que inicialmente só seriam abordados em níveis abstratos em sala de aula. Esta proposta não só cria uma ferramenta interessante para o processo ensino-aprendizagem de química e ciências, como também é uma aliada na divulgação e letramento científico de maneira geral. Possibilitando valorização dos espaços não formais de aprendizado e fortalecendo a cultura de que o Brasil produz ciência e cultura de qualidade.

Atividades engajadoras como esta permitirão que o aluno entenda que ele é um agente importante no próprio processo de aprendizagem que, por mais que dependa de fatores externos como recursos e pessoas, também depende do seu próprio comportamento e crenças frente ao conhecimento que lhe é oferecido. Ao despertar sua curiosidade e autonomia, a atividade oferece ao aluno uma nova visão sobre qual o seu lugar na ciência e sociedade, que influencia e é influenciada por ele. Preparando cidadãos críticos para viver em uma sociedade em constante mudança.

## REFERÊNCIAS

Azzi, R. G. (2006). Auto-eficácia Proposta por Alberto Bandura.

Azzi, R. G. (2014). Introdução à teoria social cognitiva. Campinas: CASA DO PSICOLOGO (PEARSON).

Bandura, A. (1986). Social Foundations of Thought and Action: A Social Cognitive Theory. Prentice Hall.

Bandura, A. (1997). Self-efficacy: The exercise of control. Nova York.

Bandura, A. (2006). Toward a Psychology of Human Agency. PERSPECTIVES ON PSYCHOLOGICAL SCIENCE.

Definição de Museu: ICOM Brasil. (10 de Junho de 2024). Fonte: Site oficial da ICOM Brasil: [https://www.icom.org.br/?page\\_id=2776](https://www.icom.org.br/?page_id=2776)

Duarte, L. F. (Jan-Abr de 2019). O Museu Nacional: ciência e educação numa história institucional brasileira. Horizontes Antropológicos, pp. 359-384.

Grande, L. (2017). Behind the Scenes of Natural History Museums. Chicago and London: The University of Chicago Press.

Hein, G. E. (1998). Learning in the Museum. Nova York: Routledge.

IBRAM. (22 de Março de 2022). Instituto Brasileiro de Museus - Ibram. Fonte: gov.br: <https://www.gov.br/museus/pt-br/assuntos/legislacao-e-normas/outros-instrumentos-normativo/resolucao-normativa-ibram-no-17-de-22-de-marco-de-2022>

MacGregor, A. (2001). *The Ashmolean Museum. A brief history of the museum and its collections*. London: Ashmolean Museum & Jonathan Horne Publications.

MCTer. (21 de Junho de 2024). Museu de Ciências da Terra – MCTer. Fonte: [mcter.sgb.gov.br: https://mcter.sgb.gov.br/exposicoes\\_museu.html](https://mcter.sgb.gov.br/exposicoes_museu.html)

It's Just Astronomical! (18 de junho de 2024). How Ice Ages Happen: The Milankovitch Cycles. Fonte: <https://youtu.be/iA788usYNWA?si=NceQUKR2oLlvMa-M>

# SEQUÊNCIA DIDÁTICA LÚDICA E EXPERIMENTAL SOBRE OS ESTADOS FÍSICOS DA MATÉRIA: UMA ABORDAGEM PARA O ENSINO FUNDAMENTAL

*Data de submissão: 08/08/2024*

*Data de aceite: 01/10/2024*

**Francisco Diego Soares de Sousa**

<http://lattes.cnpq.br/1749949099106530>

**Viviane Gomes Pereira Ribeiro**

<http://lattes.cnpq.br/6799706205935084>

**Assis Anderson Ribeiro da Silva**

<http://lattes.cnpq.br/3187145879869231>

**Mônica Regina Silva de Araújo**

<http://lattes.cnpq.br/7557434574349135>

**RESUMO:** O ensino de Ciências desde os primeiros anos da educação básica é fundamental para o desenvolvimento do conhecimento científico, cidadania e pensamento crítico. No Brasil a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) destaca que o estudo de Ciências ajuda os alunos a entenderem a si mesmos, a diversidade, os processos de evolução e manutenção da vida, o mundo material, os recursos naturais, suas transformações e fontes de energia, além do nosso planeta no Sistema Solar e no Universo. No entanto, desafios como a necessidade de memorização de muitos conceitos, a falta de conexão com o cotidiano dos estudantes, a falta de integração com outras disciplinas e a pouca participação dos alunos em sala de aula dificultam o ensino de Ciências.

Para superar esses desafios, é crucial articular teoria e prática, aproximando conceitos teóricos das vivências dos alunos. Estratégias como a experimentação permitem que os estudantes compreendam a teoria através do contato prático com fenômenos científicos, desenvolvendo a capacidade de investigação e problematização. Além disso, o uso da ludicidade, com jogos didáticos e atividades prazerosas, é uma ferramenta eficaz para motivar e facilitar o aprendizado, tornando o processo mais interativo e envolvente. Em resposta à necessidade de um novo olhar para o ensino de Ciências, esta pesquisa propõe uma abordagem inovadora, integrando experimentação e ludicidade através de Sequências Didáticas. Aplicada em uma turma de 9º ano em Barreira-CE, a Sequência Didática Lúdico-Experimental sobre os Estados Físicos da Matéria revelou resultados satisfatórios. Estudantes destacaram o engajamento coletivo e a interação proporcionada pelo jogo didático, tornando as aulas mais dinâmicas e motivadoras. A experimentação despertou curiosidade e espírito investigativo, facilitando a compreensão dos conteúdos. A metodologia mostrou-se eficaz, melhorando a organização das aulas, a participação dos alunos e a compreensão dos conceitos científicos.

## PLAYFUL AND EXPERIMENTAL TEACHING SEQUENCE ON THE PHYSICAL STATES OF MATTER: AN APPROACH FOR ELEMENTARY EDUCATION

**ABSTRACT:** The teaching of Science from the early years of basic education is fundamental for the development of scientific knowledge, citizenship, and critical thinking. In Brazil, the National Common Curricular Base (BNCC) highlights that the study of Science helps students understand themselves, diversity, the processes of evolution and maintenance of life, the material world, natural resources, their transformations and energy sources, as well as our planet in the Solar System and the Universe. However, challenges such as the need to memorize many concepts, the lack of connection with students' daily lives, the lack of integration with other subjects, and the low participation of students in the classroom hinder the teaching of Science. To overcome these challenges, it is crucial to articulate theory and practice, bringing theoretical concepts closer to students' experiences. Strategies such as experimentation allow students to understand theory through practical contact with scientific phenomena, developing the ability to investigate and problematize. Additionally, the use of playfulness, with educational games and enjoyable activities, is an effective tool to motivate and facilitate learning, making the process more interactive and engaging. In response to the need for a new perspective on Science teaching, this research proposes an innovative approach, integrating experimentation and playfulness through Didactic Sequences. Applied to a 9th-grade class in Barreira-CE, the Playful-Experimental Didactic Sequence on the Physical States of Matter revealed satisfactory results. Students highlighted the collective engagement and interaction provided by the educational game, making the classes more dynamic and motivating. Experimentation aroused curiosity and an investigative spirit, facilitating the understanding of the content. The methodology proved to be effective, improving class organization, student participation, and the understanding of scientific concepts.

**KEYWORDS:** Science teaching. Experimentation. Playfulness. Didactic Sequences.

## INTRODUÇÃO

O ensino de Ciências desde os primeiros anos da educação básica é imprescindível para o desenvolvimento do conhecimento científico, da cidadania, do pensamento crítico e para o avanço da humanidade. Aprender Ciências é crucial para que os sujeitos sejam capazes de compreender o mundo que os rodeiam. A educação científica, portanto, assume um papel importante para o desenvolvimento da sociedade, uma vez que forma cidadãos participativos na tomada de decisões e cientistas para o futuro da humanidade (Capachuz et al., 2005).

No Brasil o ensino de Ciências obrigatório para todo o ensino fundamental foi estabelecido pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB) de número 9.394/96, promulgada em 20 de dezembro de 1996 (Brasil, 1996). Em 2017 conforme disposições da LDB estabeleceu-se a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) que define um conjunto de aprendizagens essenciais, habilidades e competências que todos os estudantes devem desenvolver ao longo das etapas que constituem a educação básica (Brasil, 2018). Nesse sentido, o Ensino de Ciências no Brasil passou ser orientado por este documento. De acordo com a BNCC:

Ao estudar Ciências, as pessoas aprendem a respeito de si mesmas, da diversidade e dos processos de evolução e manutenção da vida, do mundo material – com os seus recursos naturais, suas transformações e fontes de energia –, do nosso planeta no Sistema Solar e no Universo e da aplicação dos conhecimentos científicos nas várias esferas da vida humana. Essas aprendizagens, entre outras, possibilitam que os 19 alunos compreendam, expliquem e intervenham no mundo em que vivem (Brasil, 2018).

Apesar do estudo das Ciências Naturais ser consensualmente reconhecido como importante e necessário por pesquisadores, professores e estudiosos da área, existem diversos desafios que dificultam o seu processo de ensino e aprendizagem. Krasilchik (1987) elenca algumas problemáticas encontradas no Ensino de Ciências, como a necessidade de memorização de muitos conceitos por parte dos alunos, a falta de vínculo com a realidade dos estudantes, a falta de coordenação com outras disciplinas e a passividade dos discentes em sala de aula. Ainda segundo a autora existem diversos fatores que influenciam negativamente na qualidade do ensino de Ciências, como a formação inadequada dos professores, a má qualidade dos livros didáticos e a falta de laboratórios nas escolas (Krasilchik, 1987).

Especialmente no ensino de Ciências, onde as aulas costumam ocorrer de forma muito conteudista, com explicações nem sempre associadas ao cotidiano, o professor deve ser capaz, dentre outras coisas, de articular constantemente a teoria com prática no seu fazer pedagógico em sala de aula. Lopes, Silva e Alves (2020, p. 246) concluem que a relação entre teoria e prática é imprescindível para o ensino e aprendizagem das ciências, visto que para maior e melhor compreensão do conhecimento científico faz-se necessário aproximar os conceitos teóricos da vivência prática dos educandos.

É necessário, portanto, que o professor de ciências prepare-se e busque utilizar em suas aulas, estratégias e recursos didáticos que permitam que evidentemente seja possível que os alunos compreendam os fenômenos científicos, aprendendo e contribuindo com a construção do conhecimento a partir das suas vivências (Lopes, Silva e Alves, 2020, p. 246).

Dentre as diversas estratégias que podem ser adotadas para melhorar a compreensão dos estudantes em relação aos conteúdo das Ciências básicas, bem como facilitar a ação dos docentes da Área, a experimentação se mostra como aliada, uma vez que torna possível a compreensão da teoria a partir de um contato prático com os fenômenos científicos levando ao desenvolvimento da capacidade de investigar e de problematizar o conhecimento, a partir da aplicação do método científico (Francisco Jr., Ferreira e Hatwig, 2008; Guimarães, 2009; Taha et al, 2016).

Para mais, o uso da ludicidade também é citado por diversos autores como ferramenta facilitadora e motivadora no processo de ensino e aprendizagem de ciências, uma vez que o lúdico permite que o estudante aprenda brincando, interagindo com jogos didáticos e outras habilidades lúdicas prazerosas, mas focando no aprendizado (Oliveira, 2018; Felício

et al., 2018; Ferro e Viel, 2019). Ela pode estar presente em diversos elementos da aula de Ciências, inclusive na experimentação, e pode ser incorporada a prática pedagógica com o intuito de dinamizar as aulas e permitir que os estudantes aprendam enquanto se divertem, podendo acontecer por meio de jogos, desafios, brincadeiras, etc. O lúdico atua portanto, como facilitador do ensino de Ciências, favorecendo a construção do conhecimento e o interesse dos discentes pela disciplina.

A utilização de Sequências Didáticas também surge com uma metodologia facilitadora para o ensino de Ciências, uma vez que tal estratégia dinamiza as aulas tornando-as menos cansativas, bem estruturadas e com maior participação dos estudantes. Para Dolz *et al.* (2011, p. 82) “Uma “sequência didática (SD)” é um conjunto de atividades escolares organizadas, de maneira sistemática, em torno de um gênero textual oral ou escrito”. E para Zabala (1998) as Sequências Didáticas, desempenham o papel de sequenciar e organizar de forma articulada, atividades ao longo de uma determinada unidade didática.

Em um cenário com a necessidade de um novo olhar para o ensino de Ciências, preocupado em superar os desafios e contribuir para o desenvolvimento da aprendizagem e a promoção efetiva da Alfabetização Científica nos diversos espaços da educação, esta pesquisa dedica-se a apresentar uma proposta inovadora que articula experimental e lúdico através de uma Sequência Didática (SD).

## **METODOLOGIA**

Elaborou-se uma Sequência Didática Lúdico-Experimental, sobre os Estados Físicos da Matéria, com o objetivo de compreender os impactos da experimentação e da ludicidade no processo de ensino e aprendizagem de Ciências a partir da percepção de alunos e professor e da interação dos mesmos com a metodologia. O material desenvolvido foi aplicado em uma turma de 9º ano em uma escola de ensino fundamental da rede privada de ensino, localizada no município Barreira, na região do Maciço de Baturité-CE<sup>1</sup>.

A SD foi construída seguindo a Base Nacional Comum Curricular, tendo como Unidade Temática “Matéria e Energia” e como habilidade “EF09CI01: Investigar as mudanças de estado físico da matéria e explicar essas transformações com base no modelo de constituição submicroscópica” (Brasil, 2018).

Para a aplicação da SD foram necessárias duas aulas, uma Aula 01 de Introdução, com exposição inicial do conteúdo e apresentação de problemas, conduzida pelo professor de ciências da turma. E uma outra Aula 02 de Desenvolvimento, com aplicação das atividades propostas na SD, conduzida pelo discente-pesquisador. A Imagem 1, a seguir ilustra a organização de todas as atividades desenvolvidas na Sequência Didática.

---

1. Macrorregião do Estado do Ceará, composta pelos municípios de Acarape, Aracoiaba, Aratuba, Barreira, Baturité, Capistrano, Guarimiranga, Itapiúna, Mulungu, Ocara, Pacoti, Palmácia e Redenção de acordo com o Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará-IPECE (Governo do Estado do Ceará, 2012).



O elemento experimental presente na Sequência Didática é um conjunto de quatro experimentos representando diferentes mudanças de estado físico, sendo eles: 1) Derretimento do Gelo, demonstrando a Fusão; 2) Derretimento de uma vela com aquecimento, em seguida seu retorno ao estado sólido com o resfriamento, ilustrando Fusão e Solidificação; 3) Fervura da água, demonstrando a Ebulição; 4) Formação de gotículas de água na parte externa de um copo de água gelada, ilustrando a Condensação. A imagem 3 abaixo demonstra a atividade experimental realizada.

Imagem 3: Atividade experimental com orientações para o aplicador e folha de atividade para os estudantes.

Fonte: Próprio Autor

Após a aplicação do material realizou-se uma coleta de dados a partir das respostas a dois tipos de questionários, sendo eles o questionário dos estudantes contendo 5 perguntas e o questionário do professor, contendo 10 perguntas.

Antes da aplicação do material o pesquisador entregou a cada estudante um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) para ser assinado pelos pais ou responsáveis permitindo a participação dos menores na pesquisa. Em anexo ao TCLE, enviou-se uma cópia do questionário ao qual os estudantes deveriam responder no dia da aplicação do material pedagógico. Responderam aos questionários apenas os estudantes que apresentaram os TCLE devidamente assinados pelos responsáveis. Os professores também assinaram os TCLE para a participação no estudo, uma vez que também responderam questionários a eles destinados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Responderam ao questionário 18 estudantes, com faixa etária majoritariamente entre 13 e 14 anos de idade. Para preservar a identidade dos participantes os nomes não serão revelados e os estudantes serão nomeados por E1, E2, E3 e assim sucessivamente.

Em relação ao questionário dos estudantes, as perguntas 1 e 2 são de Sim ou Não e as perguntas 3 e 4 abertas, demonstradas no Quadro 1, logo abaixo. Em relação as perguntas abertas, selecionou-se as três respostas que julgou-se mais relevantes para a discussão da presente pesquisa. As respostas da pergunta 5, por serem específicas, foram analisadas separadamente.

Questionário	Respostas
1) Você gostou das atividades desenvolvidas nessa aula? SIM ( ) NÃO ( )	Todos os Estudantes responderam SIM.
2) Gostaria de ter mais atividades como essas nas suas aulas de ciências? SIM ( ) NÃO ( )	15 estudantes responderam SIM, 1 estudante respondeu NÃO e 2 estudantes não responderam.
3) Qual a sua opinião sobre o uso de jogos e brincadeiras nas aulas de ciências?	<b>E1:</b> <i>“Trazem de uma forma lúdica, o aprendizado e a interação entre os colegas de turma”</i> <b>E4:</b> <i>“Apoio, mas a frequência ter que ser menor que os experimentos para não deixar as aulas vagas”</i> <b>E7:</b> <i>“É uma melhor maneira de fazer os alunos se engajarem nas aulas”</i>
4) Qual a sua opinião sobre o uso de experimentos nas aulas de ciências?	<b>E1:</b> <i>“Demonstram de uma forma prática as mudanças de estado”.</i> <b>E4:</b> <i>“O uso de experimentos é uma ótima ajuda didática para as aulas, usando o visual.”</i> <b>E17:</b> <i>“Muito legal! Consigo entender melhor o assunto”</i>

Quadro 1 – Respostas dos estudantes ao questionário aplicado

Fonte: Próprio Autor

Em relação a questão 3, os discentes E1 e E7 afirmaram que atividades lúdicas favorecem a interação e o engajamento dos estudantes. Tal engajamento e participação promovidos pelo uso do lúdico em sala de aula também foram demonstrados por estudos de Sousa (2017) e Berger (2022).

As respostas relacionadas a questão 4 destacam a importância dos experimentos práticos no ensino de ciências, mostrando como eles facilitam a compreensão dos alunos. A resposta do E1 enfatiza a demonstração prática das mudanças de estado da matéria, tornando o aprendizado mais tangível. O E4 ressalta a eficácia dos experimentos como ferramentas didáticas visuais, que tornam as aulas mais dinâmicas e envolventes. Por fim, o E17 reflete a perspectiva do aluno, indicando que os experimentos tornam o aprendizado mais interessante e claro, aumentando o engajamento e a compreensão do conteúdo.

Na opinião do estudante E4 as atividades lúdicas não devem ser utilizadas com tanta frequência, pois, segundo ele, às aulas poderiam se tornar “vagas”. O comentário do estudante é pertinente e dialoga em parte com Oliveira *et al.* (2018), quando tratam da finalidade do lúdico em sala de aula. Os jogos e outras atividades lúdicas devem ser bem planejados e de forma alguma podem perder o foco no aprendizado ou o sentido real e prático para os estudantes. Caso contrário podem servir apenas para distrair os estudantes, não cumprindo com o objetivo pedagógico. Isso demonstra a importância da intencionalidade por traz da elaboração de atividades lúdicas e o papel do professor no planejamento pedagógico com vistas ao desenvolvimento da aprendizagem discente.

Em relação a pergunta 5, que indaga sobre a preferência dos discentes quanto as atividades da SD aplicada, a maioria dos participantes respondeu gostar mais do jogo didático, como demonstra o Gráfico 1, logo abaixo.



Gráfico 1 - Preferência dos Estudantes em relação as atividades da Sequência Didática sobre os Estados Físicos da Matéria

Fonte: Próprio Autor

Dentre os motivos apontados nas escolhas dos estudantes destacam-se três principais respostas que reafirmam a importância da ludicidade e da experimentação nas aulas de ciências, dialogando com pesquisadores da área.

**E4, escolheu a opção 1:**

*“O jogo além de ser algo mais livre, motiva o aluno a aprender”*

**E5, escolheu a opção 2:**

*“Nunca tinha feito experimentos assim”*

**E6, escolheu a opção 2:**

*“Porque podemos ver como acontece”*

Segundo o E4 o jogo é uma atividade “mais livre” e motivadora. Tal componente motivador da ludicidade no ensino foi demonstrado por outros autores (Oliveira, 2018; Felício *et al.*, 2018; Ferro e Viel, 2019) e é perceptível tanto nas respostas de outros estudantes quanto dos professores participantes da presente pesquisa.

Já as respostas dos estudantes quanto a experimentação demonstram que apesar de não ser utilizada com tanta frequência na realidade deles, os mesmos compreendem a importância de visualizar de forma prática como os fenômenos científicos acontecem, em vista de um ensino mais compreensível e contextualizado. O mesmo verifica-se nos estudos de Taha *et al.* (2016).

A experimentação, portanto, é uma ferramenta significativa para a resolução da problemática da desconexão da disciplina com o cotidiano dos discentes. Torna-se então necessário aliar a teoria com práticas que dialoguem com a realidade do aluno e o instigue a buscar explicações para os problemas levantados nas aulas de Ciências, onde o professor passa a ser um “orientador crítico da aprendizagem” (Delizoicov e Angotti, 1994).

O professor da disciplina de Ciências também respondeu a um questionário, possibilitando compreender sua visão sobre a metodologia desenvolvida. O quadro 2 a seguir relaciona as perguntas do questionários as repostas e contribuições do docente.

Questionário	Respostas
<b>01)</b> Você acredita que as Sequências Didáticas contribuíram positivamente para o desenvolvimento das suas aulas? Se sim, de que forma contribuiu? SIM ( ) NÃO ( )	<i>“Sim. As Sequências Didáticas são extremamente importantes para a organização de um planejamento escolar estratégico, com ênfase nas metodologias ativas”</i>
<b>02)</b> Gostaria de utilizar Sequências Didáticas como essa em outras aulas de Ciências para abordar outros assuntos? SIM ( ) Quais, preferencialmente? _____ NÃO ( )	<i>“Sim. Assuntos que normalmente são mais teóricos, como os envolvendo conteúdos de Física.”</i>
<b>03)</b> Pretende adotar essa metodologia nas suas aulas? SIM ( ) NÃO ( )	SIM
<b>04)</b> A linguagem utilizada no material possibilitou a sua compreensão quanto as etapas e processos a serem seguidos no desenvolvimento das atividades propostas? SIM ( ) NÃO ( )	SIM
<b>05)</b> Houve em algum momento alguma dificuldade de compreensão das atividades propostas no material? Se sim, aponte as dificuldades encontradas. SIM ( ) NÃO ( )	NÃO
<b>06)</b> Identificou elementos lúdicos nas Sequências Didáticas? Se sim, aponte os principais. SIM ( ) NÃO ( )	<i>“Sim. No que tange, principalmente, aos materiais do jogo.”</i>
<b>07)</b> Qual sua opinião sobre a experimentação no ensino de Ciências?	<i>“Considero de suma importância, devido auxiliarem no processo de compreensão do conteúdo teórico.”</i>
<b>08)</b> Qual sua opinião sobre a utilização de elementos lúdicos nas aulas de Ciências? (Exemplos: Jogos Didáticos, Brincadeiras e Desafios).	<i>“Completamente favorável, pois a área de ciências naturais exige conhecimentos práticos que transcendem o ensino tradicional.”</i>
<b>09)</b> Avalie a compreensão dos estudantes em relação as atividades propostas pela Sequência Didática. Ruim [ ] Regular [ ] Boa [ ] Ótima [ ]	BOA
<b>10)</b> O que você acha que pode ser melhorado na Sequência Didática que foi aplicada?	<i>“Utilização de perguntas mais niveladas ao nível dos alunos, levando em conta cada contexto.”</i>

Quadro 2: Resposta do professor ao questionário

Fonte: Próprio Autor

O professor demonstrou aprovação da metodologia em suas respostas e pretende aplicar atividades semelhantes em suas aulas, também para conteúdos mais complexos como os relacionados ao ensino de Física, por exemplo. Para ele as Sequências Didáticas são importantes para a organização das aulas uma vez que seguem um raciocínio lógico e estratégico em seu desenvolvimento.

O docente também afirmou que a experimentação auxilia na compreensão da teoria. Tal resposta dialoga com os autores Francisco Jr., Ferreira e Hatwig (2008), Guimarães (2009) e Taha *et al.* (2016). Tanto os experimentos científicos, quanto os elementos lúdicos das SD's podem ter um impacto bastante positivo no ensino e aprendizagem, visto que, segundo o professor, o Ensino de Ciências exige conhecimentos práticos que não costumam ser alcançados pelas metodologias tradicionais.

Outrossim, para o docente, é necessário que os materiais sejam adequados a cada nível de conhecimento, ele se refere ao jogo didático aplicado na aula sobre os Estados Físicos da Matéria, apontando que nem todas as perguntas do jogo estavam de acordo com conteúdos que os alunos já estudaram. Isso acabou dificultando a compreensão em alguns pontos da atividade.

## CONCLUSÃO

A pesquisa realizada apresentou resultados satisfatórios com base nos objetivos estabelecidos, onde com a aplicação do material e questionários, constatou-se que os estudantes reconheceram as atividades desenvolvidas como proveitosas para o ensino e aprendizagem de Ciências.

Através do uso da ludicidade percebeu-se que os estudantes se engajaram nas atividades de forma coletiva, inclusive apontando que o jogo didático utilizado favoreceu a participação e a interação entre os colegas. Além disso, confirmando estudos de outros autores, demonstrou-se que a ludicidade torna as aulas mais dinâmicas e divertidas e as atividades lúdicas desempenham um importante papel motivador dentro da sala de aula, promovendo a compreensão dos conteúdos abordados nas aulas de diferentes assuntos, dentro da área das Ciências.

Na visão dos estudantes e do professor a experimentação também é uma ferramenta muito importante, que auxilia no aprendizado por utilizar a prática, facilitando a compreensão de conceitos com base na visualização de fenômenos. Constatou-se que os experimentos chamaram a atenção dos alunos, despertaram a curiosidade e o espírito investigativo que é imprescindível na formação dos mesmos como possíveis futuros cientistas.

Os professores avaliaram positivamente a metodologia utilizada e destacaram a organização que a Sequência Didática proporciona na aula, uma vez que estabelece uma sequência lógica a ser seguida, facilitando o trabalho do professor. O passo a passo das atividades a serem abordadas colabora para o controle do tempo de aula e dinamiza a abordagem do conteúdo, a medida em que se revisitam conceitos vistos em aulas anteriores e se exercita o aprendizado adquirido através de diversas abordagens.

Portanto, tem-se que, a Sequência Didática Lúdica e Experimental sobre os Estados Físicos da Matéria configura uma metodologia efetiva que possibilita ao professor de Ciências, uma melhor organização das aulas, favorece a participação dos discentes, a facilitação do ensino e aprendizagem, e a compreensão dos conceitos científicos.

## REFERÊNCIAS

BERGER, Olavo Fonseca. **A competição pode ser utilizada em sala de aula?**. Revista Brasileira de Educação Básica, [s. l.], n. 25, 12 dez. 2022. Disponível em: <https://reducacaobasica.com.br/2022/12/12/a-competicao-pode-ser-utilizada-em-sala-deaula/>. Acesso em: 5 abr. 2024.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996**. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. [S. l.], 1996. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9394.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm). Acesso em: 24 set. 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.

CAPACHUZ, Antônio; GIL-PEREZ, Daniel; PESSOA DE CARVALHO, Ana Maria; PRAIA, João; VILCHES, Amparo. **A NECESSÁRIA RENOVAÇÃO DO ENSINO DAS CIÊNCIAS**. [S. l.: s. n.], 2005. ISBN 85-249-1114-X. Disponível em: <https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17569/material/T.5-49%20A%20NECESS%C3%81RIA%20RENOVA%C3%87%C3%83O%20DO%20ENSINO%20DAS%20CI%C3%84NCIAS.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2023.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. Metodologia no ensino de ciências. 2ª edição. São Paulo: Cortez, 1994.

DOLZ, J.; NOVERRAZ, M.; SCHNEUWLY, B. **Sequências didáticas para o oral e a escrita: apresentação de um procedimento**. In: SCHNEUWLY, B.; DOLZ, J. e Colaboradores. Gêneros orais e escritos na escola. Tradução Roxane Rojo e Glaís Sales Cordeiro. 3. ed. Campinas: Mercado das Letras, 2011. p. 81-108.

FELÍCIO, Cinthia M.; SOARES Márlon H. F. B. **Da Intencionalidade à Responsabilidade Lúdica: Novos Termos para Uma Reflexão Sobre o Uso de Jogos no Ensino de Química**. Química Nova na Escola, São Paulo, v. 40, n. 3, p. 160-168, 2018. Disponível em: <http://qnesc.s bq.org.br/online/artigos/05-EA-33-17.pdf>. Acesso em: 2 out. 2023.

FERRO, Bruno Rogério; VIEL, Franciele Vanessa. **A IMPORTÂNCIA DO LÚDICO NAS SÉRIES INICIAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL**. Revista Científica UNAR, Araras SP, v. 18, n. 1, 2019. Disponível em: [https://revistaunar.com.br/cientifica/documentos/vol18\\_n1\\_2019/9\\_A\\_IMPORTANCIA\\_DO\\_LUDICO\\_NAS\\_SERIES\\_INICIAIS\\_DO\\_ENSINO\\_FUNDAMENTAL.pdf](https://revistaunar.com.br/cientifica/documentos/vol18_n1_2019/9_A_IMPORTANCIA_DO_LUDICO_NAS_SERIES_INICIAIS_DO_ENSINO_FUNDAMENTAL.pdf). Acesso em: 31 out. 2023.

FRANCISCO JR, Wilmo E.; FERREIRA, Luiz Henrique; HARTWIG, Dácio Rodney. **Experimentação problematizadora: fundamentos teóricos e práticos para a aplicação em salas de aula de ciências**. Química nova na Escola, v. 30, n. 4, p. 34-41, 2008. Disponível em: <http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc30/07-PEQ-4708.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2023.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ (Ceará). IPECE. **AS REGIÕES DE PLANEJAMENTO DO ESTADO DO CEARÁ**. [S. l.: s. n.], 2012. ISBN 1983-4969. Disponível em: [https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2014/02/TD\\_111.pdf](https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2014/02/TD_111.pdf). Acesso em: 7 ago. 2024.

GUIMARÃES, Cleidson Carneiro. Experimentação no Ensino de Química: **Caminhos e Descaminhos Rumo à Aprendizagem Significativa**. Química Nova na Escola, [s. l.], v. 31, n. 3, 3 ago. 2009.

GUIMARÃES, Cleidson Carneiro. Experimentação no Ensino de Química: Caminhos e Descaminhos Rumo à Aprendizagem Significativa. Química Nova na Escola, [s. l.], v. 31, n. 3, 3 ago. 2009.

KRASILCHIK, M. **O professor e o currículo das ciências**. São Paulo, EPU/Edusp, 1987.

LOPES, José Rodolpho de Sousa; SILVA, Marcos Vinícius da; ALVES, Maria Helena. **TEORIA E PRÁTICA: UMA PERSPECTIVA SOBRE O ENSINO DE CIÊNCIAS**. Separata de: INVESTIGAÇÃO, Engajamento e Emancipação Humana. [S. l.]: Realize, 2020. Disponível em: [https://www.editorarealize.com.br/editora/ebooks/join/2019/5f59292589ff7\\_09092020161237 .pdf](https://www.editorarealize.com.br/editora/ebooks/join/2019/5f59292589ff7_09092020161237.pdf). Acesso em: 9 dez. 2023.

OLIVEIRA, Antonio L. de; OLIVEIRA, José Clovis P. de; NASSER, Maria Jucione S.; CAVALCANTE, E Maria da Paz. **O Jogo Educativo como Recurso Interdisciplinar no Ensino de Química**. Química Nova na Escola, São Paulo-SP, v. 40, n. 2, p. 89-96, 2018. DOI <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160109>. Disponível em: [http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc40\\_2/05-RSA-82-16.pdf](http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc40_2/05-RSA-82-16.pdf). Acesso em: 9 dez. 2023.

SOUSA, Elizangela Mendes. **USO DO LÚDICO UMA FERRAMENTA FACILITADORA NO PROCESSO DE ENSINO DE CIÊNCIAS DO 6º ANO DO ENSINO FUNDAMENTAL**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação do Curso Superior de Licenciatura em Ciências Biológicas) - Instituto Federal do Tocantins Campus – Araguatins., [S. l.], 2017. Disponível em: <http://www.ifto.edu.br/araguatins/campusaraguatins/ensino/biblioteca/trabalhos-academicos-tcc/licenciatura-em-cienciasbiologicas/2017/tcc-mendes-sousa.pdf/view>. Acesso em: 2 out. 2023.

TAHA, Marli Spat; LOPES, Cátia Silene Carrazoni; SOARES, Emerson de Lima; FOLMER, Vanderlei. **EXPERIMENTAÇÃO COMO FERRAMENTA PEDAGÓGICA PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS**. Experiências em Ensino de Ciências, [s. l.], v. 11, n. 1, 2016. Disponível em: <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/552/523>. Acesso em: 9 dez. 2023.

ZABALA, A. **A Prática Educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

**FABRÍCIO MORAES DE ALMEIDA:** Professor do Programa de Doutorado PGDRA/UFRO. É Doutor em Física pela UFC (2005) com pós-doutorado DCR - UFMT/CNPq (2009). Ademais, era bolsista DTI – nível A do CNPq (2023 até 01/2024). E para saber mais, acesse: <http://lattes.cnpq.br/5959143194142131>.

**A**

Arduíno 68, 76, 78

AUC-ROC 1, 2, 13, 14, 15, 17, 18, 21, 22, 23

**B**

Banco de dados 1, 2, 22, 25

Blue-bot 50, 51, 54, 63, 64

**C**

C++ 75, 76, 78

Capacitación docente 88

Criterios de idoneidad didáctica 50, 51, 53, 63

**D**

Deflexión 40, 45

Destilación binaria 29, 30, 31, 34, 37, 39

Diagrama de equilibrio 29, 30, 36, 37

**E**

Ecolocalização 68, 75, 79, 80

Educação museal 114, 116, 117, 118

Educación matemática 50, 65, 89

Ensino de ciências 114, 127, 128, 132, 135, 136, 137

Ensino de física 68, 72, 75, 87

Espaços não formais 114, 118, 124

Etanol 29, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 39

Experimentação 71, 112, 126, 127, 128, 129, 133, 134, 135, 136, 137

**F**

F1-score 1, 2, 12, 13, 14, 15, 17, 21, 22

Formación de profesores 50, 52

Formulación variacional del problema 40

Fourier 40

**J**

JavaScript 76

## K

K-nearest neighbors 1, 2, 6, 8, 27

## L

Laplace 40, 41

Ludicidade 126, 127, 128, 129, 133, 135

## M

Machine learning (ML) 1, 2

McCabe-thiele 29, 30

Metodologia CRISP-DM 1, 4, 15

Modelo matemático y las ecuaciones 34

Modelo predictivo 1, 16, 17, 21

Molview 109

## N

Novas metodologias 114

## P

Pensamiento computacional 49, 50, 52, 66, 67

PhET 107, 113

Phyton 76

Problemas aditivos 88, 90, 93, 94, 96, 97, 101

Purity of 90% 30

## Q

Química 29, 30, 31, 37, 38, 103, 104, 105, 106, 107, 109, 111, 112, 113, 114, 116, 119, 120, 121, 122, 124, 136, 137

## R

Regression logistic 1, 16, 21, 23

Resolução de problemas matemáticos 60, 62, 88, 90, 91, 92, 93, 94, 98

## S

Science teaching 115, 127

Sequências didáticas 126, 127, 129, 134, 135, 136

Síndrome respiratória aguda Grave (SRAG) 1, 3

**T**

Tecnologia 1, 24, 69, 70, 76, 85, 103, 104, 105, 106, 107, 111, 112

Tinkercad 69, 75, 76, 77, 78, 81

**V**

Viga 40, 41, 44, 45

**X**

XGboost 21, 23

# O universo das ciências exatas e da terra:

teoria e aplicações

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# O universo das ciências exatas e da terra:

teoria e aplicações

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)