

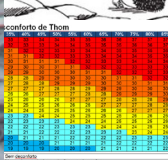
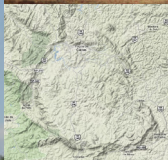
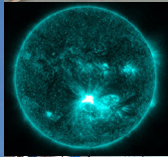


UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE
ENSINO E HISTÓRIA DE CIÊNCIAS DA TERRA

Explorando a Terra na Educação Básica

Vol.3



Celso Dal Ré Carneiro (Org.)

Série Ciências da Terra na Educação Básica, v. 3,
Programa de Pós-Graduação de Ensino e História
de Ciências da Terra Instituto de Geociências
Universidade Estadual de Campinas

Conselho Editorial:

Diretora: Paula Maciel Barbosa
Presidente: Celso Dal Ré Carneiro
Mediador: Giorgio Basilici
Eduardo Salamuni
Elvo Fassbinder
Luciana Cordeiro de Souza Fernandes
Pedro Wagner Gonçalves
Rualdo Menegat
Ticiano José Saraiva dos Santos

Comitê Científico:

Carlos Eduardo Barros
Elvo Fassbinder
Gleise Regina Bertolazi dos Santos
Hector Luis Lacreu
Ivan A. do Amaral
Jorge Megid Neto
José Alexandre de Jesus Perinotto
José Sellés Martínez
María Amelia Calonge García
Miguel A Tupinamba A Souza
Valderez Pinto Ferreira
Zorano Sergio de Souza

Editor-técnico: Gildenir Carolino Santos

Organizador

Celso Dal Ré Carneiro

Explorando a Terra na Educação Básica

Vol.3

**Campinas
2025**

Celso Dal Ré Carneiro (Organizador)
Explorando a Terra na Educação Básica v.3
Campinas, SP, Brasil
2025
Copyright©

Editor: Celso Dal Ré Carneiro
Diagramação: Matias B. A. L. Lisboa
Revisão: Paula Maciel Barbosa e Celso D. R. Carneiro

Série Ciências da Terra na Educação Básica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Explorando a Terra na educação básica [livro eletrônico] : vol. 3 / organização Celso Dal Ré Carneiro. -- Campinas, SP : Ed. do Autor : PPG EHCT UNICAMP, 2025. -- (Série Ciências da Terra na educação básica ; 3)
PDF

ISBN 978-65-01-85921-7

1. Ciências naturais 2. Educação básica - Brasil
3. Formação docente - Metodologias ativas
4. Professores I. Carneiro, Celso Dal Ré. II. Série.

25-325171.1

CDD-370.07

Índices para catálogo sistemático:

1. Ciências naturais : Educação : Estudo e ensino
370.07

Livia Dias Vaz - Bibliotecária - CRB-8/9638

Foi feito o depósito legal, conforme Lei 10.994 de 14/12/2004



Esta obra está licenciada na categoria Creative Commons de Atribuição
Não Comercial-Compartilha Igual – CC BY-NC-SA.

Apoio editorial

.BeCa

Contato: Editora Beca.
Tel.: +55 (11) 98956-2747
E-mail: matiaslisboa@hotmail.com

Capa: Celso Dal Ré Carneiro, Pedro Wagner Gonçalves e Matias B. A. L. Lisboa
(as fotos que compõem a capa integram também o livro e aparecem com os devidos créditos nos respectivos capítulos).

Sumário do volume 3

O Sistema Solar	1
FERNANDO FLÁVIO MARQUES DE ALMEIDA (OBRA PÓSTUMA), CELSO DAL RÉ CARNEIRO, PAULO GOMES VARELLA	
Origami como estratégia para educação em Ciências da Terra: O Tempo Geológico	29
ROSELY APARECIDA LIGUORI IMBERNON, ELEN CRISTINA FAHT, FABIANA CURTOPASSI PIOKER-HARA, AILINA TIEMI ASANO OSHIRO, ELISABETE DE ARAÚJO RODRIGUES, ROGÉRIO PIMENTA	
A abordagem da Geoética na Educação Ambiental e habilidades na BNCC em Ciências da Natureza	51
HERMOM REIS SILVA, TIAGO RIBEIRO, CLARA VASCONCELOS, ROSELY APARECIDA LIGUORI IMBERNON	
Uso de mapas na Educação Básica para difusão de Geociências e Cartografia	71
CELSO DAL RÉ CARNEIRO, PEDRO WAGNER GONÇALVES, JOAO GABRIEL MYASHIRO, RONALDO BARBOSA	
O mitológico vulcão de Poços de Caldas: Desvendando um curioso boato “geológico”	107
CELSO DAL RÉ CARNEIRO, ANDRÉ LOPES DE SOUZA	
ICNOFÓSSEIS NOS MONUMENTOS DE POÇOS DE CALDAS (MG, BRASIL): GUIA DE IDENTIFICAÇÃO APLICADO AO GEOTURISMO E À APRENDIZAGEM ATIVA	125
MARCILENE DOS SANTOS, FRESIA SOLEDAD RICARDI TORRES BRANCO, PÁBULO MATHEUS DOMICIANO, BRUNO BELILA RUSINELLI, MELINA MARA DE SOUZA, ARIEL MILANI MARTINE	
Formação Botucatu e seus icnofósseis: Guia de ensino para a cidade de Jacarezinho, Interior do Paraná	155
PÁBULO MATHEUS DOMICIANO, ARIEL MILANI MARTINE, FRESIA SOLEDAD RICARDI TORRES BRANCO, BRUNO BELILA RUSINELLI	

Educação para os riscos climáticos: uma experiência de aprendizagem na geografia escolar	181
---	------------

DARLAN DA CONCEIÇÃO NEVES

Geociências como um componente essencial da Educação para a Sustentabilidade	207
---	------------

CELSO DAL RÉ CARNEIRO

Dados climáticos como recurso de aprendizagem: uma estratégia para o ensino de mudanças climáticas	247
---	------------

DANIELA RESENDE DE FARIA, GUILHERME ALMUSSA LEITE TORRES, PRISCILA PEREIRA
COLTRI

Prefácio

Chegamos ao terceiro volume da Série '*Ciências da Terra na Educação Básica*' com o livro '*Explorando a Terra na Educação Básica*', fruto de um trabalho coletivo árduo e comprometido, realizado por professores e alunos do Programa de Pós-Graduação em Ensino e História de Ciências da Terra (PPG-EHCT) do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas.

A obra foi organizada pelo professor doutor Celso Dal Ré Carneiro, sustentáculo do Programa e que se destaca intensamente por seu dinamismo em prol da produção científica, seja à frente da Revista *Terra Didática*, ou em suas produções individuais e coletivas, mas, sobretudo, por ser uma pessoa dotada de grande generosidade e oportunizar que todos ao seu redor possam brilhar. É capaz, ainda, de levar o aprendizado extra muros da universidade, visando contribuir na construção de uma sociedade mais informada e conhecedora do meio em que habita, por intermédio de suas pesquisas e trabalhos de extensão, junto aos inúmeros alunos – mestres e doutores – que capacitou e ainda capacita nos cursos de mestrado e doutorado, ao longo das últimas décadas, tendo no ensino sua grande missão.

Nesta obra encontramos temas diversos que abordam as Ciências da Terra em diálogo com outros saberes que ampliam o conhecimento e promovem, a pesquisadores, professores e alunos, novas abordagens no desenvolvimento dos processos de ensinagem e aprendizagem. Os capítulos, elaborados por docentes do PPG, juntamente com estudantes de graduação e pós-graduação, encerram importantes temáticas. A obra apresenta breve síntese sobre o Sistema Solar; perpassa pelo uso do origami para ilustração do Tempo Geológico no educar ambiental; promove a Geoética na Educação Ambiental, bem como fortalece o uso de mapas na educação básica; revela as raízes de um antigo e complexo edifício vulcânico brasileiro e os icnofósseis de Poços de Caldas (MG); explica a Formação Botucatu e os icnofósseis da região de Jacarezinho (PR) com foco na Educação e no Geoturismo; e discute os riscos climáticos e a sustentabilidade nos processos educacionais.

Além do conteúdo e importância dos temas de cada capítulo, destacam-se os autores, pois este Programa congrega professores de diversas áreas como geologia, geografia, arquitetura, engenharia, direito, sociologia, biologia, ciências da computação, dentre outros, e recebe alunos de inúmeras localidades do país e distintas formações acadêmicas que

se complementam (geografia, geologia, biologia, história, matemática, português, direito, economia, jornalismo, arquitetura, comunicação, engenharias etc.). Um rico ambiente como esse favorece a cuidadosa elaboração de dissertações e teses que unem e intercambiam as especificidades de cada área com as Ciências da Terra. Trata-se de um esforço coletivo de ‘construção de pontes do saber’, sob diversas perspectivas e com olhares pouco explorados.

A integração do trabalho em sala de aula e o trabalho de campo permite que professores e alunos conheçam as características locais onde o ensino é ministrado, produzindo não só o conhecimento científico, mas favorecendo a cidadania ambiental que conduz ao sentimento de pertencimento territorial de todos os envolvidos.

A obra é um importante referencial, ao levar para o professor formas de consagrar ‘o direito de a criança aprender Ciências’, ao mesmo tempo em que propõe ferramentas de ensino pouco ou nunca utilizadas em salas de aula, com recursos pedagógicos e tecnológicos que encantam e cativam a todos.

Por tudo isso, externo meus agradecimentos ao editor e aos autores, e convido os leitores a ‘saborearem’ este trabalho primoroso que nos é apresentado.

Vamos à leitura!!

Campinas, novembro de 2025.

Prof.^a Dra. Luciana Cordeiro de Souza Fernandes
Professora de Direito Ambiental/UNICAMP
Coordenadora do PPG EHCT/IG-Unicamp

Apresentação

Dando continuidade a um esforço coordenado de professores e estudantes do Programa de Pós-Graduação de Ensino e História de Ciências da Terra (PPG-EHCT) da Universidade Estadual de Campinas, temos a honra de apresentar o terceiro volume do livro eletrônico *Explorando a Terra na Educação Básica*. Os capítulos que o compõem obedecem à mesma matriz de divulgação científica que inspirou os volumes anteriores da Série *Ciências da Terra na Educação Básica*. Sintetizam resultados ou foram concebidos a partir de projetos de pesquisa desenvolvidos no âmbito do Instituto de Geociências, com participação de especialistas brasileiros e do exterior, vinculados a instituições educacionais e de pesquisa de várias universidades, nacionais e estrangeiras.

O e-book oferece a professores e alunos de educação básica novas propostas para ensino de temas geocientíficos e os convida a se aventurar no estudo das bases teórico-práticas dessa ampla área do conhecimento. Sem deixar de explorar o magnífico apelo despertado pelos dinossauros e fósseis em geral nas crianças, nos jovens e nos adultos, a obra reúne tópicos de Ciências da Terra que são algo incomuns em livros didáticos e outros textos nacionais de divulgação científica. Vários deles encerram a marca da atualidade, pois se situam na fronteira do conhecimento que vem sendo gerado pelas pesquisas, em campos tão distintos quanto complementares, como: Mudanças climáticas, Geoética, Sustentabilidade, Geodiversidade, Geoconservação e Geoturismo.

As temáticas relacionadas à Geodiversidade, Geoconservação e Geoturismo são atuais, emergentes e representam um novo campo nas Geociências, em que a natureza abiótica é devidamente valorizada (Vallerius, Santos & Mota, 2020, p.87).

Os exemplos fornecidos buscam estimular e inspirar abordagens novas e inovadoras que ampliem horizontes ou que revigorem o trabalho docente, mediante uso das Tecnologias Digitais (TD). Sabemos que, para lidar de forma eficiente e eficaz com as TD, todos dependemos de adquirir certo letramento digital, ou seja, dominar um conjunto de habilidades e competências bastante especializadas.

Cada contribuição descreve experiências práticas e/ou desenvolve pontos críticos da fundamentação teórica necessária para que se possa enveredar pelo estudo da complexa, rica e variada geologia de um País

cujo território tem dimensões continentais e cujas riquezas precisam ser identificadas, mensuradas e aproveitadas de forma inteligente e sustentável. Os capítulos abordam conceitos e propostas para a sala de aula, capazes de contribuir na formação inicial e continuada de professores dos diversos níveis de escolaridade. Tal como nas edições precedentes, sugerimos algumas categorias de público-alvo às quais se destina cada capítulo (ver quadro abaixo). Marcas coloridas constam das páginas ímpares de cada capítulo, ao alto, para sugerir os níveis de escolaridade que o texto pretende atingir:

	Público-alvo:
	Ensino Fundamental: Anos Iniciais
	Ensino Fundamental: Anos Finais
	Ensino Médio
	Ensino Superior
	Formação de Professores

O foco central da obra é a *Terra*, ou seja, o tratamento sistemático da dinâmica terrestre na educação básica brasileira. Descrevem-se propostas, abordagens e sugestões de atividades que complementam programas e currículos de distintos níveis de ensino e promover a divulgação e popularização da ciência. Iluminamos tópicos relevantes de Educação em Geociências, bem como as características das esferas materiais e dos sistemas que participam dos ciclos terrestres e da evolução da vida no planeta. São, sem sombra de dúvida, componentes necessários para construir, junto a crianças e jovens, uma visão mais consequente do papel da humanidade no planeta e, por conseguinte, erigir as bases de uma cidadania consciente e responsável, apoiada no conhecimento técnico-científico.

A literatura especializada reúne abundantes exemplos sobre a relevância do aprendizado e da alfabetização em Geociências para mudar o panorama inconsequente e predatório sob o qual se desenvolvem muitas ações humanas na Terra. Todos os setores de atividade humana dependem do suprimento de água, solos, metais e outros recursos extraídos da natureza. Todos os empreendimentos humanos interferem no meio ambiente, com maior ou menor intensidade, fazendo emergir questões que requerem a devida atenção das sociedades, do poder público e das empresas para minimizar as consequências das ações.

Diante de uma verdadeira avalanche de informações desconexas que circulam diariamente pelos veículos de comunicação, pelas ditas redes “sociais” e por outros agentes de mídia, somente um professor bem formado e uma escola verdadeiramente transformadora serão capazes de reunir, organizar, sistematizar, dar significado e, afinal, extrair *conhecimento* da informação (Valente, 2022). As pessoas são bombardeadas continua-

mente por exemplos notáveis, mas a mera veiculação de dados é incapaz de oferecer um panorama da complexa teia de relações de causa e efeito entre a dinâmica dos processos naturais e os sistemas terrestres, que prejudicam as gerações futuras.

As consequências negativas das ações humanas jamais poderão ser consideradas *inevitáveis*; somente a ignorância perpetuará esse manto de “impunidade”. A lista é extremamente longa, porque a relação da humanidade com as demais espécies – e com o planeta – é tudo, menos geo-lógica! Podemos citar: mudanças do clima, desmatamento, queimadas, destruição de habitats, extinção em massa de espécies, escorregamentos, enchentes, expansão urbana em regiões críticas, mineração predatória, garimpo ilegal, ocupação desordenada de encostas, ocupação perigosamente próxima a zonas vulcânicas ativas ou sujeitas a terremotos e outros desastres naturais.

O Programa de Pós-Graduação de Ensino e História de Ciências da Terra (PEHCT) desenvolve proposta pioneira e singular no cenário nacional, constituindo um núcleo consolidado de pesquisa multi e interdisciplinar, que procura conectar campos básicos e aplicados do conhecimento das Geociências com as áreas da Educação e do Ensino, da Filosofia das Geociências, da História das Ciências Naturais e do Direito Ambiental. As pesquisas conectam a educação, o ensino, a história e a formação docente, desde a educação básica até o ensino superior, atraindo egressos de diversas áreas, em programas de mestrado e doutorado. As linhas de pesquisa estimulam as interconexões do saber: 1-HFC História e Filosofia das Ciências Naturais; 2-ECN Educação, formação docente, tecnologia educacional e comunicação em Ciências Naturais e 3-GGG Geoética, Geoconservação/ Geopatrimônio, Cidadania e Legislação Ambiental. O apoio financeiro às pesquisas foi garantido sobretudo pela Coordenação de Aprimoramento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), mas também por outras agências, como CNPq e FAPESP, às quais o PEHCT entusiasticamente agradece.

A rica legislação brasileira oferece as bases para um aprimoramento efetivo da educação escolar, mas isso depende de uma aproximação entre a escola e o ambiente natural. A crescente concientização sobre os impactos das atividades humanas nos ambientes terrestres expande as aplicações do conhecimento de Geociências no equacionamento de inúmeros problemas. Uma das aplicações situa-se precisamente no campo da Educação.

O leitor encontrará na *Série Ciências da Terra na Educação Básica* contribuições nos campos de: História das Ciências Naturais; Epistemologia; Filosofia das Geociências; Ensino-Aprendizagem; Produção de Material Didático; Inovação Educacional; Uso das Tecnologias Digitais; Educação Híbrida; Geoética; Patrimônio Geológico; Geoconservação; Geoturismo;

Legislação e Direito Ambiental; Educação para o Desenvolvimento Sustentável e Educação Ambiental.

As categorias em que se dividem os capítulos são:

1. Conceitos básicos
2. Estudo experimental ou Relato de caso
3. Reflexão teórica
4. Material didático
5. Análise da legislação

O planejamento inicial da Série *Ciências da Terra na Educação Básica*, de três volumes, deverá se expandir, porque já surgiram novas propostas de capítulos. A série poderá se ampliar como uma fonte de conhecimento e inspiração para quem pretende idealizar e propor novas atividades educacionais relacionadas à Terra, quer no ambiente escolar ou fora dele. Os capítulos da Parte 1 do presente volume abordam conceitos básicos úteis para a Educação e o Ensino de Geociências, incluindo-se um panorama sintético do Sistema Solar, cujo esboço original foi elaborado no ano 2000, com a participação do mais influente geocientista brasileiro, Prof. F. F. M. de Almeida. Mesmo em se tratando de sua obra póstuma, a leitura atenta permite reconhecer ali o seu estilo inconfundível de redação. As imagens, reproduzidas a partir de originais em papel, foram gentilmente oferecidas pela *National Air Space Data Center A for Rockets & Satellites*, vinculada à *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Os relatos de estudos experimentais e estudos de caso, teóricos e práticos, que compõem a Parte 1, incluem conceitos relacionados a Tempo Geológico, Geoética, Uso de Mapas e Vulcanismo, que podem eventualmente ser replicados em outros contextos. A Parte 2 é formada por trabalhos que oferecem ao professor registros e exemplos de materiais didáticos sobre icnofósseis que podem ser aproveitados ou adaptados a situações particulares. Os capítulos da Parte 3 abrangem tópicos muito atuais sobre Mudanças Climáticas e Sustentabilidade. Ao mesmo tempo em que convidamos o leitor a fazer uma reflexão teórica, lembramos que os exemplos e abordagens são perfeitamente replicáveis a outros contextos.

O processo de elaboração do volume foi ao mesmo tempo dinâmico e colaborativo. Esperamos que o trabalho possa motivar futuras ações de capacitação e que os recursos didáticos aqui inseridos sirvam como fonte de inspiração para que professores e alunos se aventurem no estudo da Terra.

Campinas, novembro de 2025

Celso Dal Ré Carneiro
editor

Referências

- Valente, J. A. (2022). Curadoria e bricolagem: competências do letramento digital. Novo Hamburgo: *Revista Conhecimento Online*, 14(v.2) jul./dez. 2022. DOI: <https://doi.org/10.25112/rco.v2.2978>.
- Vallerius, D. M., Santos, L. A. dos, & Mota, H. G. S. (2020). Geodiversidade, Geoconservação e Geoturismo: possibilidades de ações geoeducativas no ensino de Geografia. *Revista Humanidades e Inovação*, 7(13), 86-94. URL: <https://revista.unitins.br/index.php/humanidadeseinovacao/article/download/3429/1774>. Acesso 10.10.2025.

O Sistema Solar

Fernando Flávio Marques de Almeida (obra póstuma)

Celso Dal Ré Carneiro

Paulo Gomes Varella

Introdução

O tamanho e idade do Cosmos estão além da compreensão humana. Perdido em algum local entre a imensidão e a eternidade, está o nosso diminuto lar planetário. Sob uma perspectiva cósmica, a maioria dos objetivos humanos parece insignificante, até mesmo mesquinha, embora nossa espécie seja jovem, curiosa e corajosa, e encerre grandes esperanças (Carl Sagan. 1983. *Cosmos*. Rio de Janeiro: F. Alves. p.4).

Carl Sagan, na obra *Cosmos*, da qual extraímos o trecho acima, convida-nos a um passeio pelo Universo, das estrelas mais afastadas até as vizinhanças do Sistema Solar. Se pudéssemos viajar, desde o espaço, a partir das estrelas mais distantes conhecidas, demoraríamos muito tempo até chegar aos limites do Sistema Solar. Nessa região, afastada até um ano-luz¹ do Sol, começaríamos a ver multidões de formas esféricas, compostas por grandes massas de gelo, rochas e moléculas orgânicas que compõem o núcleo cometário, região de onde se formam os cometas. Estes, de tempos em tempos, descrevem órbitas ao redor do Sol, com suas lindas caudas. O limite gravitacional atual do Sistema Solar gira em torno de 100 mil unidades astronômicas (au), ou seja, cerca de 1,5 ano-luz. Essa região, conhecida como Nuvem de Öpik-Oort, abriga bilhões de núcleos cometários, blocos de rocha e gelo de formatos irregulares que, eventualmente, podem ter suas órbitas alteradas e se aproximarem do Sol. Um cometa só poderá desenvolver uma cauda quando seus elementos voláteis se sublimarem e forem empurrados pela pressão da radiação devido à aproximação ao Sol. A aproximação

1 Um ano-luz equivale à distância percorrida pela luz no vácuo, no intervalo de um ano. Para dar uma ideia dessas dimensões, basta dizer que em um segundo a luz atravessa 300.000 km, ou seja, cerca de 7,5 voltas ao redor da Terra. Em um ano, a luz percorre 9,5 trilhões de quilômetros, uma gigantesca unidade de comprimento. UA é a antiga designação da unidade astronômica. Atualmente ela é designada por au, de acordo com a resolução da IAU e equivale, exatamente, a 149.597.870.700 m. Fonte, URL: <https://www.iau.org/public/themes/measuring/>. Acesso 04.12.2023.

pode tornar o cometa periódico (órbita elíptica) ou não periódico (órbita parabólica ou hiperbólica).

A presente síntese foi atualizada com base em diversas fontes bibliográficas, trabalhos de divulgação e *websites*. Foi baseado em um texto original inédito, elaborado em 2000 (Almeida & Carneiro, 2000), que contou com o gentil fornecimento de belas imagens em papel pela *National Air Space Data Center A for Rockets & Satellites* (NASA, EUA, 2000). Pretende-se oferecer um conjunto de informações e conhecimentos modernos que ajudem o professor a elaborar atividades didáticas a respeito da singela posição que nós, seres humanos, ocupamos no universo conhecido (Fig. 1).

Componentes do Sistema Solar

As sociedades humanas realizam, há milênios, observações contínuas sobre o céu, tendo lançado hipóteses e ideias explicativas sobre a natureza da Terra e do Universo. São concepções que fazem parte da cultura humana.

Ao aproximarmo-nos dos limites do sistema, começando por Netuno (Plutão, com sua enorme lua chamada Caronte, desde 2006 deixou de ser considerado um planeta, como se verá adiante), percebemos que o Sol ainda é apenas um pontinho de luz brilhante no céu completamente negro: quanto mais distante o planeta, menos energia recebe. Seguem-se Netuno e os outros planetas gasosos: Urano, Saturno e Júpiter. Todos desenham órbitas elípticas, embora muito próximas do formato circular, ao redor do Sol, assim como os planetas rochosos, situados mais no interior do sistema: Marte, Terra, Vênus e Mercúrio.

Aquecidos pela imensa energia liberada pelas reações nucleares do Sol, os planetas mais próximos são continuamente banhados por calor, luz e radiações eletromagnéticas liberados pela gigantesca “fornalha”. Infravermelho e luz visível também são radiações eletromagnéticas. A natureza das reações que produzem a energia solar difere da energia emitida por fornalhas. As reações de fusão nuclear transformam núcleos de hidrogênio em núcleos de hélio. A energia emitida pelas fornalhas resulta de reações químicas comuns, como, por exemplo, a combustão de carvão.

A região planetária do Sistema Solar estende-se até a órbita de Netuno, onde se encontram os planetas clássicos. Plutão, desde 2006,

foi reclassificado como planeta anão (Fig. 2) e pertence ao Cinturão de Edgeworth-Kuiper, uma região que se situa a uma distância de 30 a 50 unidades astronômicas do Sol. Caronte, a maior lua de Plutão, entretanto, não sofreu reclassificação e continua sendo um dos inúmeros satélites do Sistema Solar.



Figura 1. Concepção artística dos planetas que compõem o Sistema Solar. Todas as imagens do artigo, exceto as Figuras 2 e 4, são cortesia da *National Air Space Data Center A for Rockets & Satellites* (NASA, EUA). Arquivo: Imagem S Solar 0545.tif

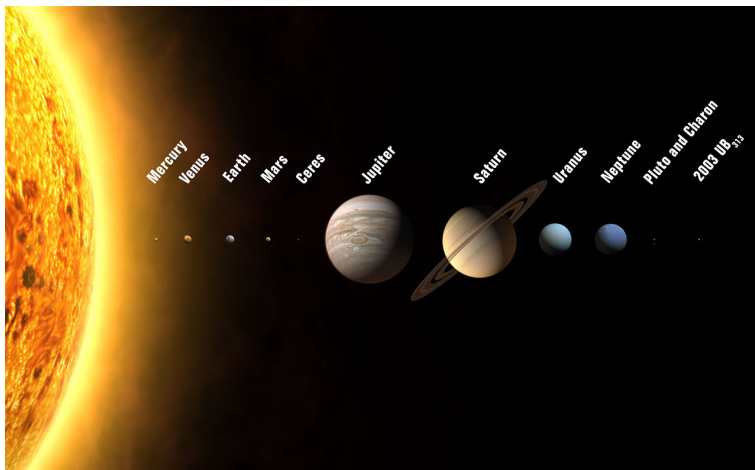


Figura 2. Concepção artística dos planetas que compõem o Sistema Solar.
Fonte: IAU (s.d.)

Nas últimas décadas, o progresso foi espantoso: aprimorou-se enormemente o conhecimento sobre o Sistema Solar. Descobriu-se, na aventura do conhecimento, um “novo” Sistema Solar. A vida, tal como a conhecemos, é encontrada apenas neste Sistema e, é claro, somente na Terra (Ver Sagan & Margulis, 1989, Requeijo & Carneiro, 2010). Naves e sondas espaciais trouxeram amostras valiosas e informações mais precisas sobre os planetas e seus satélites.

Sabemos muito mais sobre o Sol do que seria imaginável à época de Kepler, que lançou as bases do mecanismo no qual esses complexos movimentos operam. Ainda assim, os mistérios diante de nós continuam a nos desafiar...

E as escolas, como assimilam todos os avanços no ensino e nas práticas educativas?

O tema “A Terra no Universo” é comum no ensino fundamental e médio, porém não vai além de alguns dados genéricos sobre os planetas e suas órbitas, devido ao limitado tempo de aula e porque – sobretudo em nossa língua pátria – os textos didáticos disponíveis não acompanham a rapidez do avanço científico, um problema que inspira muitas ações e iniciativas do Programa de Pós-Graduação de Ensino e História de Ciências da Terra da Unicamp (Carneiro et al., 2020). Se o conhecimento é sempre crescente, devemos ousar mais, procurando entender tais avanços. Essa é a finalidade desta breve síntese.

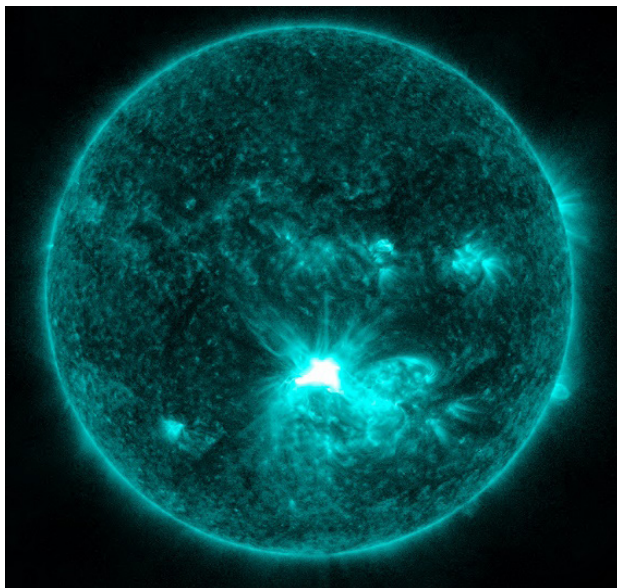


Figura 3. O Sol, em imagem de 12.07.2012 da NASA (EUA), durante forte erupção de energia e partículas magneticamente carregadas que compõem o vento solar. Fonte: http://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/78000/78540/flare131_sdo_2012194_lrg.jpg

O Sol

O **Sol** é apenas uma dentre as bilhões de estrelas que formam a nossa galáxia: uma esfera com 1.392.700 km de diâmetro contida na galáxia conhecida como Via Lactea, velha de pelo menos 12 bilhões de anos. A nossa galáxia denomina-se Galáxia, ou Via Lactea, segundo uma nomenclatura que vem se popularizando, inclusive no meio acadêmico. A expressão Via Lactea é latina e, portanto, não deve ser acentuada, mas os dicionários Caldas Aulete e Aurélio apontam o uso como Via Láctea, em português.

O Sol formou-se há cerca de 5.000 milhões de anos pela acreção de matéria de uma nebulosa de hidrogênio, hélio e elementos mais pesados, resultantes da evolução de estrelas mais antigas e de mais massa que o Sol². Quando a temperatura no interior ultrapassou 10

2 Estrelas com massa maior de 8 vezes a do Sol passam por um evento chamado “explosão de supernova”, no qual os elementos químicos produzidos no interior estelar espalham-se pelo Cosmos, “contaminando” as regiões de formação estelar. Elementos de número atômico maior que o do ferro são gerados nessas explosões: os que existem no Sistema Solar e em nosso próprio corpo são “cinzas” da explosão de estrelas mais antigas.

milhões de graus Celsius, iniciaram-se reações de fusão nuclear que transformam hidrogênio em hélio, com crescente emissão de energia eletromagnética e calor. O início das reações termonucleares marca o “nascimento” de uma estrela. A temperatura interna do Sol elevou-se desde então, mas ainda não o suficiente para permitir a formação de elementos químicos de número atômico maior que 2 (hélio). O Sol concentra 99,85% de toda a matéria do Sistema.

Durante os eclipses solares, observa-se a coroa solar, composta de radiação eletromagnética e fluxo de prótons e elétrons livres provenientes da dissociação de átomos de hidrogênio elevados a milhões de graus, formando o denominado vento solar, que é uma nuvem de partículas magneticamente carregadas capazes de perturbar o campo magnético da Terra, dos satélites e dos equipamentos eletrônicos. A imagem da Figura 3, em comprimentos de onda ultravioleta, permite estudar as finas estruturas magnéticas na atmosfera superaquecida do Sol, ou coroa (Fig. 4).

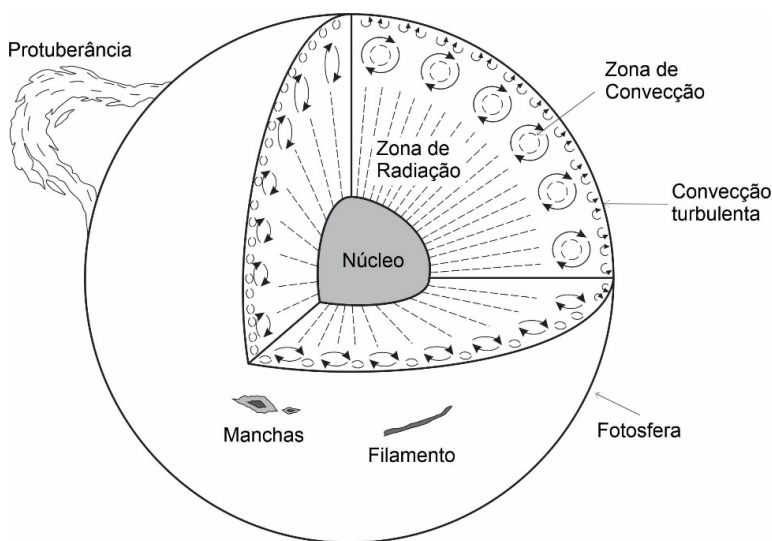


Figura 4. Estrutura interna do Sol. No núcleo central, com elevada pressão e densidade, sob temperatura de 18 milhões de graus Celsius, realizam-se reações nucleares que geram calor. A energia irradia-se em uma ampla zona, através da qual diminuem a pressão, a densidade e a temperatura. Na região delgada mais próxima à superfície, o calor se propaga por convecção, caindo a 6.000° C na fotosfera. Fonte: Varella, I. G. (2017, p.73)

Planetas

Planetas, na moderna definição científica, formalizada pela 26ª Assembleia Geral da União Astronômica Internacional, realizada em Praga, em 2006 (IAU, 2006), são corpos quase esféricos devido à sua própria gravidade, que orbitam estrelas e possuem massa suficiente para limpar sua órbita e vizinhanças e assumir o domínio desse percurso. A origem da palavra “planeta” é o termo grego “planetai”, que significa “estrela errante”. Isso se deve ao movimento aparente observado de cinco corpos celestes no céu noturno (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno). Após a criação do telescópio, “o termo foi estendido para incluir corpos iluminados (ou seja, que não emitem luz) que orbitam o Sol” (Branco & Mancini, 2022, p.10). Os planetas do Sistema Solar agrupam-se em internos ou terrestres e externos ou jovianos. Os do primeiro grupo (Mercúrio, Vênus, Terra e Marte) são rochosos, menores, com densidades que variam em torno de 5g/cm^3 , composição química diversa da dos jovianos (Júpiter, Saturno, Urano e Netuno), atmosfera ausente ou pouco espessa e somente três satélites. Os externos possuem densidade vizinha à da água, são em maior parte gasosos, sem crosta sólida e possuem muitos satélites, anéis e atmosfera espessa. Percorrem suas grandes órbitas em velocidade mais lenta que os internos. Os planetas ter-se-iam formado quando o Sol, ainda em crescimento, envolvia-se em espesso disco equatorial, sobretudo de hidrogênio e partículas sólidas, girando com rotação e compressão crescentes em direção à estrela. Os planetas internos surgiram em pontos de maior condensação e aglutinação de partículas, pelo efeito da gravidade, do disco contendo metais pesados, ferro e silicatos. Os gases leves e o pó contidos no disco muito aquecido foram expelidos para longe pelo vento solar para se agregar, formando os grandes planetas gasosos. A origem dos sete grandes satélites, entre eles a Lua, é ainda hipotética. Os menores são tidos como resultantes da captura de asteroides e resíduos de cometas.

Os planetas telúricos ou terrestres são internos e os planetas jovianos ou jupiterianos são externos, pois essa classificação usa a posição do cinturão principal dos asteroides como critério. Se usarmos a posição da órbita terrestre como critério, os planetas são classificados como interiores (Mercúrio e Vênus) e exteriores (Marte a Netuno). Obviamente, a Terra não participa dessa classificação.

A densidade média dos planetas terrestres varia de 3,93 a 5,52 g/cm³. A densidade média dos planetas jupiterianos varia de 0,69 a 1,64 g/cm³. O Sol formou-se a partir de uma nuvem de gases e poeira que, por razões desconhecidas, começou a condensar sob sua própria gravidade. A nuvem colapsou em um disco em rotação, onde a região interna era mais densa e o colapso mais rápido, dando origem ao proto-sol que se formou antes dos planetas.

A associação entre a gravidade, a pressão do gás e a rotação promoveu o achatamento da nuvem à medida que ela girava cada vez mais rápido por causa da contração. A ação gravitacional do proto-sol promoveu uma diferenciação química no disco, atraindo para suas proximidades as substâncias mais densas que originaram os planetas telúricos.

O afastamento entre os planetas apresenta certa regularidade que permitiria deduzir ou prever a presença de um deles entre as órbitas de Marte e Júpiter. Contudo, tal planeta não existe, mas entre os dois apresenta-se um cinturão formado por inúmeros asteroides.

Devido às órbitas planetária serem elípticas e o Sol ocupar um dos focos, as distâncias dos planetas ao Sol variam ao longo do tempo. Por isso, as distâncias são médias.

Mercurio é ainda pouco conhecido. Com 4.880 km de diâmetro, é o menor e mais veloz dos planetas. Percorre órbita elíptica alongada enquanto executa rotação direta (em sentido anti-horário, se observado do Polo Norte). Dista do Sol, em média, 0,39 au (unidade astronômica, equivalente a 150 milhões de quilômetros, que é a distância da Terra ao Sol³). Possui um grande núcleo constituído sobretudo de ferro, possivelmente em parte líquido. O núcleo envolve-se por manto plástico e este, por crosta rochosa cuja superfície contém numerosas crateras de impacto e áreas vulcânicas. Tal como Vênus, não pôde capturar satélites devido à proximidade do Sol. Sua superfície é perfurada por crateras de impacto; a maior delas, denominada Caloris, tendo 1.300 km de diâmetro, apresenta-se como uma planície coberta por lavas e circundada por anéis que se elevam a 3 km de altura. Existem extensas planícies de lavas. A superfície parece estar inativa há centenas de milhões e anos. Ela se constitui quase toda de basalto, cuja temperatura, devido à proximidade do Sol e ao caráter muito tênue da atmosfera, pode elevar-se a 427°C, caindo no lado em sombra a -182°C.

3 1 au = 149.597.870,700 km, equivale à distância média da Terra ao Sol.



Figura 5. A ardente superfície de Vênus, em imagem de radar obtida através da opaca cobertura de nuvens. Observam-se edifícios e caldeiras vulcânicas, altas montanhas e profundos cânions, mas poucas crateras de impacto (Cortesia NASA)

Vênus é quase do tamanho da Terra, distando do Sol 0,72 au. Sua rotação retrógrada (horária), em sentido oposto à do Sol e demais planetas, salvo Urano, resulta do grande ângulo que faz seu eixo de rotação com a normal ao plano da órbita terrestre. Sua órbita é quase circular. Embora sejam muito escassas as informações sobre o interior, sua identidade em tamanho e massa com as da Terra deixam supor que tenha composição química e estrutura semelhantes (Fig. 5). Imagens de radar obtidas por radiotelescópios terrestres, de sondas espaciais, e módulos que desceram em sua superfície indicaram ser esta quase toda constituída de basalto e ter o planeta relevo diversificado, com três grandes e elevados platôs, uma montanha tão alta quanto o Everest, depressões, cadeias de dobramentos, muitas falhas e crateras vulcânicas, mas não muitas de impacto. Possui extensas planícies em grande parte cobertas por lavas que escorreram em vales. Nelas existem numerosos vulcões inativos e poucos ativos. O planeta possui densa e turbulenta atmosfera e espessa camada de nuvens brancas que o recobrem inteiramente, elevando-se a 70 km acima de sua superfície. As nuvens mais altas têm período de rotação de quatro dias, muito menor que a do planeta. A atmosfera constitui-se de 96% de bióxido de carbono e de pequenas quantidades de nitrogênio e outros gases. Ela exerce sobre a superfície uma pressão 90 vezes maior que a da Terra. Na alta atmosfera reações desses gases sob a atuação da radiação solar produzem ácido sulfúrico cujas gotas não atingem a superfície,

onde a temperatura na face voltada para o Sol alcança 475°C , que o torna o planeta mais quente do Sistema Solar. Tal temperatura é devida ao efeito estufa: a radiação solar que atravessa a atmosfera é refletida pelo solo rochoso sob forma de raios infravermelhos, aos quais a atmosfera é pouco transparente. Para o astrônomo Carl Sagan, Vênus é um tipo de catástrofe de dimensões planetárias.

A temperatura em Vênus não varia significativamente entre os hemisférios escuro e iluminado devido ao efeito estufa e à circulação atmosférica que se encarrega de distribuir o calor por todo o globo.

A **Terra**, o maior dos planetas internos, é um globo quase esférico com 6.378 km de raio equatorial e ligeiro achatamento nos polos. Graças aos estudos de reflexão e refração de ondas sísmicas naturais e artificiais, conhece-se bem a estrutura concêntrica de seu interior. Há um núcleo de ferro-níquel líquido com uma esfera sólida central. A cerca de 2.900 km da superfície, separa-se do manto sólido constituído de rochas ultrabásicas localmente fundidas no alto, compondo a astenosfera, cujo comportamento é dúctil. A porção mais externa do manto, com cerca de 100 km de espessura, compõe a litosfera e abrange também a crosta, cujo comportamento mecânico é mais rígido. Como esta última tem densidade pouco inferior a 3 g/cm^3 , conclui-se que o material do interior é muito mais denso, pois a densidade da Terra é $5,52\text{ g/cm}^3$. O calor interno é gerado por desintegração radioativa, alcançando 5.000 a 10.000°C . A ascensão de lentas correntes de convecção no manto causa a ruptura da litosfera em grandes fendas pelas quais extravasa o magma basáltico formador da crosta oceânica. As fendas originam as placas tectônicas, que se separam e colidem entre si em sítios onde as placas oceânicas, mais densas, são forçadas sob as continentais, no fenômeno chamado de subducção. Em tais sítios, deformações das rochas originam grandes cadeias de montanhas e ocorrem intensos fenômenos vulcânicos e terremotos. A atividade tectônica só se conhece na Terra, o planeta mais ativo entre os Internos. Ela, combinada com os processos de erosão e sedimentação, modifica continuamente a superfície do planeta.

A atmosfera terrestre constitui-se de 78% de nitrogênio e 21% de oxigênio. O primeiro é de origem vulcânica e o oxigênio cresceu com a fotossíntese, fenômeno em que a molécula da clorofila das plantas, sob a ação da luz solar, converte bióxido de carbono em carboidratos que aproveitam como alimento, liberando o oxigênio. Sua temperatura varia aproximadamente entre 58°C e -95°C .

A Vida, a mais bela criação do Cosmos, surgiu com seres anaeróbicos por volta de 3.900 milhões de anos e desde então evoluiu graças a um conjunto de fatores favoráveis presentes no planeta: abundância de água no estado líquido; temperatura média adequada na superfície; camada de ozônio na estratosfera protegendo os organismos da ação deletéria da radiação solar ultravioleta; aumento progressivo do oxigênio na atmosfera liberado pela fotossíntese; redução do teor de bióxido de carbono na atmosfera pela formação de rochas carbonatadas, carvões fósseis e bicarbonato dissolvido nos oceanos, assim atenuando o efeito estufa; força de gravidade capaz de reter a atmosfera; presença de campo magnético protetor etc. Parafraseando Carl Sagan, diremos que a Terra é um sucesso de dimensões planetárias.

A **Lua**, com 3.474,8 km de diâmetro, é um satélite natural cuja distância média à Terra é 384.400 km, de centro a centro. Mantém o mesmo hemisfério voltado para a Terra porque seus períodos e sentidos de rotação e de revolução são iguais. A natureza de seu interior é ainda pouco conhecida. Sua superfície não é coberta por atmosfera, do que decorrem variações extremas de temperatura, de 120°C no hemisfério iluminado, a -130°C, no equador do hemisfério escuro. É repleta de crateras de impacto e de áreas vulcânicas. Até o início do século XX, a origem das crateras lunares havia sido atribuída a fenômenos vulcânicos (Crósta, 2012, p.673). Amostras de rochas nela colhidas pelo homem, o primeiro astro por ele visitado, acusaram idades de até 4.400 milhões de anos.

Marte, planeta distante 1,52 au do Sol, tem 3.396,2 km de raio equatorial (Fig. 6). Tem densidade relativamente baixa, parecendo ter seu interior em maior parte rochoso. Seu campo gravitacional, pouco maior que 1/3 do terrestre, é suficiente para reter tênue atmosfera, constituída quase inteiramente de bióxido de carbono, exercendo sobre a superfície pressão de 0,5 atmosferas terrestres. Ela é sujeita a fortes ventos, que movem dunas e provocam verdadeiras tormentas de areia e pó amarelados.

Sondas que orbitaram Marte e módulos que desceram em sua superfície permitiram obter razoável conhecimento sobre o planeta. A existência de água em Marte ainda é controversa (Davis, 2022), mas há evidências de gelo e água salgada no subsolo marciano e possivelmente algum vapor de água na atmosfera, que origina nuvens locais. Sendo a atmosfera muito fina, há grande variação de temperatura na superfície, geralmente inferior a zero, variando entre 27°C e -100°C,

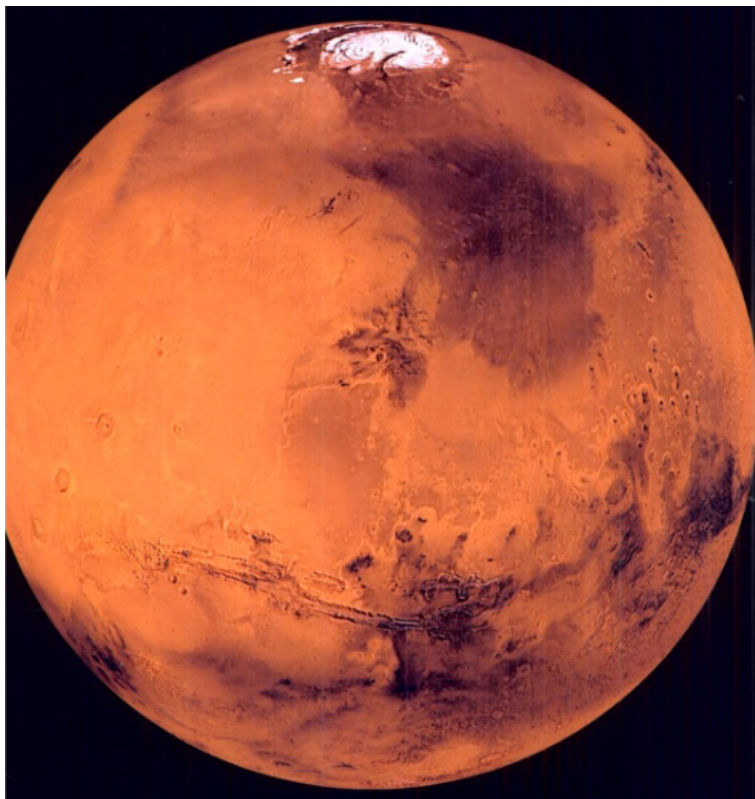


Figura 6. Nítida imagem de Marte. Na parte norte destaca-se a calota polar com gelo incluindo pó, em parte rodeada de dunas. A sul do equador, observa-se o extenso Valles Marineris. A noroeste do seu início, alinham-se caldeiras dos três grandes vulcões do domo de Tharsis. A noroeste da parte central, próximo à margem esquerda da imagem, observa-se o vulcão Olympus Mons, a mais alta montanha do Sistema Solar. No centro da imagem, notam-se grandes canais secos de inundação. Crateras de impacto são abundantes no hemisfério sul (Cortesia NASA)

podendo alcançar -140°C nos polos, que possuem calotas de gelos de água e bióxido de carbono. A superfície de Marte denota atividade dinâmica interna e externa. Há crateras de impacto e domos de vulcões extintos, três deles de grandes dimensões na cadeia Tharsis, maiores que qualquer vulcão terrestre, dispostos em um alinhamento que cruza o Equador. Outro vulcão, o Olympus Mons, situa-se a oeste desses. É o maior conhecido no Sistema Solar, tendo 600 km de diâmetro de base, 70 km de diâmetro na cratera e altura de 25 km, cerca do triplo da altura do Monte Everest.

No hemisfério norte, o relevo constitui-se predominantemente de extensas planícies de lava, havendo poucas crateras de impacto (Fig. 6). O relevo do hemisfério sul é muito diversificado, com numerosas crateras de impacto, montes vulcânicos, planaltos e feições topográficas indicando ações tectônicas antigas. Tal é o denominado Valles Marineris, um sistema de depressões longo de 4.500 km, largura de 100 km e profundidade podendo exceder 4 km, sendo provavelmente uma fossa tectônica. Um curioso tipo de estrutura de amplos e extensos canais sinuosos ramificados parece indicar a existência pretérita de grandes vales fluviais que teriam se formado quando a temperatura era mais elevada. Outros seriam devidos a fluxo de lavas.

Os dois pequenos satélites irregulares de Marte, Fobos e Deimos, não são esféricos. Possuem menos de 30 km de diâmetro e orbitam o planeta a pequena distância. Suas dimensões são: Phobos: 27 x 22 x 18 km; Deimos: 15 x 12 x 11 km. São provavelmente asteroides capturados.

A existência pretérita de vida primitiva em Marte é uma possibilidade admissível. Estrutura anelada em um meteorito proveniente do planeta foi interpretada como representando bactéria filiforme, porém isso não ficou devidamente confirmado.

Júpiter, distante do Sol 5,2 au, é o maior planeta do Sistema Solar. Com 142.984 km de diâmetro equatorial, é 1.300 vezes mais volumoso que a Terra. Tem apreciável achatamento dos polos que torna sua forma um elipsoide. Sua baixa densidade resulta de ser um globo gasoso, de hidrogênio e hélio com impurezas da nuvem pré-solar e dos asteroides e cometas que com ele colidiram. Estima-se que possua um pequeno núcleo de ferro e silicatos envolto por hidrogênio líquido metálico, com algum hélio. O restante do planeta é constituído de hidrogênio molecular em estado líquido. A temperatura no centro deve alcançar 30.000°C. Apresenta intenso campo magnético. Possui um sistema de quatro anéis constituídos principalmente de poeira (Fig. 7).

Júpiter é envolto por densa e espessa atmosfera, com ~1.000 km de espessura, em camadas, com cerca de 86% de hidrogênio e 14% de hélio, contendo inferiormente alguma água e cristais de gelo seguida de cristais de sulfureto de amônio, tendo acima cristais de amônio e outras substâncias a -220°C. As nuvens visíveis do exterior são sobretudo de hidrogênio e hélio gasosos. A atmosfera apresenta-se exteriormente como cinturões turbulentos claros e escuros com cores variando de amarela a avermelhada, orientados em faixas paralelas ao equador. A velocidade de rotação da atmosfera não é uniforme, sendo mais lenta



Figura 7. A Grande Mancha Vermelha de Júpiter e fotomontagem dos grandes satélites galileanos. Io, o inferior, tem cor amarelo-alaranjada devida a enxofre proveniente das erupções vulcânicas. Algumas manchas escuras são vulcões recentemente ativos; as manchas brancas que formam halo circundando alguns podem ser bióxido de enxofre congelado. Abundante material vulcânico cobriu as crateras de impacto. O satélite seguinte é Europa, com cobertura formada em maior parte de gelo com fraturas bem visíveis. Segue-se Ganímedes, o maior satélite do Sistema Solar. Seus pontos brancos sugerem crateras de impacto que romperam a delgada crosta, desprendendo água, logo congelada. Numa delas, no alto, percebem-se raios brilhantes. O último, Calisto, é pontuado de crateras de impacto formadas por intenso bombardeio durante os primeiros 500 milhões de anos de sua existência. À direita da figura, observa-se o Oval Branco, que é o nome da estrutura logo abaixo da Grande Mancha Vermelha. A feição atesta os intensos movimentos turbulentos da atmosfera de Júpiter (Cortesia NASA)

nas regiões polares, o que causa grandes perturbações e fortes ventos. No cinturão tropical sul, existe a Grande Mancha Vermelha, de forma ovalada, com cerca de 35.000 km de comprimento e 14.000 km de largura. É considerada um colossal furacão com temperaturas da ordem de -220°C , ventos à sua volta soprando em sentido anti-horário com velocidades de cerca de 400 km/hora, como verificados pela sonda Galileu. Existe pelo menos há 400 anos.

Observações apontam que a Grande Mancha Vermelha (Fig. 8) tem diminuído de tamanho nas últimas décadas. Medidas realizadas no final do século XIX indicavam que ela tinha cerca de 40.000 km de largura. Em 1979, as Voyagers 1 e 2 mediram-na com cerca de 23.300 km. Atualmente, ela está com cerca de 16.500 km e diminuindo a uma taxa de 980 km por ano.

Por não apresentarem superfícies sólidas, a temperatura nos planetas jovianos é fornecida tomando como critério o nível onde a pressão atmosférica é igual a 1 bar (aproximadamente igual à terrestre ao nível médio dos mares). Neste caso, as temperaturas para os planetas gasosos são:

- Júpiter: -108°C (165K)
- Saturno: -139°C (134K)
- Urano: -197°C (76K)
- Netuno: -201°C (72K)

Júpiter, com grande força de gravidade, mantém em torno de si 95 satélites, segundo dados de maio de 2023. Dentre eles, o maior, Amalteia, possui forma irregular como a maioria deles, e somente cerca de 247 km de maior dimensão. Além deles, existem os quatro grandes satélites globulares chamados galileanos, descobertos em 1610 por Galileu Galilei com o telescópio de refração que ele construiu em 1609, aperfeiçoando a luneta de grande alcance inventada pelo holandês fabricante de óculos Hans Lippershey em 1608. Com tal descoberta, Galileu, o primeiro homem a usar o telescópio para observações astronômicas, comprovou a ideia de Copérnico, de que a Terra não era o centro do Universo, fato que foi considerado herético pela Inquisição, levando à condenação de Galileu pela Igreja Católica, que a revogou em 1979.

Os satélites galileanos, denominados Io, Europa, Ganimedes e Calisto, são corpos esféricos, com diâmetros próximos ao da Lua terrestre, que giram em órbitas circulares no plano equatorial do planeta, com raios orbitais entre 421.000 (Io) e 1.883.000 km (Calisto). A Lua, com diâmetro de 3.474,8 km, é o quinto maior satélite planetário do Sistema Solar. Os quatro maiores são: três galileanos de Júpiter – Ganimedes (5.262 km), Calisto (4.821 km) e Io (3.643 km) –, e Titan (5.150 km), de Saturno.

Io, pouco maior que a Lua, é o mais ativo dos quatro galileanos, sendo o único astro, além da Terra e de Vênus, em que foram comprovados vulcões ativos emitindo lavas ardentes em algumas, entre uma

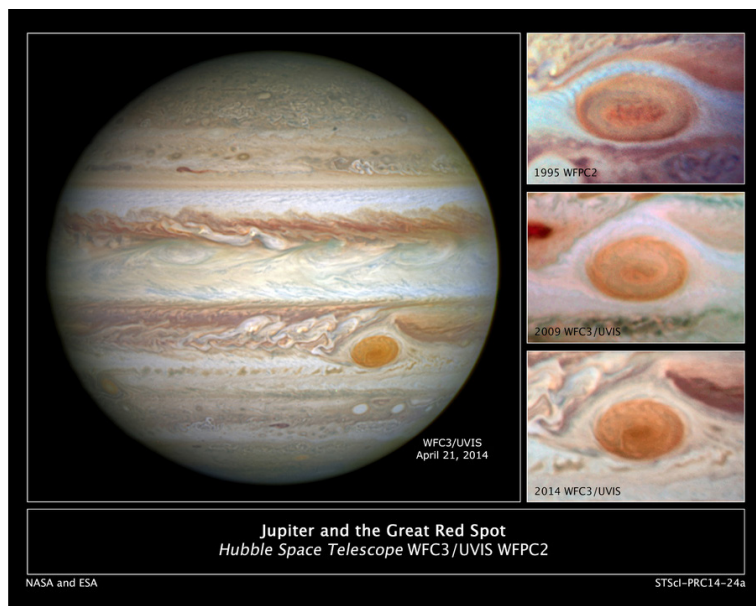


Figura 8. Pormenor da Grande Mancha Vermelha de Júpiter (falsa cor) (Cortesia NASA). Arquivo: NASA Imagem S Solar 0489.tif

centena de depressões semelhantes às vulcânicas com diâmetros de até 200 km. Expelem imensa quantidade de lava de enxofre fundido e bióxido de enxofre, ao que se deve a coloração alaranjada com manchas brancas e negras do satélite. Seus jatos podem ultrapassar 300 km de altura, sendo visíveis da Terra por potentes telescópios. A superfície tem poucas crateras de impacto, por vir sendo continuamente recoberta por lavas. Em seu interior deve haver grande massa de material fundido respondendo pelo vulcanismo e densidade $3,6 \text{ g/cm}^3$.

Europa, pouco menor que a Lua, é coberto por gelo de água, com uma superfície contendo grandes e numerosas fraturas devidas possivelmente à presença de água líquida sob a espessa camada de gelo. **Ganimedes**, com 5.262 km de diâmetro, é o maior satélite do Sistema Solar, maior mesmo que Mercúrio. Tem densidade $1,9 \text{ g/cm}^3$, sugerindo tratar-se de um globo de gelo e rocha. Apresenta relevo montanhoso de variadas idades, devido possivelmente a um tipo de tectônica de placas. Possui tênue atmosfera composta de oxigênio, que também existe em Europa. **Calisto**, o mais afastado, é o menos ativo dos satélites galilea-

nos. Tem o tamanho aproximado de Mercúrio. Destaca-se pela grande quantidade de crateras de impacto, com até 3.000 km de diâmetro (incluindo os anéis concêntricos) na cratera Valhalla, parecendo indicar que, desde a época das numerosas colisões do primeiro meio bilhão de anos de existência dos planetas, sua superfície não sofreu maiores transformações. Deve ter água líquida salgada sob parte dela.

Os pequenos satélites internos foram descobertos no século XX, salvo Amalteia, descoberto por Barnard em 1892, um dos quatro que têm órbita menor que Io. Os demais são exteriores a Calisto. Constituem dois grupos situados a pouco mais de 11 milhões de quilômetros e próximos de 23 milhões de quilômetros do planeta. São diminutas rochas, com maiores dimensões variando de 247 km (Amalteia) a ~ 1 km, que descrevem órbitas elípticas muito alongadas, em planos fazendo grande ângulo em relação ao plano equatorial do planeta. Os cinco do segundo grupo têm rotação retrógrada. Esses diminutos satélites são asteroides capturados em várias ocasiões. As sondas espaciais Voyager 2 e Galileu, esta orbitando o planeta entre 1995 e 2003, ano em que foi nele lançada, descobriram os tênues anéis de poeira cósmica em órbitas interiores à de Io. Eles resultam de impactos nos quatro pequenos satélites existentes nesse intervalo.

Júpiter possui um sistema de anéis descoberto pela Voyager 1 em 1979. São muito finos e tênues, formados por partículas de poeira provenientes das colisões entre pequenos meteoroides e os satélites mais internos de Júpiter.

Saturno, com seus anéis (Fig. 9), é o mais belo objeto visível no Universo, afastado do Sol 9,54 au. É um elipsoide ainda mais achatado que Júpiter, com 120.536 km de raio equatorial. Tem densidade muito baixa, inferior à da água, $0,7 \text{ mg/cm}^3$. À semelhança de Júpiter, Saturno constitui-se quase inteiramente de hidrogênio, em parte metálico, e algum hélio, em forma de gases, líquidos e gelos, porém menos adensados que em Júpiter. O que dele se avista é o topo da atmosfera, constituída de camadas de nuvens contendo hidrogênio (90%), hélio, amônio, metano e outros gases dispostos em cinturões claros e escuros paralelos ao equador como em Júpiter, porém menos coloridos. Sua superfície visível, o topo das nuvens, tem temperatura de -179°C .

Orbitam Saturno 146 satélites conhecidos até maio de 2023, sendo os dez maiores afastados de seu centro entre 169.500 km (Janus) e 13 milhões de quilômetros (Phoebe). Suas órbitas, pouco inclinadas, são



Figura 9. Parte dos anéis de Saturno e sua sombra no planeta. Abaixo apresentam-se os satélites Rhea e Dione (falsa cor) (Cortesia NASA)

quase circulares, salvo a deste último, uma elipse mais alongada, em uma posição particular que o leva a descrever a órbita em movimento retrógrado. Ele, e os outros satélites mais externos, são supostamente corpos capturados. Todos os satélites apresentam superfície muito perfurada por colisões. O maior e mais notável deles é **Titã** que, com 5.120 km de diâmetro, é pouco maior que Mercúrio. É o único satélite do Sistema Solar que possui atmosfera densa, composta sobretudo de nitrogênio, com argônio, metano e vários hidrocarbonetos, formando densa camada de nuvens que recobrem Titã com espessura de aproximadamente 240 km. Nos anéis mais externos existem pequenos satélites gelados, alguns com formato irregular, um deles com uma centena de quilômetros de diâmetro.

Os anéis de Saturno desenvolvem-se entre aproximadamente 67.000 e 483.000 km do centro do planeta. Supunha-se que fossem três, mas as sondas Pioneer e Voyager identificaram milhares de finos anéis grupados em associações maiores que se estendem até além da órbita de Encéladus, um satélite possivelmente ainda ativo. Os anéis são constituídos de gelo e fragmentos rochosos cobertos de gelo, com tamanhos desde poeiras a uns poucos metros.

Urano, distante do Sol 19,18 au, é um globo gasoso azul-esverdeado (Fig. 10), menos achatado que Júpiter, realizando rotação retrógrada (sentido horário) em torno de um eixo quase contido no plano do plano da órbita terrestre. Assim, o planeta, com seus anéis e satélites principais, parece rolar nesse plano. Com 51.118 km de diâmetro equatorial, é cerca de quatro vezes maior que o da Terra. Acredita-se que uma grande camada fluida composta por metano, amônia e água envolva um pequeno núcleo rochoso. A baixa densidade média do planeta, pouco superior à da água, não aponta para a existência de um núcleo metálico. Os dados, juntamente com o movimento dos satélites, permitiram deduzir que possua um manto constituído sobretudo de água líquida e parcialmente sólida, algum amoníaco e metano, passando na parte externa a hidrogênio ($\sim 83\%$) e hélio moleculares, amoníaco e

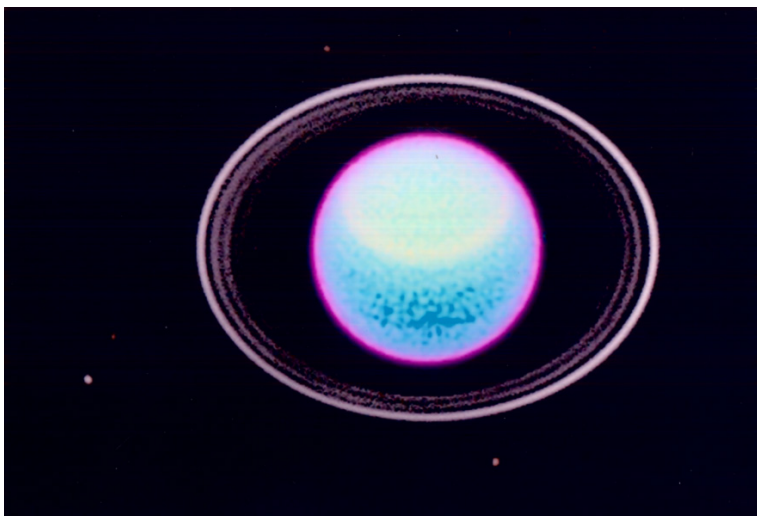


Figura 10. Imagem obtida pelo telescópio espacial Hubble em que se observa a atmosfera de Urano e alguns de seus satélites e anéis (Cortesia NASA) Urano é orbitado por cinco satélites maiores, afastados de 130.000 a 586.000 km. O maior deles, Titânia, tem 1.578 km de diâmetro. Salvo o mais interno, Miranda, os outros têm movimento retrógrado. À semelhança de Júpiter e Saturno, também entre Miranda e o planeta existem minissatélites, em número de dez. Recentemente foram descobertos dois pequenos satélites, com 80 e 160 km de diâmetro, percorrendo órbitas elípticas muito alongadas que os levam a se afastar do planeta até 8 milhões de quilômetros. Essas órbitas fazem grande ângulo com o plano equatorial do planeta. Admite-se que sejam corpos capturados. Conhecem-se hoje 27 satélites (maio de 2023). Circulam estreitos e tênues anéis de poeira e partículas de gelo, afastados de 42.000 a 50.000 km. Não se conhece o motivo da estranha posição de Urano em relação a seu plano orbital.

metano, este causador da cor azul do planeta. A variação latitudinal de cores verde, azul e vermelha decorre das variações de composição da atmosfera. As nuvens, na superfície visível, têm temperatura de -216°C .

Netuno, um globo azulado quase esférico, longe do Sol 30,0 au, tem várias semelhanças com Urano. É o mais exterior e menos conhecido dos planetas, só tendo sido visitado por Voyager 2 e observado pelo telescópio espacial Hubble (Fig. 11). Com cerca de 49.500 km de diâmetro, é o menor dos quatro planetas jovianos. Pelo que se deduz de sua estrutura interna, ela é semelhante à de Urano, porém mais densa. Como este, também tem cor azul, atribuída à presença de metano, que absorve a radiação vermelha da luz e emite a verde-azulada. Sua turbulenta atmosfera, com ventos de até ~ 2.000 km/h, os mais intensos do Sistema Solar, é constituída principalmente de hidrogênio e hélio e um pouco de metano. Nela é visível a Grande Mancha Escura lembrando a de Júpiter, porém de duração efêmera. A temperatura das nuvens é de -200°C . Internamente supõe-se que exista rocha fundida, nitrogênio, água e metano e um manto externo composto de hidrogênio, hélio e metano, como em Urano. A inclinação do eixo de rotação de Netuno é $28,32^{\circ}$ em relação à perpendicular ao plano orbital do planeta.

Orbitam Netuno 14 satélites conhecidos até maio de 2023. **Tritão**, afastado do planeta 354.000 km, com 2.700 km de diâmetro, é pouco menor que nossa Lua, sendo o único dos sete grandes satélites do Sistema Solar com rotação retrógrada. Possui vulcanismo de gelo pastoso, nitrogênio e metano. **Nereida** é um pequeno satélite, possivelmente resto de um cometa ou asteroide capturado. Netuno, como os outros jovianos, também tem anéis, tênues e escuros, em número de quatro.

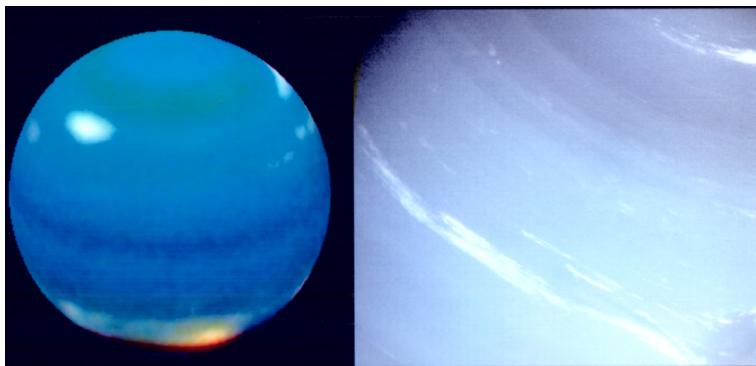


Figura 11. Netuno, o planeta azul (cores acentuadas). À direita cirrus na alta atmosfera, em sua cor branca salientada (Cortesia NASA)

Asteroides, meteoroides e cometas

Plutão foi considerado, durante muito tempo, o mais externo planeta do Sistema Solar (Fig. 12). Sua origem é duvidosa; suas características conhecidas e estranha órbita deixavam supor que ele fosse um objeto capturado, asteroide, cometa ou satélite de Netuno. As informações disponíveis sobre Plutão são ainda muito escassas. Trata-se de um globo com ~ 2.320 km de diâmetro, menor que Marte, que percorre uma órbita elíptica muito alongada, levando-o em seu maior afastamento do Sol (afélio) a 49 au e na maior aproximação (periélio) a 29,5 au. O plano da órbita tem grande inclinação de $17,2^\circ$ com o plano da órbita terrestre, excepcional entre os planetas. Sua baixa densidade deixa supor tratar-se de um pequeno astro constituído de metano e outros gases congelados. A superfície visível é constituída de metano gelado que lhe dá cor azul; tem uns -210°C . Possui um satélite relativamente grande, **Caronte**, com metade do diâmetro do planeta, distando dele somente 20.000 km centro a centro, pelo que alguns astrônomos consideraram Plutão um planeta duplo. Atualmente existem teorias sobre Plutão ter-se originado da colisão entre dois objetos do Cinturão de Edgeworth-Kuiper.

Plutão possui um satélite muito grande comparado ao seu tamanho, mas possui também outros quatro menores.

O Cinturão de Kuiper, cuja existência foi sugerida por G. P. Kuiper em 1951, é uma região em forma toroidal no Sistema Solar. Aqui, as



Figura 12. Plutão e seu satélite Caronte. Imagem obtida pelo telescópio espacial Hubble. Ambos os corpos exibem cor azul, mais intensa no satélite (Cortesia NASA)

inclinações orbitais são bem maiores que as dos planetas clássicos, alguns podendo chegar a quase 40°. Kenneth Essex Edgeworth, astrônomo irlandês, também sugeriu a existência de corpos além da órbita de Netuno. O Cinturão de Kuiper inicia-se pouco além da órbita de Netuno (30 au), estendendo-se aproximadamente a 100 au. Dele provêm numerosos asteroides, cometas de curto período (inferior a 200 anos), como o Halley (76 anos), e se situam planetas-anões. Quase 1.000 objetos transnetunianos já foram nele identificados, alguns com até ~2.000 km de diâmetro, o que levou os astrônomos, em 2006, a reclassificar Plutão da categoria de planeta, embora orbite a estrela e seja um corpo aproximadamente esférico por sua própria gravidade, mas por ter reduzida massa não chegou a limpar sua órbita e vizinhanças. Além disso, ela faz grande ângulo com o plano do plano da órbita terrestre. Passou a ser considerado um planeta-anão, como numerosos outros objetos do Cinturão de Kuiper e não maior que outros a ele pertencentes.

Todos os planetas anões pertencem ao Cinturão de Kuiper, exceto Ceres, que se situa no cinturão de asteroides, entre Marte e Júpiter.

O Sistema Solar possui numerosos corpos rochosos chamados **asteroides**. Circulam em torno do Sol em órbitas elípticas. Numerosos deles existem no Cinturão de Asteroides entre Marte e Júpiter, distante de 2 a 3,5 au do Sol. O maior desse cinturão, **Ceres**, tem cerca de 1.000 km de diâmetro e, embora esférico, não é um planeta, mas um planeta-anão pelo mesmo motivo que Plutão. Ceres deixou de ser asteroide para tornar-se planeta anão de acordo com a mesma resolução da IAU que reclassificou Plutão; portanto, trata-se de uma norma plenamente aceita. Supõe-se que, se não fossem as perturbações gravitacionais causadas por Júpiter, Ceres alcançaria as condições de planeta. Pela natureza dos meteoritos que deles se originam, admite-se que os asteroides provenham de corpos agregados na nuvem pré-solar que não se agruparam em um planeta. Existem asteroides que nunca fizeram parte do cinturão e que provêm dos confins do Sistema Solar. Asteroides foram extremamente abundantes nos primórdios do sistema, e originaram a maioria das crateras nos objetos que nele existem, mas, após os 500 milhões de anos que se seguiram à formação do Sistema Solar, seu número diminuiu rapidamente. Na Terra, um planeta muito ativo, as crateras que então se formaram foram destruídas pela erosão e pelas modificações da superfície original por ações tectônicas. Os asteroides constituem um risco real de impacto com a Terra. Um deles, com cerca de 10 km de diâmetro, chocou-se na península de Yucatán no México há cerca de 65,5 milhões de anos, no limite entre os

períodos Cretáceo e Terciário. Teria sido a causa da extinção de 75% das espécies de organismos terrestres e marinhos, entre eles os dinossauros. Os meteoroides são miríades de corpos rochosos menores que os asteroides. Quando em grande velocidade, atravessam a atmosfera terrestre, tornam-se incandescentes e geram os meteoros ou estrelas cadentes. Os que caem na superfície denominam-se meteoritos. Podem ter mais de 100 kg e originar crateras. Hoje está bem estabelecido que 99,5% deles são resíduos de cometas ou fragmentos de asteroides. Os meteoritos do tipo chamado condritos carbonáceos são tidos como tendo se formado na nebulosa pré-solar, sem modificações importantes desde então, pelo que seu estudo é particularmente valioso por fornecer informações sobre a origem e idade do Sistema Solar.

A definição de meteoróide adotada pela IAU (1961) é bastante subjetiva: meteoróide é um objeto sólido que se move no espaço interplanetário, de tamanho consideravelmente menor que um asteroide e consideravelmente maior que um átomo. A formação de uma cratera na Terra não depende apenas da massa do objeto, depende também de sua composição química, do ângulo de entrada em relação à superfície, da composição e do estado físico da superfície no local do impacto, da velocidade no momento da colisão, de modo que não é possível determinar uma massa mínima capaz de produzir uma cratera. Os meteoros ou estrelas cadentes são fenômenos luminosos decorrentes da interação entre os meteoroides e a atmosfera de um astro.

Em 1950, o holandês Jan Oort, por cálculos das órbitas de **cometas** de longo período, concluiu que inúmeros deles existiriam nos confins do Sistema Solar, até onde chega a força de atração da estrela, em regiões geladas a -263°C . Afastadas dela de 30.000 au até possivelmente mais de um ano-luz, existem bilhões de corpos gelados contendo poeiras cósmicas, constituindo a chamada Nuvem de Oort. Esses objetos, por serem muito pequenos e estarem muito distantes, nunca foram vistos na nuvem, mas os astrônomos admitem sua existência. A nuvem tem forma esférica, envolve o Sistema Solar interior e o Cinturão de Kuiper e muito lentamente gira em torno do Sol. A ação gravitacional de estrelas que dela se avizinham causa perturbações que deslocaram muitos desses corpos em direção ao Sol. Passaram então a adquirir órbitas elípticas muito alongadas ou parabólicas nas quais circulam como núcleos de cometas. São como bolas de neve sujas, constituídas de gelo de água e outros gelos (metano, amônio, hidrogênio, oxigênio etc.), fragmentos de rochas e poeira cósmica. Têm de 100 metros a 40 quilômetros de diâmetro. Ao se aproximarem do



Figura 13. Vídeo *Nós Estamos Aqui_ O Pálido Ponto Azul* (Legendado). URL: <https://www.dailymotion.com/video/x22jwwp>

Sol, à distância de uns 2 a 3 au, componentes dos núcleos sublimam-se, passando a constituir a cabeleira do cometa, que pode ter centenas de milhares a mais de um milhão de quilômetros de diâmetro. A pressão exercida pela radiação eletromagnética do Sol e pelo vento solar passa a desenvolver a cauda do cometa, sempre dirigida em sentido oposto ao da estrela, podendo atingir 2 au de comprimento. Conforme a extensão máxima da órbita, há cometas de período curto, retornando em menos de dois séculos, ou longo, que podem levar milhões de anos para completar sua órbita. Quando se trata de órbita parabólica, o cometa não retornará.

Um novo olhar sobre a Terra tornou-se possível a partir das viagens interplanetárias que, embora ainda não sejam tripuladas, deixaram há muito de ser ficção científica. Quem consultar o belo vídeo “*Nós Estamos Aqui: O Pálido Ponto Azul*” visualizará imagens obtidas por uma espaçonave que já se afastou até os limites do Sistema Solar. Uma versão legendada do vídeo (Fig. 13), narrada por Carl Sagan, pode ser recuperada dos seguintes URL: http://www.youtube.com/watch?v=HurA3M_CBJY. E <https://www.dailymotion.com/video/x22jwwp>.

A estrutura e a evolução do Sol

O núcleo solar só começará a transformar hélio em carbono quando o hidrogênio nuclear se exaurir. Portanto, a síntese do carbono só ocorrerá após a fase de gigante vermelha, quando o núcleo de hélio sofrerá

contração gravitacional, o que possibilitará condições de temperatura e densidade para que o processo triplo alpha tenha início. O Sol é uma esfera gasosa em rotação, com período de 601 horas no equador, ou 25 dias. Ao seu pequeno núcleo central segue-se uma zona radiativa, como os raios X, que se dirigem à zona convectiva onde, a partir de uns 200 km abaixo da superfície, a temperatura é baixa o suficiente para permitir a existência de átomos parcialmente ionizados, surgindo células de convecção cujo topo empresta à superfície visível do Sol (fotosfera) aparência granular característica.

Por não ser um corpo rígido, a rotação do Sol varia com a latitude. No equador, a velocidade é maior; portanto, um ponto no equador solar experimenta uma rotação completa ao longo de aproximadamente 25 dias, chegando a 35 dias perto das regiões polares.

A estrutura interna do Sol compõe-se de três regiões principais, de acordo com o processo de transporte de energia: o núcleo, onde a energia é produzida por meio de reações de fusão nuclear que transformam H em He; a zona radiativa, na qual a energia é transferida por meio das colisões entre os fótons que deixam o núcleo e as partículas ionizadas dos gases que compõem a maior parte do interior solar; a zona convectiva, onde a temperatura é baixa e o transporte radiativo torna-se ineficiente. Nessa região, o movimento ascendente do gás transporta a energia para fora do Sol por meio de células de convecção. Ao atingir a fotosfera, região mais externa do Sol que conseguimos observar, a energia se espalha pelo espaço.

Acima da fotosfera, encontra-se a coroa solar, visível apenas durante os eclipses, quando a luz do disco solar é bloqueada pela Lua. Nela a temperatura cai para cerca de 5.500°C e a radiação eletromagnética é emitida para o espaço (Fig. 3). Assim decresce a quantidade do hidrogênio no núcleo e cresce a de hélio; uma das interpretações existentes é a de que, daqui a uns seis bilhões de anos, a estrela expandir-se-á, formando-se uma gigante vermelha, que engolfará os planetas internos, expelindo para o espaço material que formará outras estrelas. Esgotada a reserva de hidrogênio e hélio no núcleo, sua temperatura será insuficiente para “queimar” o carbono e o oxigênio que então estarão presentes no núcleo da estrela já velha, e ela entrará em colapso pela gravidade e se transformará em uma pequena e quente anã branca.

De acordo com os astrofísicos, o Sol existe há cerca de 5 bilhões de anos e permanecerá transformando H em He por mais outros 5 bilhões

de anos (Fig. 14). Entretanto, quando o núcleo for predominantemente de hélio, a produção de energia sofrerá interrupções periódicas intercaladas pela produção de hélio a partir do hidrogênio que circunda o núcleo. O Sol entrará em uma fase marcada por instabilidades na produção de energia. As mudanças internas refletir-se-ão externamente em um aumento do diâmetro e diminuição da temperatura superficial, fase esta conhecida em Astrofísica como fase de Gigante Vermelha. Quando forem atingidas as condições para que o hélio seja transformado em carbono, o Sol passará por uma curta fase de equilíbrio, mas, assim que o hélio se exaurir, uma última fase de instabilidade terá início e novamente o Sol aumentará de tamanho até que as fontes de produção de energia se extingam completamente. Quando isso ocorrer, o núcleo do Sol sofrerá rápida contração gravitacional, transformando-se em uma anã branca circundada pelo gás que o envolve, uma nebulosa planetária.

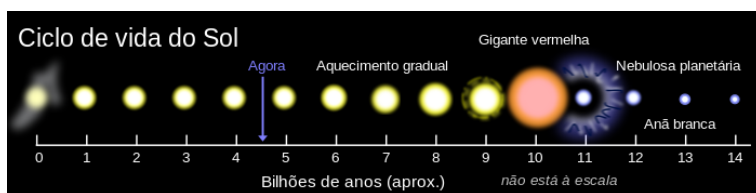


Figura 14. Etapas da transformação evolutiva do Sol. Fonte: Adaptado de Science Learning Hub. URL: <https://www.sciencelearn.org.nz/images/1993-life-cycle-of-the-sun>

Considerações Finais

Procuramos expor, neste Capítulo, que os tamanhos, as composições, as condições superficiais e os padrões orbitais dos objetos que compõem o Sistema Solar exibem diferenças marcantes. O conhecimento tem sido ampliado de maneira bastante rápida, graças aos avanços tecnológicos em termos de novos equipamentos e tecnologias, lançamento de espaçonaves e robôs de exploração. Entender o funcionamento desse complexo sistema ajuda a compreender, dentre outras considerações oportunas e relevantes, que o funcionamento do Planeta Terra é muito singular. Essa perspectiva reforça a visão que vem sendo disseminada, por inúmeros autores, de que os ciclos da água, do carbono e de outras substâncias que constituem a superfície terrestre estão diretamente relacionados à distância Terra-Sol e aos movimentos que a Terra realiza ao redor da estrela e em torno de seu próprio eixo.

Agradecimentos

Os autores são gratos à *National Space Data Center A for Rockets & Satellites*, *Satellites*, vinculado à *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), pela gentileza do fornecimento de imagens.

Leitura recomendada

- Almeida, F. F. M. de, & Carneiro, C. D. R. (2000). *O Sistema Solar*. Campinas: Unicamp. (Texto inédito).
- Branco, H. C., & Mancini, F. (2022). Planetary Geology: A historical and philosophical overview. *Geology Today*, 38(4), 134-142. DOI: <https://doi.org/10.1111/gto.12401>.
- Carneiro, C. D. R., Barbosa, R., Imbernon, R. A. L., Basilici, G., & Gonçalves, P. W. (2020). As Geociências na Educação Básica e o Programa de Ensino e História de Ciências da Terra da Unicamp. In: Reis, F. A. G. V., Kuhn, C. E. S., Carneiro, C. D. R., Wunder, E., Boggiani, P. C., & Machado, F. B. (Orgs.). (2020). *Ensino e Competências Profissionais na Geologia*. Jaticabal: Ed. Funep. p. 1-15. (ISBN 978-65-5671-020-4).
- Crósta, A. P. (2012). Estruturas de impacto e astroblemas brasileiros. In: Ha-sui, Y., Carneiro, C. D. R., Almeida, F. F. M. de, & Bartorelli, A. (Eds.) (2012). *Geologia do Brasil*. São Paulo: Ed. Beca. p. 673-708. (Cap. 28). (ISBN 978-85-62768-10-1).
- Davis, L. (2022). *Your guide to water on Mars*. The planetary Society. URL: <https://www.planetary.org/articles/your-guide-to-water-on-mars>. Acesso 14.04.2025.
- International Astronomical Union (IAU) (1961). *Meteors & Meteorites: The IAU Definitions of Meteor Terms*. IAU. URL: https://www.iau.org/public/themes/meteors_and_meteorites/. Acesso 14.04.2025.
- International Astronomical Union (IAU) (2006). *General Assemblies. GA 2006: XXVIth IAU General Assembly*. IAU. URL: https://www.iau.org/science/meetings/past/general_assemblies/55/. Acesso 14.04.2025.
- International Astronomical Union (IAU) (s.d.). *Pluto and the developing landscape of our Solar System*. IAU. URL: https://www.iau.org/public/themes/pluto/#:~:text=In addition to the eight,Eris%2C Makemake%2C and Haumea. https://www.iau.org/public/themes/pluto/?TB_iframe=true&width=921.6&height=512.1 Acesso 14.04.2025.
- Ivanishevich, A., Wuensche, C. A., & Rocha, J. F. V. da. (2010). *Astronomia Hoje*. Rio de Janeiro: Inst. Ciência Hoje.
- Margulis, L., & Sagan, D. (1986). *Microcosmos. Four billion years of evolution from our microbial ancestors*. New York: Summit Books. 301p.
- National Air Space Data Center A for Rockets & Satellites (NASA) (2000). *Images of the Solar System*. National Aeronautics and Space Administration (NASA, EUA). (inédito).
- National Aeronautics and Space Administration [NASA]. (2009). *What is a Planet?* National Aeronautics and Space Administration (NASA, EUA). URL: https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2009/12/what_is_a_planet_lithograph.pdf. Acesso 23.10.2025.

- Requeijo, F., & Carneiro, C. D. R. (2010). Tem alguém aí? Zonas habitáveis na Via Láctea. *Ciência Hoje*, 45(267), 38-43.
- Requeijo, F., & Carneiro, C. D. R. (2010). Tem alguém aí? Zonas habitáveis na Via Láctea. In: Ivanissevich, A., Wuensche, C. A., & Rocha, J. F. V. da. (2010). *Astronomia Hoje*. Rio de Janeiro: Inst. Ciência Hoje. p. 82-93.
- Sagan, C. (1996). *Pálido ponto azul*. São Paulo: Cia. das Letras. 491p.
- Sagan, C. (1980). *Cosmos*. New York: Random House.
- Sagan, D., & Margulis, L. (1989). *Biospheres. From Earth to space*. Hillside, N.J.: Enslow Publ. 96p.
- Varella, I. G. (2017). *O Sol: Uma proposta de ensino*. São Paulo: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo. (Dissert. Mestr.). 147p. URL: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/14/14134/tde-06082018-133254/publico/IrineuGomesVarella_Sol.pdf. Acesso 23.10.2025.
- Weiner, J. (1988). *O planeta Terra*. Rio de Janeiro: Martins Fontes. 361p. Capítulos: 1 – A Máquina Viva, p. 2-49. 3 – O enigma do clima, p. 90-145.

Origami como estratégia para Educação em Ciências da Terra: Tempo Geológico

Rosely A. L. Imbernon
Elen Cristina Faht
Fabiana C. Pioker-Hara
Ailina Tiemi Asano Oshiro
Elisabete de Araújo Rodrigues
Rogério Pimenta

Introdução

O conhecimento do funcionamento do processo evolutivo pode contribuir para a tomada de decisões em temas polêmicos como organismos geneticamente modificados e favorecer o pensamento crítico em relação a questões ambientais como fragmentação de habitat, extinção e introdução de espécies, por exemplo (Futuyma, 2009, Bizzo, 1994, Sepúlveda & El-Hani, 2008). O processo evolutivo pode ser compreendido em duas escalas: a *microevolução*, pequenas variações ocorrendo nos organismos em curto espaço de tempo, a exemplo do surgimento de cepas de bactérias resistentes a antibióticos; e a *macroevolução*, compreendendo grandes mudanças taxonômicas em uma escala de tempo geológico (Futuyma, 2009).

O Tempo Geológico e o ensino de Evolução da Vida

O conceito de Tempo Geológico, “embora fundamental para a compreensão da história evolutiva dos organismos, é considerado abstrato e desinteressante por estudantes e professores” (Chaves et al., 2018 p. 234). Dentre os obstáculos encontrados por estudantes para a compreensão do Tempo Geológico, pode-se destacar: o envolvimento de “escalas e eventos distantes da experiência humana cotidiana”; abstração matemática para o entendimento de números exponenciais e grandes quocientes numéricos; e ensinamentos religiosos que transmitem a ideia de uma Terra recente, com cerca de 6.000 anos (Cervato

& Frodeman, 2013, Chaves et al., 2018). A falta de compreensão afeta o entendimento e aceitação da teoria evolutiva (Blackwell et al., 2003). Por consequência, os professores acabam reproduzindo acriticamente os conteúdos dos livros didáticos (Dodick & Orion, 2003b, Dodick, 2007, Cervato & Frodeman, 2013, Silva et al., 2019, Ribeiro & Zabini, 2023, Martins & Carneiro 2023).

Por sua vez, Oliveira (2006) aponta que os livros didáticos ajudam pouco na compreensão da complexidade do conceito de Tempo Geológico e das transformações do planeta e da biodiversidade ao longo de milhões de anos. Analisando uma série de livros didáticos de biologia, o autor constatou desde problemas com a ilustração das escalas, apresentando desproporção entre a duração das eras e sua representação, até problemas de “ordem estrutural e cognitiva”, com eventos “desorganizados ou omitidos”. Os exemplos trazidos pelos livros didáticos acerca dos processos evolutivos em si também pouco contribuem para essa compreensão, pois usualmente focam em processos de microevolução (Dodick & Orion, 2003a). Por sua vez, Trend (2001, 2010) pesquisou a concepção de tempo geológico em mais de uma centena de licenciandos e professores primários no Reino Unido, apontando que eles dividiam o tempo em “muito antigo”, “menos antigo” e “recente” sem, contudo, dimensionar apropriadamente uma escala ou mostrar grande interesse pelas transformações geológicas do planeta.

O ensino de conceitos necessários para o entendimento do Tempo Geológico dispersa-se entre as várias disciplinas. Enquanto a Biologia apresenta o registro fóssil e a escala temporal, a Geografia apresenta conceitos de modificação do relevo e estratigrafia, a Matemática apresenta as escalas de grandeza numéricas e cabe à Química explicar processos de datação por radioisótopos. Conteúdos como registro fóssil e processo de fossilização, estratigrafia e datação são abordados superficialmente e de forma desconexa pelas disciplinas, dificultando a construção de um conceito uniforme sobre o Tempo Geológico e sua relação com a Evolução da Vida. Assim, uma das formas de mitigar a fragmentação é aproximar os conhecimentos das geociências para as aulas de biologia, procurando facilitar o entendimento do conceito de Tempo Geológico e, por conseguinte, da teoria evolutiva. Essa abordagem, como Dodick & Orion (2003a, 2007) já indicaram, é promissora. Esses autores introduziram temas como registro fóssil, tempo geológico e modificações do planeta ao longo do tempo a turmas de ensino médio em Israel, e

verificaram que a compreensão da teoria evolutiva pelos estudantes se deu de forma muito mais assertiva e complexa.

Neste capítulo, apresentamos uma proposta de sequência didática utilizando origamis para a abordagem do Tempo Geológico, de uma forma interdisciplinar que pode ajudar a romper as barreiras que dificultam a compreensão do conceito, trazendo sentido para o ensino da evolução da vida na Terra.

A origem do Origami e inserção na educação

De acordo com Kobayasshi & Yamada (2013) podemos definir origami como a “arte de trabalhar o papel (kami), quer seja dobrando-o (ori) – origami 折り紙 –, ou no uso misto do corte (kiri) e dobrar (ori) – kirigami 切り紙”, em que o principal objetivo das dobraduras é produzir formas diversas, de representação da geometria, ou de flores, animais etc.

Para Kaio (2020 p.26) a “origem certa do origami permanece um mistério até os dias de hoje”, e existem várias hipóteses que apontam que as primeiras formas de dobradura são datadas desde a invenção do papel. Acredita-se que a introdução do papel no Japão, em torno do ano de 610 por monges budistas coreanos, permitiu aos japoneses desenvolverem tecnologia própria para produção de papel, o *kozo* para papel resistente, o *gampi* para os nobres e *mitsumata*, para os mais delicados, e o papel tipicamente japonês ficou conhecido como *washi* e sobre ele podia-se escrever ou usá-lo para várias finalidades, inclusive para o origami (Hayasaka & Nishida, 2008a).

O registro mais antigo de dobradura em papel é encontrado em um poema de Ihara Saikaku, de 1680, no qual a palavra “*orisue*”, uma forma arcaica de referência ao origami está descrita (Hayasaka & Nishida, 2008a). Os autores apontam que a prática da dobradura era restrita às cerimônias religiosas e festivas das classes mais ricas, e os origami cerimoniais teriam surgido no Japão durante o Período Muromachi (室町時代 *Muromachi-jidai* entre 1336 até 1573) como origami cerimonial, tendo como exemplos o casal de borboletas (*ocho* e *mecho*) usados em casamentos; e o *noshi* colocado nos envelopes cerimoniais ou em presentes de grande valor.

A popularização do Origami se deu a partir do período Edo [1603-1868], associado à popularização do uso do papel.

Foi no período Edo [1603-1868], que, com a popularização do papel, a arte do origami também foi se popularizando, chegando às massas, assim como designs que conhecemos foram sendo mais difundidos, como Orizuru (Tsuru) e Yakko-san, simbolizando as pessoas de origem mais simples e os dançarinos da época (Kaio, 2020, p.27).

O autor ainda indica que pertence a esse período o primeiro livro de Origami, *Hiden Senbazuru Orikata* 「秘伝千羽鶴折形, publicado em 1797 e considerado o livro mais antigo conhecido sobre origami, ou, em tradução livre, *dobraduras secretas dos mil tsurus*, publicado em 1797, por Akisato Rito (秋里籬島) (Fig. 1). Na publicação é apresentada a realidade de uma composição de dezenas de *tsurus* conectados, dobrados a partir de uma única folha de papel.

(...) o primeiro livro de Origami, “hidden senbazuru orikata” 「秘伝千羽鶴折形」, ou, em tradução livre, ‘dobraduras secretas dos mil tsurus’, publicado em 1797, por Akisato Rito (秋里籬島). Onde na realidade compõe-se de dezenas de tsurus conectados, dobrados a partir de uma única folha de papel (Kaio, 2020, p.27).

A arte do Origami se manteve fiel às tradições originais até meados do século XX, entre 1950-60, com os modelos reproduzidos de uma geração para outra (Hayasaka & Nishida, 2008b).

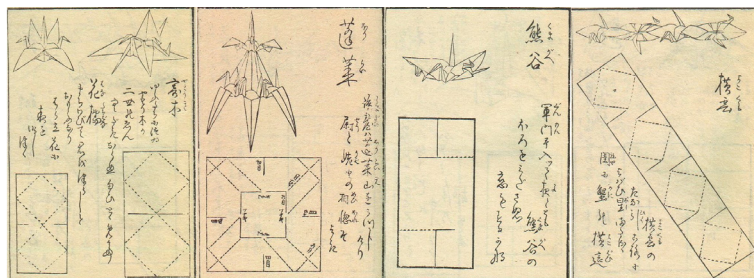


Figura 1. Páginas creditadas ao livro Hiden Senbazuru Orikata. Fonte: URL: <https://www.metmuseum.org/art/collection/search/78714>)

Um fato importante na disseminação e evolução do Origami tradicional, que envolve a forma de transferências dos modelos, e como estes eram passados entre as gerações, era o anonimato, uma característica na transição dos modelos, e não havia preocupação de que a técnica, as dobras, os nomes não seriam alterados (Kaio, 2020, Hayasaka & Nishida,

2008a). Assim, de acordo com os autores, o *paradigma presente no Origami moderno é totalmente diferente. Neste existem “modelos”, com seu “design” feito por “origamistas”, ou “criadores de origami*. Destaca-se que, no Origami moderno, Uchiyama Koko (内山光弘) recebeu destaque quando, pela primeira vez, um origamista patenteou seus modelos, Kamon-ori (花紋折り), ou dobras em padrão floral. Esse tipo de atitude em relação à patente da criação de novos modelos, atualmente, ainda é um procedimento defendido por alguns origamistas, assim como manutenção do designer na reprodução do artefato (Kaio, 2020).

No origami cerimonial muitas dobras derivam de um pedaço retangular de papel, que podemos considerar como a origem de todo origami. Esse procedimento é, provavelmente, o resultado da maneira como o papel foi feito e da falta de um estilo fixo de construção de dobra (Honda, 1988). Se o estilo de dobraduras for mais geométrico o formato básico do papel é quadrado, pois, no origami de passatempo ou diversão, a forma básica do papel geralmente é o quadrado (Honda, 1988). Mas, podemos utilizar outras formas, como papel triangular, papel rômboide, papel pentagonal regular, papel hexagonal regular, e papel octogonal regular (Fig. 2).

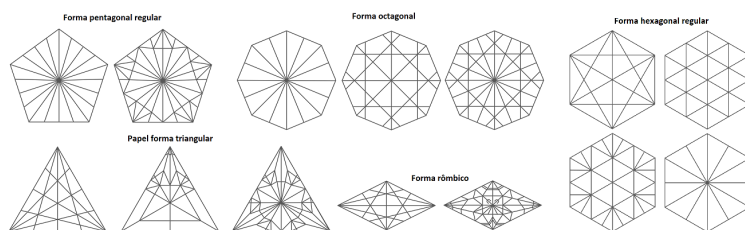


Figura 2. Formas de papel para Origami: pentagonal regular, triangular, octogonal, rômboide, hexagonal regular. Fonte: Modif. de Honda (1988, p. 11-13)

Quando utilizamos papel quadrado, todo origami depende das quatro dobras geométricas básicas, que darão às obras a aparência pretendida. Para papel quadrado temos a dobra tabuleiro de xadrez (esta dobra básica se divide em dois tipos, uma em que o quadrado de papel é dobrado em quatro partes, e outra em que é dobrado em três) (Fig. 3); a dobra em mosaico diagonal (Fig. 4); a dobra radial a partir do centro (Fig. 5); e dobra radial de canto (Fig. 6).

As formas fundamentais são os estágios de dobra de um certo origami, que também pode ser o método de dobra para vários outros modelos de origamis. No início, as dobras de origami se desenvolveram a partir da construção sintética de uma série de dobras geométricas em formas básicas, que com a evolução dos modelos, prosseguiu para formas cada vez mais complexas.

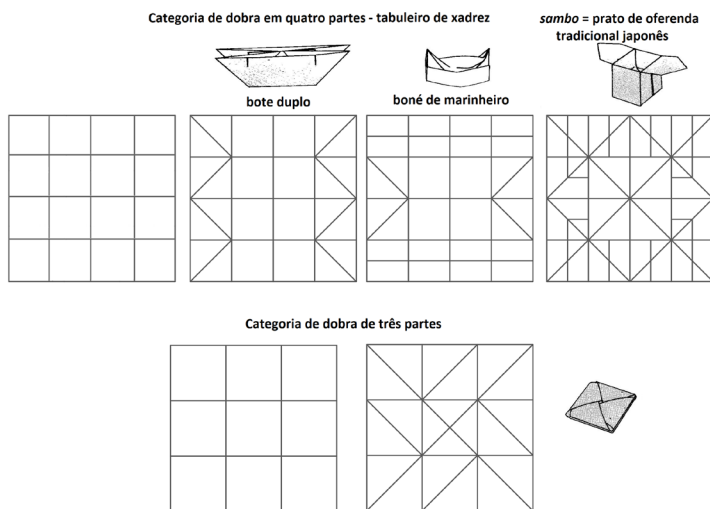


Figura 3. Formas de papel para Origami em quadrado de papel: dobra em 4 partes e dobra em 3. Fonte: Modif. de Honda (1988, p.11)

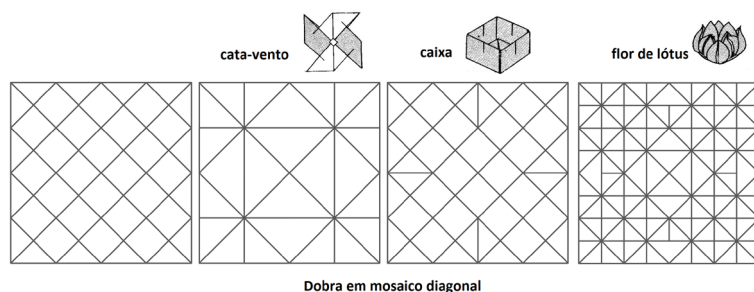
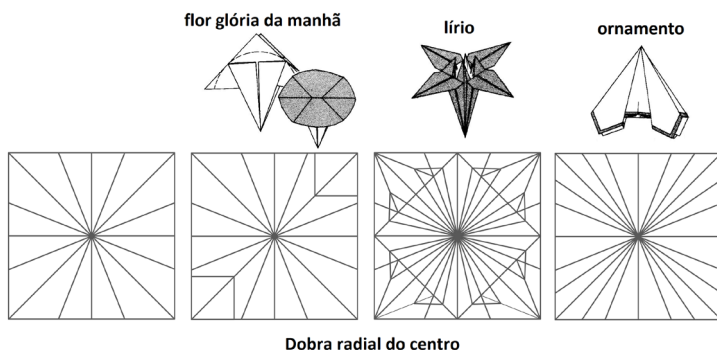
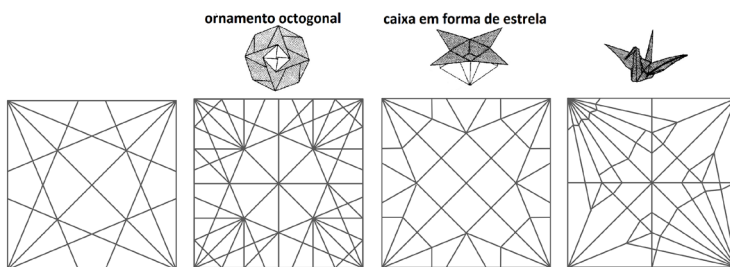


Figura 4. Formas de papel para Origami em quadrado de papel: dobra mosaico diagonal. Fonte: Modif. de Honda (1988, p.11)



Dobra radial do centro

Figura 5. Formas de papel para Origami em quadrado de papel: dobra radial do centro. Fonte: Modif. de Honda (1988, p.12)



Dobra radial do canto

Figura 6. Formas de papel para Origami em em quadrado de papel: dobra radial do canto. Fonte: Modif. de Honda (1988, p.12)

Internacionalmente observa-se uma grande explosão do origami entre 1950-60, especialmente nos Estados Unidos da América (EUA), onde em 1958 Lilian Oppenheimer, uma grande entusiasta do origami, fundou o *The Origami Center New York*.

Neste período podemos dizer que duas vertentes de origamistas surgiram: a da escola oriental mais voltada para o exercício artístico e a escola ocidental, praticada por matemáticos, arquitetos e engenheiros que usam o origami como uma ferramenta de trabalho acadêmico. Esses origamistas perseguem a exatidão anatômica da forma e das proporções recorrendo a processos matemáticos, técnicas geométricas de desenho e recursos computacionais. Mesmo no Japão, há vários pesquisadores de origamis (os chamados detetives de origami ou “origami tanteidan”) que também buscam inovações e recriações (Hayasaka & Nishida, 2008b, p.10).

Assim como é incorreto dizer que o Origami é uma arte estritamente japonesa, também é errôneo exclamar que o Origami tradicional é apenas aquele vindo do Japão, quando também houve uma forte presença em diferentes países ao redor do mundo.

Origami na educação, com foco nas Ciências da Terra

Quando nos remetemos à aplicação do Origami na educação, destacamos seu caráter lúdico, e a fácil execução.

O potencial lúdico do origami pode ser percebido pelo fato de ele ser executável a qualquer hora e em qualquer lugar, necessitando apenas de um pedaço de papel, e por qualquer pessoa, independentemente de idade, gênero e nível social, econômico e cultural (Kobayashi & Yamada, 2013 p. 151).

Em complemento ao foco deste Capítulo no potencial educacional do origami nas Ciências da Terra, entendemos que as considerações e exemplos que se seguem podem apoiar muitas atividades no campo abrangente de *Science, Technology, Engineering, Mathematics* (STEM). Para além da ludicidade apresentada pela execução do origami em atividades educativas, ressalta-se que o processo de reprodução das dobraduras pode ativar os dois hemisférios do cérebro, desenvolvendo habilidades de coordenação motora de ambas as mãos, acuidade visual e visualização tridimensional (Shumakov & Shumakov, 2000, apud Kobayashi & Yamada, 2013 p. 151).

Nos últimos anos, o origami também entrou no campo da educação. Muitos países implementaram o origami em seus currículos educacionais devido aos seus inúmeros benefícios para o desenvolvimento dos alunos. O origami ajuda os alunos de muitas maneiras, incluindo o desenvolvimento de habilidades cognitivas, sociais e motoras (Marji et al., 2023 p. 2011)

A utilização do Origami como ferramenta na educação é descrita em áreas como a Matemática, e auxilia a desenvolver habilidades tais como para medir, comparar e entender relações geométricas (Marji et al., 2023); em Português, Artes, Geografia, História, Inglês, Educação Física, ensino Religioso e Ciências (Melo & Monção, 2009); e para além de outras habilidades que podem ser desenvolvidas pelos alunos, como habilidade espacial (Cakmak et al. 2014), raciocínio espacial (Anazco

& Zurn-Birkhimer, 2020, Boakes, 2006), além de promover o desenvolvimento social e emocional.

Por exemplo, o origami pode ser usado para ensinar trabalho em equipe, comunicação e empatia. Ao trabalhar em um projeto de origami juntos, os alunos devem se comunicar de forma eficaz para garantir que estejam trabalhando em direção a um objetivo comum. Além disso, como o origami pode ser desafiador e requer muita paciência, os alunos podem aprender a perseverar e desenvolver uma mentalidade de crescimento. Finalmente, o origami pode ser usado como uma ferramenta para autoexpressão e relaxamento, o que pode ter um impacto positivo no bem-estar emocional dos alunos (Marji et al., 2023, Anazco & Zurn-Birkhimer, 2020, Boakes, 2006).

Na educação básica o origami também tem aplicação no ensino de definições geométricas formais para alunos do quinto ano do ensino fundamental (11-12 anos), como uma ferramenta para melhorar o conhecimento matemático dos alunos (Budinski et al., 2021). Os autores apontam que em estudos anteriores com alunos do ensino médio desenvolveram atividades de origami e tecnologia para matemática com resultados que os estimularam a explorar se tal abordagem funcionaria também no ensino fundamental.

Para o ensino de Ciências da Terra, Melo & Monção (2009) aplicaram o Origami como instrumento didático para o ensino formal e não formal, que consistiu no levantamento de diagramas e modelos de Origami de animais extintos, encontrados em registros fósseis. Os autores apresentaram como proposta a construção de um diorama com formas de animais típicos do Devoniano brasileiro (período entre 410 e 355 milhões de anos atrás). Porém, verificaram a inexistência de modelos de Origamis destas formas na literatura, predominando animais típicos da era Mesozoica (período entre 245 e 65,5 milhões de anos atrás) (Melo & Monção, 2009).

Outro fator associado ao uso de Origami e ensino envolve que, dentre todas as Ciências Naturais, as Ciências da Terra têm forte associação com problemas de pesquisa multidimensionais (King, 2008). Isso significa que na formação de geocientistas, por exemplo, é necessário que o estudante tenha uma visualização multidimensional do problema.

Isso pode levar a dificuldades no treinamento de futuros geólogos (Lowry et al. 2022), pois a visualização de problemas multidimensionais por parte dos alunos *os afasta da inteligência cristalizada, baseada em fatos,*

para um aprendizado mais maleável usando sua inteligência fluida de acordo com Lowry et al. (2022), que se baseou em Jaeger et al. (2017) e Ludvik (2021)). Os autores apontam, ainda, que embora simulações de computador e visualizações tridimensionais sejam utilizadas, elas podem não ter a flexibilidade para os alunos realizarem uma exploração de forma livre (Lowry et al., 2022).

Um exemplo de aplicação de Origami foi idealizado por Lowry et al. (2022) para o ensino de Geociências, especificamente no uso de modelos de aquíferos, com o objetivo de *fornecer exemplos físicos tridimensionais para os alunos visualizarem a estrutura geológica do subsolo e quantificar o fluxo de fluidos através de meios porosos* (Lowry et al., 2022, p.1). As atividades propostas envolveram cortar, dobrar e construir problemas hidrológicos tridimensionais em casa ou na sala de aula durante a pandemia de Covid-19. Na proposta sugerida aos alunos, eles conseguiam girar fisicamente os modelos de origami dos aquíferos produzidos, e visualizar áreas transversais, espessuras de camadas, heterogeneidade e unidades de confinamento. Os autores apontam que os modelos de origami permitem aos alunos *entenderem e quantificarem as relações entre os níveis de água e a estrutura geológica* (Lowry et al., 2022, p.3). as avaliações posteriores indicaram resultados positivos.

As avaliações pré e pós-modelo mostraram que os alunos com pontuação baixa tiveram os ganhos mais significativos após serem apresentados aos modelos de aquíferos de papel. Ao mesmo tempo, não houve mudança no número de alunos no grupo de pontuação mais alta. Nossa experiência em sala de aula aponta para novas oportunidades de engajar alunos remotos e ferramentas para dar suporte a atividades de sala de aula ... os modelos de aquíferos de papel fornecem à comunidade hidrológica uma ferramenta adicional para ajudar a preencher a lacuna da sala de aula virtual, envolvem os alunos e ajudam a desenvolver o domínio da resolução de problemas tridimensionais. (Lowry et al., 2008 p.06).

Fei & Sujam (2020) apresentam abordagens matemáticas para Origami, como Geometria, Topologia, Teorema da Árvore de Robert Lang e o método String-to-beads de Maekawa. De acordo com os autores, as abordagens matemáticas mencionadas estão em torno de três fundamentos principais: axiomas de Huzita-Hatori, Maekawa e teoremas de Kawasaki.

Ainda na área de Science, Technology, Engeneering, Mathematics (STEM), a engenharia de origami surgiu como uma ferramenta potencialmente poderosa para criar estruturas tridimensionais em escalas díspares (Santangelo, 2020). Os diferentes tipos de dobras do origami permitem obter estruturas 3D complexas, a partir de um plano 2D, simplesmente dobrando, o que atraiu a atenção de várias áreas STEM, como arquitetura, matemática e engenharia (Supple et al., 2021).

Uma das aplicações mais significativas do origami está na indústria aeroespacial, aplicado ao *design* de componentes de naves espaciais e satélites. As naves espaciais e satélites necessitam de todo espaço disponível, e cada centímetro deve ser adequadamente utilizado. Assim, as agências aeroespaciais têm utilizado técnicas inspiradas em origami que permitem que os componentes de grande área sejam dobrados de forma compacta para o lançamento e que possam ser expandidos para utilização, quando estiverem no espaço (Shah et al., 2024).

Com base em modelos matemáticos, várias ferramentas computacionais foram desenvolvidas para facilitar o design e a modelagem de estruturas de origami para aplicações de antenas (Georgakopoulos et al., 2021 p. 1021). Como exemplo, a tecnologia Starshade da National Aeronautics and Space Administration (NASA), que habilita e aprimora a capacidade da NASA de detectar planetas ao redor de outras estrelas, tem formato de girassol, com o tamanho aproximado de um campo de beisebol. Para caber em um foguete, a NASA desenvolveu, juntamente com origamistas, uma maneira de dobrá-lo — como se fosse um origami — para o lançamento (NASA, 2024).

Proposta de sequência didática na educação básica a partir da BNCC

Partimos da abordagem metológica do ensino por investigação, na qual o protagonismo do professor não se restringe a meramente “transmitir” o conhecimento ou fornecer informações. De forma contrária, o professor deverá mudar de postura em aula, embora se mantenha como ator principal tanto no processo de ensino quanto no processo de aprendizagem: cabe a ele conduzir o trabalho intelectual dos alunos em sala de aula, de forma a atingir os objetivos de aprendizagem e facilitar o desenvolvimento do aluno. De acordo com Bachelard (1938 apud Carvalho, 2007, p.15) “todo conhecimento é a resposta a uma questão”.

(...) na educação, a noção de obstáculo pedagógico também é desconhecida... acho surpreendente que os professores de ciências, mais do que os outros se possível fosse, não compreendam que alguém não compreenda (Bachelard, 1996, p.23.)

Assim, quando propomos a abordagem do ensino por investigação, adotamos tais referenciais de forma que, para além de adotar um ensino direcionado também à pesquisa, tal perspectiva não implica na construção de novidades, uma vez que os objetos de conhecimento abordados poderão abranger uma gama enorme de outros objetos, sem modificá-los ou compreendê-los.

Ao professor cabe manter um equilíbrio cognitivo em sala de aula: consideramos que o aluno, ao experienciar um novo conhecimento (estímulo), ou um conhecimento já visto, mas em nova abordagem, por exemplo, buscará assimilar o conhecimento a partir de um esquema existente (Wadsworth, 1996). Assim, se o processo ensino for bem-sucedido, o equilíbrio, em relação à situação de aprendizagem em particular, é atingido.

Assim, para a proposta de sequência metodológica, a primeira análise consiste em avaliar no âmbito da Base Nacional Comum Curricular a abordagem a ser dada sobre a temática escolhida para os modelos de origami, que envolve o Tempo Geológico. Para essa finalidade sugerimos os dinossauros, cujos fósseis estão espalhados pelo planeta, e cujos modelos de dobraduras em origami foram encontradas na literatura. Marcon et al. (2023) apontam para atividades articuladas entre Paleontologia e a BNCC para o ensino fundamental, com foco em dinossauros encontrados no Brasil, principalmente no território do Rio Grande do Sul, com expressiva representação para a paleontologia na América do Sul.

O Tempo Geológico e o Origami

A partir da análise dos referenciais curriculares da BNCC e da literatura, organizamos uma proposta de sequência didática utilizando os origamis de dinossauro como pano de fundo para trabalhar os conceitos básicos necessários para a compreensão do Tempo Geológico e da evolução da Vida na Terra. A proposta agrega habilidades de ciências da natureza, ciências humanas (história e geografia) e matemática (Tab. 1).

Para abordarmos o “tempo geológico” com o uso do origami, foram pesquisados modelos de dobraduras que apresentassem diferentes tipos de organismos pretéritos dos quais conhecemos registros fósseis, com estágios de dobras mais simples e de fácil execução, de forma que

Tabela 1. Conjunto de dinossauros feitos com Origami: informações para comparações e aplicação em objetos de aprendizagem variados de acordo com a BNCC (2018)

Dinossauro	Período	Informações	Classificação
<i>Apatosaurus ajax</i> do grego “lagarto enganoso”	Viveu durante o período Jurássico superior há cerca de 157 a 146 milhões de anos. Encontrado na América do Norte.	Uma espécie de dinossauro saurópode – <i>Apatosaurus ajax</i> . Tamanho médio até 23 metros de comprimento, 8 a 10 metros de altura e pesava em torno de 35 a 40 toneladas. Registro fóssil mais antigo: Oxfordiano Registro do fóssil mais recente: Titoniano	Reino: Animalia Filo: Chordata Clado: Reptilia Ordem: †Ornithischia Superordem: Dinosauria Ordem: Saurischia Subordem: †Sauropodomorpha Família: †Diplodocidae Subfamília: Apatosaurinae Gênero: †Apatosaurus Espécie: <i>Apatosaurus ajax</i> , March, 1977 (Wedel et al., 2013)
<i>Iguanodon bernissartensis</i> do grego “dente de iguana”, também conhecido como iguanodonte	Viveu no início do período Cretáceo Inferior, entre 132 a 110 milhões de anos. Curiosidade: foi um dos primeiros dinossauros com capacidade de mastigar. Encontrado, principalmente na Europa (Alemanha, Inglaterra, Espanha, Bélgica), além de China e América do Norte.	É um gênero de dinossauro herbívoro e bípede, Tamanho médio em torno de 10 metros de comprimento, altura 2,7 m e pesava cerca de 4 a 5 toneladas, (adulto). Registro fóssil mais antigo: Kimmeridgiano	Reino: Animalia Filo: Chordata Clado: Reptilia Ordem: †Ornithischia Superordem: Dinosauria Ordem: Ornithischia Subordem: †Ornithopoda Família: †Hadrosauriformes Gênero: †Iguanodon Espécie: <i>Iguanodon bernissartensis</i> Boulenger, 1881 (Norman, 2004)
<i>Stegosaurus armatus</i> (aportuguesado estegossauro ou estegossáurio) cujo nome significa “lagarto telhado”, pois pensava-se que suas placas ósseas protetoras eram dispostas como as telhas de um telhado. Atualmente sabe-se que ficavam dispostas em pé ao longo da coluna vertebral.	Os fósseis deste gênero datam do período Jurássico Superior, do período Kimmeridgiano aos primeiros estratos envelhecidos do Titoniano, entre 155 e 148 milhões de anos atrás.	É um gênero de dinossauros herbívoros tireóforos. Os indivíduos grandes poderiam crescer até 12 metros de comprimento, 4 de altura e pesar cerca de 6 toneladas. Registro fóssil mais antigo: Jurássico Superior	Reino: Animalia Filo: Chordata Classe: Reptilia Superordem: Dinosauria Ordem: †Ornithischia Clado: †Thyreophora Subordem: †Stegosauria Família: †Stegosauridae Gênero: †Stegosaurus, March, 1877 Espécies: †Stegosaurus armatus, †S. longispinus, †S. stenops e †S. Sulcatus

pudessem ser aplicados a diferentes faixas etárias e seriações na educação básica, aplicando modelos de dobras em papel quadrado. Os dinossauros escolhidos apresentam características distintas em relação ao período, hábitos alimentares e proporções, apresentando uma diversidade de informações que visam facilitar a compreensão do tempo geológico e das mudanças da vida e do planeta ao longo do tempo.

Nos livros *Origami Dinosaurs* (Momotani, 1993) e *The World of Origami* (Sato, 1988) identificamos modelos de dobraduras para dinossauros, com baixo grau de dificuldade utilizando papel quadrado (Tab. 2). Para cada um dos modelos, identificamos o grau de dificuldade, tempo de execução, período de ocorrência no Tempo Geológico em que surgiram e desapareceram, bem como outras informações sobre cada espécie. As informações e os origamis foram utilizados na composição da proposta de sequência didática (Tab. 1). Na Tabela 1 apresentamos alguns pontos a partir dos três dinossauros escolhidos para realização dos Origamis, que permitiriam expandir a discussão para além de objetos de aprendizagem de matemática, envolvendo um trabalho interdisciplinar em sala de aula.

Para a abordagem do Tempo Geológico utilizando os origamis de dinossauros como pano de fundo, fizemos um levantamento das habilidades da BNCC que podem ser reunidas e trabalhadas de forma interdisciplinar. A abordagem integrada do assunto permite examinar o conceito sob diferentes pontos de vista, além de favorecer tanto o desenvolvimento das habilidades requeridas como a melhor compreensão do conceito. O conjunto de habilidades e os conteúdos acha-se na Tabela 2.

A partir do conjunto de habilidades e da sugestão de conteúdos, preparamos a proposta de sequência didática sumariada na Tabela 3.

Desta forma, a confecção dos origamis (Fig. 7) perpassa diferentes objetos de aprendizagem, em diferentes componentes curriculares, e permitirá desenvolver não somente as habilidades cognitivas previstas na BNCC, mas, também, habilidades não cognitivas, como capacidade de resolução de problemas, conscientização, motivação, perseverança, trabalho em equipe, as habilidades orais (para expressar o que percebe, sente, compreende ou não compreende etc.), motoras (o processo de dobradura do origami envolve habilidades motoras específicas), capacidade de andar, de prestar atenção ou então de realizar habilidades executivas etc. são consideradas não cognitivas.

Tabela 2. Conjunto de habilidades da BNCC do 6º ano EFAF reunidas para proposta de trabalho interdisciplinar sobre o Tempo Geológico: conteúdos sugeridos para abordagem em cada habilidade

Disciplina	Unidade Temática	Habilidade / Descrição da habilidade	Objetos de aprendizagem
Ciências da Natureza	Terra e Universo	EF06CI11 / Identificar as diferentes camadas que estruturam o planeta Terra (da estrutura interna à atmosfera) e suas principais características.	Apresentar as camadas do planeta Terra e as relações entre elas, com ênfase na transformação da paisagem na crosta terrestre decorrente da movimentação das placas tectônicas. Apresentar a diferença da crosta da Terra na época dos dinossauros e atual.
Ciências da Natureza	Matéria e Energia	EF06CI02 / Identificar evidências de transformações químicas	Apresentar como são formados os fósseis e como a matéria se transforma
Ciências Humanas	História: tempo, espaço e formas de registro	EF06HI01 / Identificar diferentes formas de compreensão da noção de tempo e de periodização dos processos históricos (continuidades e rupturas)	Apresentar a linha do Tempo Geológico, destacando quando viveram os dinossauros selecionados em relação à origem da humanidade
Ciências Humanas	Geografia: Formas de representação e pensamento espacial	EF06GE08 / Medir distâncias na superfície pelas escalas gráficas e numéricas dos mapas.	Apresentar diferentes escalas de tamanho e distância, reforçando a noção de escala de tempo geológico e a escala de tamanho entre os seres humanos e os dinossauros, bem como a diferença espacial da crosta terrestre ao longo do tempo
Matemática	Geometria	EF06MA19 / Identificar características dos triângulos e classificá-los em relação às medidas dos lados e dos ângulos.	Apresentar o origami como uma estrutura composta de quadrados e triângulos, analisando suas proporções e equivalências durante a dobradura dos dinossauros
Matemática	Grandezas e medidas	EF06MA24 / Resolver e elaborar problemas que envolvam as grandezas comprimento, massa, volume, tempo, temperatura, área (triângulos e retângulos), capacidade e volume (sólidos formados por blocos retangulares), sem uso de fórmulas, inseridos, sempre que possível, em contextos oriundos de situações reais e/ou relacionadas às outras áreas do conhecimento.	Trabalhar a ideia de tempo geológico versus tempo cotidiano; trabalhar as relações entre comprimento, altura e massa dos dinossauros selecionados em relação a humanos e outros animais
Língua Portuguesa	Produção de textos	EF67LP20 / Realizar pesquisa, a partir de recortes e questões definidos previamente, usando fontes indicadas e abertas.	Pesquisar informações referentes aos dinossauros, como localização, período em que existiram, tamanho, hábitos alimentares e condições climáticas da região onde viveram. Destacar as diferenças na configuração da crosta terrestre e do clima entre o período que o dinossauro viveu e o período atual
Língua Portuguesa	Compreensão crítica	EF67LP21 / Divulgar resultados de pesquisas por meio de apresentações orais, painéis, artigos de divulgação científica, verbetes de enciclopédia, podcasts científicos etc.	Apresentar os dinossauros desenvolvidos em origami, sintetizando e apresentando as informações pesquisadas

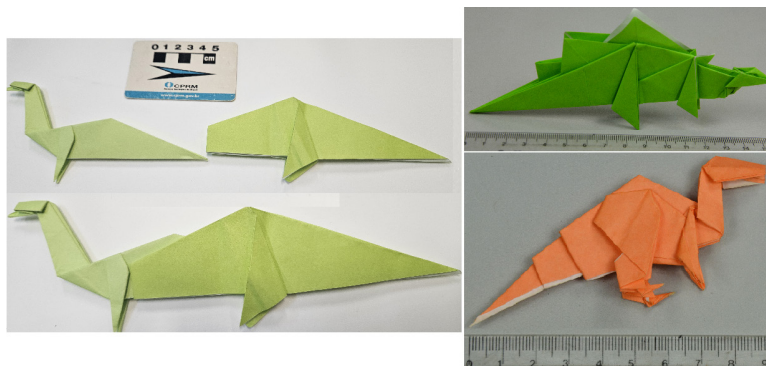


Figura 7. Modelos em origami de dinossauros produzidos para a sequência didática na abordagem do Tempo Geológico

Tabela 3. Proposta de sequência didática para abordagem do Tempo Geológico, com a utilização de origamis de dinossauros como pano de fundo

Sequência Didática – O Tempo Geológico e os Dinossauros

Turma: 6º ano do Ensino Fundamental

Duração: 20 aulas (4 por disciplina)

Metodologia: Projeto interdisciplinar baseado na confecção de origamis de dinossauros

Objetivo Geral: Compreender o Tempo Geológico, suas transformações e escalas, associando-o às mudanças na crosta terrestre e na vida ao longo do tempo.

1. Ciências da Natureza (4 aulas)

1. A Terra ao longo do tempo

- Estrutura interna da Terra e mudanças na crosta terrestre.
- Movimentação das placas tectônicas e suas influências na distribuição dos fósseis.
- Diferença entre a crosta terrestre no tempo dos dinossauros e atualmente.

2. Transformações químicas e formação dos fósseis

- Processo de fossilização e tipos de fósseis.
- Como os fósseis ajudam a entender a evolução da vida.

3. Os dinossauros e seu ambiente

- Condições climáticas nos períodos Jurássico e Cretáceo.
- Diferenças entre os ambientes do Apatosaurus, Iguanodon e Stegosaurus.

4. Construção do Origami – Estrutura e Matéria

- Representação dos dinossauros em origami como forma de materializar conhecimentos sobre estrutura e composição dos organismos.
 - Discussão sobre como as formas dobradas no papel remetem à estrutura óssea dos dinossauros e à fossilização.
-

2. Ciências Humanas: História (4 aulas)

1. Linha do Tempo Geológico

- Diferenciação entre tempo histórico e tempo geológico.
- Periodização da história da Terra e quando os dinossauros viveram.

2. Mudanças ao longo do tempo

- O surgimento e a extinção dos dinossauros.
- Continuidade e ruptura na evolução das espécies.

3. Fósseis como registros históricos

- Como os fósseis são usados para reconstruir o passado.
- Importância dos registros fósseis para a ciência.

4. Construção do Origami – Reflexão Histórica

- Construção dos origamis e reflexão sobre as mudanças nas formas de vida ao longo da história geológica.
 - Debate sobre como os registros fósseis nos ajudam a reconstituir o passado.
-

3. Ciências Humanas: Geografia (4 aulas)

1. Escalas e mapas geológicos

- Como as escalas ajudam a representar o tempo e o espaço.
- Diferença entre escalas temporais e espaciais.

2. Distribuição geográfica dos fósseis

- Onde foram encontrados os fósseis dos três dinossauros do projeto.
- Como a movimentação das placas influenciou essa distribuição.

3. Comparação de tamanhos

- Diferença de escala entre os dinossauros e os seres humanos.
- Proporções e grandezas aplicadas às medidas dos dinossauros.

4. Construção do Origami – Escalas e Espaço

- Construção dos origamis considerando a relação de tamanho entre os dinossauros e os seres humanos.
 - Reflexão sobre como representamos grandes seres em pequenas escalas.
-

4. Matemática (4 aulas)

1. Formas geométricas no origami
 - Identificação de triângulos, quadrados e outras figuras geométricas.
 - Análise das propriedades matemáticas do origami.
 2. Proporções e escalas
 - Cálculo de proporções entre o tamanho real dos dinossauros e a versão dobrada em papel.
 - Exercícios práticos para transformar medidas reais em escala reduzida.
 3. Grandezas e medidas
 - Comparação entre medidas dos dinossauros e as de seres humanos e animais atuais.
 - Estimativa de volume e área de figuras associadas aos dinossauros.
 4. Construção do Origami – Aplicação Matemática
 - Construção dos origamis explorando conceitos matemáticos como simetria e equivalência de áreas.
 - Reflexão sobre como a matemática ajuda a entender o mundo natural.
-

5. Língua Portuguesa (4 aulas)

1. Pesquisa sobre os dinossauros do projeto
 - Levantamento de informações sobre Apatosaurus, Iguanodon e Stegosaurus.
 - Organização dos dados coletados.
 2. Produção de textos informativos
 - Redação de pequenos textos sobre cada dinossauro.
 - Uso de linguagem científica acessível.
 3. Divulgação científica
 - Produção de pôsteres, painéis ou podcasts sobre os dinossauros estudados.
 - Preparação para a apresentação final.
 4. Apresentação do projeto final – Comunicação e Criatividade
 - Reflexão sobre a aprendizagem e fechamento do projeto.
-

Produto

- Confecção de origamis representando os três dinossauros.
 - Elaboração de textos e materiais explicativos sobre os dinossauros e o tempo geológico.
 - Exposição final para apresentar os aprendizados à turma e/ou à escola.
-

Conclusão

As técnicas milenares do Origami, quando aplicadas na educação formal de forma interdisciplinar, podem envolver tanto objetos de aprendizagem de Matemática, associados às diferentes geometrias das formas de dobradura, e, também, conteúdos disciplinares de Ciências da Natureza, História, Geografia, Linguagem escrita e oral. Deve ser ressaltado que a aplicação do origami não se restringe a determinadas faixas etárias; pode ser aplicado desde a educação infantil, até o terceiro grau, e também como estratégia para alunos portadores com deficiências (PcD). O uso de Origami como estratégia em sala de aula permite desenvolver tanto as habilidades cognitivas previstas na BNCC, como as habilidades não cognitivas (concentração, coordenação motora etc.).

A proposta descrita envolve a execução de Origamis no formato de dinossauros, mas não se restringe ao objeto de aprendizagem *Escala do Tempo Geológico*; outros elementos podem ser explorados, e o professor pode estabelecer as conexões entre diferentes conteúdos disciplinares de forma interdisciplinar.

No âmbito da educação inclusiva, o Origami ajuda a promover um processo de ensino no qual a aprendizagem se realiza de modo concreto, na medida em que o estudante agirá sobre a construção dos modelos em Origami; a aprendizagem envolve a capacidade do aluno no desenvolvimento das dobraduras de acordo com os diferentes *designs* propostos.

Agradecimentos

Este Capítulo apresenta componentes do projeto *Espaço Ciência, Cultura e Educação (ECCE): inclusão na educação, divulgação e popularização da Ciência*, Prêmio USP de Impacto Social 2024, 1º lugar na categoria *Redução das Desigualdades*, concedido pela Pró-Reitoria de Cultura e Extensão Universitária (PRCEU) da Universidade de São Paulo.

Referências

- Anazco, M. I. S., & Zurn-Birkhimer, S. (2020). *Using origami and CAD as tools for spatial ability training for first-year female engineering students*. In: Annual Conference and Exposition ASEE, Conference Proceedings, 2020-June. URL: <https://peer.asee.org/using-origami-and-cad-as-tools-for-spatial-ability-training-for-first-year-female-engineering-students>.

Acesso 12.07.2025.

- Bachelard, G. (1996). *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Trad. Esteia dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto. 316p. ISBN 85-85910-11-9.
- Bizzo, N. M. V. (1994). *Metodologia e prática de ensino de ciências: a aproximação do estudante de magistério das aulas de ciências no 1º grau. A prática de ensino e o estágio supervisionado*. Campinas: Papyrus, 1994.
- Boakes, N. J. (2006). *The effect of Origami lessons on student's spatial visualization skills and achievement levels in a seventh grade classroom*. Temple University. (Doctoral Dissert. UMI 3233416). DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4399.6565>.
- Brasil. Ministério da Educação. (2018). *Base Nacional Comum Curricular. Ensino Médio*. Brasília: MEC, Consed, Undime. 651p. URL: <http://bncc.mec.gov.br/>. Acesso 12.07.2025.
- Bresciani, M. L. (2021). *Equity-driven, high achievement, assessment of student learning and development*. Washington, DC: Barker & Taylor Publisher Services, 254. National Association of Student Personnel Administrators (NASPA), Inc. ISBN (e-pub.) 9781948213332.
- Budinski, N., Lavicza, Z., Fenyvesi, K., & Milinković, D. (2020). Developing primary school students' formal geometric definitions knowledge by connecting Origami and Technology. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 15(2). DOI: <https://doi.org/10.29333/iejme/6266>.
- Carvalho, A. M. P. (2007). *Ciências no ensino fundamental: o conhecimento físico*. São Paulo: Scipione.
- Cervato C., & Frodeman R. L. (2014). A importância do tempo geológico: desdobramentos culturais, educacionais e econômicos. Trad. M. C. Briani & P. W. Gonçalves, de Cervato C., & Frodeman, R. L. (2012). The significance of geologic time: cultural, educational, and economic frameworks. *Geol. Soc. Am. Spec. Paper*, (486), 19-27. *Terræ Didactica*, 10(1), 67-79. doi: <https://doi.org/10.20396/td.v10i1.8637389>.
- Chaves, R. S., Moraes, S. S. de, & Lira-da-Silva, R. M. L. (2018). Por que ensinar tempo geológico na educação básica? *Terræ Didactica*, 14(3), 233-244. <https://doi.org/10.20396/td.v14i3.8652309>.
- Futuyma, D. J. (2009). *Biologia Evolutiva* 3, FUNPEC-Editora 2009, p 830, 3ª edição.
- Georgakopoulos, S. V., Zekios, C. L., Sattar-Kaddour, A., Hamza, M., Biswas, A., Clark, B., Ynchausti, C., ..., & Lang, R. J. (2021). Origami Antennas. *IEEE Open Journal of Antennas and Propagation*, 2, p. 1020-1043. DOI: <https://doi.org/10.1109/OJAP.2021.3121102>.
- Hayasaka, E. Y., Nishida, S. M. (2008a). *Ensino de Ciências e Origami*. Botucatu: Museu Escola, Instituto de Biociências de Botucatu, UNESP. URL: <https://museuescola.ibb.unesp.br/subtopico.php?id=4&pag=26&num=7&sub=100>. Acesso 12.07.2025.
- Hayasaka, E. Y., Nishida, S. M. (2008b). *Pequena história sobre Origami*. Botucatu: Museu Escola, Instituto de Biociências de Botucatu, UNESP. URL: <https://museuescola.ibb.unesp.br/subtopico>.

- php?id=4&pag=26&num=7. Acesso 12.07.2025.
- Honda, I. (1988). *The World of Origami*. 15 ed. Tokyo, Japan Publ. Trading Co. 182p. ISBN 0-87040-3833-4.
- Hoffmann, Y. J. (2023). *Origami Tutorial*. Plataforma YouTube. dez./2023. URL: https://www.youtube.com/watch?v=hxkRd8T_wV8. Acesso 12.07.2025.
- Jaeger, A. J., Shipley, T. F., Reynolds, S. J. (2017). The roles of working memory and cognitive load in geoscience learning. *J. Geosci. Educ.* 65(4), 506-518. DOI: <https://doi.org/10.5408/16-209.1>.
- Kaio, F. K. (2020). *ORIKATA: olhando para o passado e desdobrando o futuro*. São Paulo, Departamento de Relações Públicas, Propaganda e Turismo, Escola de Comunicações e Artes, Universidade de São Paulo. (Trab. Concl. Curso). 70p. URL: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/82dd8b27-85a1-4c11-953c-de0f5755bc5c/tc4402-fernando-kayo-orikata.pdf>. Acesso 12.07.2025.
- Kawabata, F., & Shinkosha, S. (2020). 恐竜と古生物の折り紙 (*Origami of dinosaurs and paleontology: Expressing the beauty of creatures that lived in ancient times on paper Japanese Craft Book*), Tokyo, Japão, Seibundo Shinkosha Co. 192p. ISBN 978-4-416-62012-0.
- Kobayashi, M. C. M., Yamada, T. R. U. (2013). Origami e kirigami: arte e cultura como recurso lúdico e educativo. *Revista Ciência Extensão*, 9(3), 148-158. URL: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/338604c1-cb88-4dfc-a596-6384e40a2909/content>. Acesso 12.07.2025.
- Lowry, C. S., Dunkle, K. M., Kairies-Beatty, C. L., Arslan, S., Stahl, M., Bogie, N., & Cuthbert, M. O. (2022), Groundwater origami: Folding paper models to visualize groundwater flow. *Front. Environ. Sci.*, 10, 876853. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.876853>.
- Ludvik, M. B. (2021). *Equity-drive, high achievement, assessment of student learning and development*. Washington, DC: Barker & Taylor Publ. Serv. 266p. (Student Affairs Administrators in Higher Education, NASPA).
- Marcon, G. T. G., Ramos, E. M., Vitkoski, B. F., Fantinel, K. R., & Borba, G. G. K. de. (2023). Os dinossauros vão à escola: uma proposta articulada entre Paleontologia e BNCC para o ensino fundamental. *Cuadernos de Educación Y Desarrollo*, 15(11), 14701-14727. DOI: <https://doi.org/10.55905/cuadv15n11-094>.
- Marji, M. S., Derasid, N. A. C., Musta'amal, A. H., & Jobin, A. A. (2023). Origami as an educational tool and its effect on the development of school students. *Jurnal Scientia*, 12(2). ISSN 2302-0059. DOI: <https://doi.org/10.58471/scientia.v12i02.1370>.
- Martins, J. R. S. & Carneiro, C. D. R. (2023). Como conceber os imensos intervalos do Tempo Geológico? Desvendando a história da Terra. In: Carneiro, C. D. R. (Org.), & Santos, G. C. (Ed. Técnico). (2023). *Explorando a Terra na Educação Básica. v. 1*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Progr. Pós-Grad. Ensino e História de Ciências da Terra. p. 1-32. (Série Ciências da Terra na Educação Básica). ISBN: 978-65-994829-0-8. DOI:

- <https://doi.org/10.20396/ISBN9786599482908>.
- Momotani, Y. 1993. *Origami dinosaurs*. New York: Kodansha Int. 64p. ISBN 1-56836-008-8.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2024). *Space Origami: Make Your Own Starshade. Student project*. Mountain View, Califórnia, NASA. URL: <https://www.jpl.nasa.gov/edu/resources/project/space-origami-make-your-own-starshade/>. Acesso 06.12.2024.
- Norman, D. (2004). Basal Iguanodontia. In: Weishampel, D., Dodson, P., & Osmolska, H. (Eds.) (2004). *The Dinosauria*. Berkeley: University of California Press. pp. 413-437.
- Piaget, J. (1975). *A equilibração das estruturas cognitivas*. Rio de Janeiro: Zahar.
- Ribeiro, R. A. & Zabini, C. (2023). Perguntas no ensino de Geociências: utilizando origamis para falar sobre Paleontologia. In: Carneiro, C. D. R. (Org.), & Santos, G. C. (Ed. Técnico). (2023). *Explorando a Terra na Educação Básica*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas. p. 91-102. (Série Ciências da Terra na Educação Básica, v. 1, Progr. Pós-Grad. Ensino e História de Ciências da Terra). ISBN: 978-65-994829-0-8. DOI: <https://doi.org/10.20396/ISBN9786599482908>.
- Santangelo, C. D. (2020). Theory and practice of origami in science. *Soft Matter*, 16(1), 94-101. DOI: <https://doi.org/10.1039/c9sm01745c>.
- Sepúlveda, C., & El-Hani, C. N. (2008). Adaptacionismo versus Exaptacionismo: o que este debate tem a dizer ao ensino de evolução? Santa Maria: *Ciência & Ambiente*, 19(36), 93-124.
- Shah, S. I. H., Bashir, S., & Koziel, S. (2024). Origami Antennas for Wireless Communication Systems. Cap. 3. In: Shah, S. I. H., Bashir, S., Koziel, S. (Eds.) (2024). *Origami Antenna Applications*. Alemanha: Springer Nature Switzerland, Imprint: Springer. p. 43-54. ISBN 978-3-031-53566-6. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-53566-6>.
- Shumakov, K., & Shumakov, Y. (2000). Functional interhemispheric asymmetry of the brain in dynamics of bimanual activity in children 7-11 year old during origami training. Rostov State University. (PhD thesis). URL: <http://www.oriland.com/oriversity/lecture.php?category=benefits&ID=02>. Acesso 12.07.2025.
- Silva, J. S., Machado, F. B., Teixeira, D. M., & Zafalon, M. M. (2019). A Geologia que não se ensina nos livros didáticos de ciências do 6º ano nas escolas municipais de Maceió, AL, Brasil. *Terræ Didática*, 15(Publ. Continua), 1-7, e19053. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v15i0.8657614>.
- Supple, S., O'Neill, S., Hao, G., & Pentek, A. (2021). Beyond paper folding: origami and focused play to enhance interdisciplinary learning and teaching in universities. *All Ireland Journal of Higher Education*, AISHE-J., 13(3). DOI: <https://doi.org/10.62707/aishe.v13i3.591>.
- Wadsworth, B. (1996). *Inteligência e Afetividade da Criança*. 4 ed. São Paulo: Enio Matheus Guazzelli.
- Wedel, M. J., & Taylor, M. P. (2013). Caudal Pneumaticity and Pneumatic Hiatuses in the Sauropod Dinosaurs Giraffatitan and Apatosaurus. *PLoS One* 8(10), e78213. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0078213>.

A abordagem da Geoética na Educação Ambiental e habilidades na BNCC em Ciências da Natureza

Hermom Reis Silva

Tiago Ribeiro

Clara Vasconcelos

Rosely Aparecida Liguori Imbernon

Introdução: as questões ambientais no Brasil no contexto da Geoética

Ao final da década de 1970, presenciamos o início da discussão sobre questões ambientais no Brasil. Na época, contudo, no contexto da educação, o conteúdo disciplinar de Ecologia era apresentado de forma reduitiva, conforme apontado por Dias (2004). Tal abordagem excluía os cenários sociais, econômicos, políticos, dentre outros.

O Departamento de Ensino Médio do MEC e a Cetesb publicam o documento *Ecologia – uma Proposta para o Ensino de 1º e 2º graus*. Nota-se a tendência reducionista, que ignora os aspectos sociais, econômicos, políticos, culturais, éticos e outros, recomendados na Conferência de Tbilisi (Dias, 2004, p.40).

Lima (2009), ao narrar sobre o período militar do governo brasileiro, no início da década de 1960, descreve a influência política que antecedeu os debates ambientais,

(...) porque a questão ambiental se desenvolvia e subordinava a uma orientação maior de governo de perfil desenvolvimentista, tecnocrático e autoritário, que demarcava claramente o sentido e os limites do que era possível avançar nessa área (Lima, 2009, p.149).

As temáticas Meio Ambiente, Educação Ambiental e Sustentabilidade foram inseridas na educação brasileira a partir da década de 1990, porém, sem apresentar orientações ou planejamento didático-pedagógico para o ambiente da educação formal, as escolas.

(...) pouco foi feito para a sua implantação [da educação ambiental] no sistema de ensino brasileiro após a promulgação da Constituição de 1988. A iniciativa concreta de inserção da educação ambiental no currículo começou com o Ensino Fundamental, com a inclusão do tema transversal “meio ambiente” nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), em 1997 (Holmer, 2020, p. 23).

No final da década de 1990, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), que são documentos norteadores da educação nacional (Brasil, 1997), afirmam:

(...) a questão ambiental vem sendo considerada como cada vez mais urgente e importante para a sociedade, pois o futuro da humanidade depende da relação estabelecida entre a natureza e o uso pelo homem dos recursos naturais disponíveis (Brasil, PCN, 1997, p.11).

De forma gradual, os PCN começavam a incluir no currículo da educação básica a visão holística entre homem e natureza, pois a ação humana sobre a geosfera e suas consequências, como desperdício, poluição, acidentes ambientais etc., levaram à necessidade de reflexões mais profundas sobre a relação Homem *versus* Planeta Terra. Embora ainda não houvesse objetos de aprendizagem que incluíssem a Geoética como um novo campo do saber das Geociências, a abordagem sobre o meio ambiente na educação brasileira já apontava como pontos de reflexão a ação antrópica e os reflexos na geosfera. Tal abordagem pode “influenciar a consciência da sociedade em relação aos problemas relacionados com os georrecursos e o geoambiente” (Mogk & Bruckner, 2014, s.p.).

A definição de Geoética como um campo disciplinar que surgiu na década de 1990 do século XX, com o intuito de salientar a importância dos geólogos na construção de uma sociedade mais sustentável, especialmente no que se refere à exploração dos recursos (Almeida, 2014), aponta para uma nova abordagem da educação ambiental, muito diferente daquela proposta no início da década de 1970. Ainda segundo o autor, esse conhecimento evoluiu e “(...) em pouco mais de vinte anos, o campo da Geoética ampliou-se e incluiu novas preocupações, todas elas associadas à necessidade de assuntos de natureza social, econômica, política e até cultural” (Almeida, 2014, p.35). O autor define a Geoética da seguinte forma:

As geociências desempenham um papel indispensável no funcionamento das sociedades contemporâneas. No entanto, os aspectos tecnológicos associados à aplicação prática do conhecimento geocientífico não devem ofuscar a contribuição fundamental das geociências para a formação do pensamento humano. As geociências não apenas influenciaram, mas continuam a moldar a nossa percepção do mundo, suas inter-relações e evolução (Peppoloni & Di Capua, 2024, p.10).

Os PCN sobre Meio Ambiente e Saúde, em virtude das tendências mundiais, seguiram a orientação geral de relacionar impactos ambientais, sociedade, economia e consumo, produção de lixo/escassez dos recursos naturais, como partes indissociáveis da sustentabilidade. Observamos que na formulação da proposta a palavra “sustentável” é indicada em diversas expressões: desenvolvimento sustentável, economia sustentável, sociedade sustentável e uso sustentável, porém, sem qualquer conotação didática com a prática em sala de aula.

Ao considerarmos a Geoética na educação formal, é necessário compreender os conceitos portais associados à Geoética como estratégia para o desenvolvimento de um ensino com foco na responsabilidade socioambiental, principalmente no que se refere ao uso racional dos recursos naturais. Tal abordagem envolve, sobretudo, reconhecer que o ensino de componentes curriculares em que objetos de aprendizagem tenham foco nas Geociências se remetam, também, a discutir a relação homem natureza (Fig. 1).

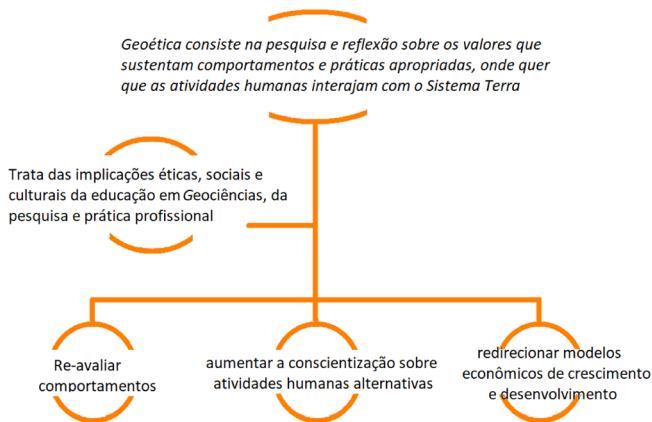


Figura 1. Significado de Geoética. Fonte: Vasconcelos & Imbernon (2023)

A transição dos Parâmetros Curriculares Nacionais para a Base Nacional Comum Curricular

A Lei de Diretrizes e Bases (Brasil, 1997) define que o Governo Federal deverá, em colaboração com os Estados, o Distrito Federal e os Municípios, estabelecer competências e diretrizes para a Educação Infantil, o Ensino Fundamental e o Ensino Médio, que nortearão os currículos e seus conteúdos mínimos, de modo a assegurar formação básica comum. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) começou a ser elaborada em 2015, a partir de uma análise aprofundada dos currículos brasileiros, para substituir os referenciais dos Parâmetros Curriculares Nacionais (Brasil, 1997) vigentes até então. Nesse período, após um longo processo de mobilização nacional em torno da elaboração da BNCC, por meio de várias consultas públicas, finalmente em 2018 a BNCC foi aprovada pelo Conselho Nacional de Educação (CNE) e oficializada pelo Ministério da Educação (MEC) (Brasil, 2017). No contexto da educação básica no Brasil, a educação para o desenvolvimento sustentável se insere nos temas contemporâneos transversais (Brasil, 2017), de acordo com a BNCC, para as etapas da educação infantil e ensino fundamental.

Os Temas Contemporâneos Transversais (TCTs) buscam uma contextualização do que é ensinado, trazendo temas que sejam de interesse dos estudantes e de relevância para seu desenvolvimento como cidadão. O grande objetivo é que o estudante não termine sua educação formal tendo visto apenas conteúdos abstratos e descontextualizados, mas que também reconheça e aprenda sobre os temas que são relevantes para sua atuação na sociedade (Brasil, 2017, p.7).

Os TCT apontam seis macroáreas temáticas (Cidadania e Civismo, Ciência e Tecnologia, Economia, Meio Ambiente, Multiculturalismo e Saúde), englobando quinze Temas Contemporâneos, que afetam a vida humana em escala local, regional e global. A configuração atual dos TCT na BNCC deu-se a partir das demandas sociais que resultaram na formulação de políticas públicas, que asseguram fundamentação e maior grau de exigência e exequibilidade. Os TCT abordados na BNCC são Ciência e Tecnologia; Direitos da Criança e do Adolescente; Diversidade Cultural; Educação Alimentar e Nutricional; Educação Ambiental; Educação para valorização do multiculturalismo nas matrizes históricas e culturais Brasileiras; Educação em Direitos Humanos; Educação

Financeira; Educação Fiscal; Educação para o Consumo; Educação para o Trânsito; Processo de envelhecimento, respeito e valorização do Idoso; Saúde; Trabalho e Vida Familiar e Social (Brasil, 2017, p. 19). Assim, os TCT atuam como eixo unificador, em torno do qual organizam-se as disciplinas, devendo ser trabalhados de modo coordenado e não como um assunto descontextualizado nas aulas. Ao professor, ao abordar um dos TCT, o que importa é que os alunos possam construir significados e conferir sentido àquilo que aprendem.

No tocante à inserção da Geoética nos TCT, partimos da premissa de que, devido ao fato de centrar-se nas relações entre seres humanos, a ética tradicional é “insuficiente para pensar todo o quadro das transformações ambientais encetadas e os próprios caminhos da sustentabilidade” (Vasconcelos & Almeida 2014, p.3). Para além de tal perspectiva, que envolve questões éticas, a Geoética permite perceber a Terra como um sistema, em que o solo é considerado um sistema vivo, merecedor de consideração moral. De fato, entre a década de 1990 e início do século XXI, emergem as primeiras discussões envolvendo a Geoética, que abordavam, principalmente, questões relacionadas ao uso racional dos recursos naturais.

- A utilização racional e sustentável dos nossos georrecursos;
- a organização de ferramentas de ensino eficazes para desenvolver a consciência, os valores e o comportamento correto;
- a identificação de novos elementos, tanto em termos de conteúdos e atividades, que podem ser direcionados para novas relações e visões culturais e éticas;
- a transferência dos valores culturais do meio ambiente para aqueles que o habitam; (Peppoloni & Di Capua, 2012, p.336).

Ao longo dos últimos anos, a Geoética tem sido discutida no sentido de promover um ensino em prol de uma:

(...) sociedade ambiental (...), econômica e socialmente sustentável para garantir a continuidade da espécie humana sem comprometer o futuro de gerações e dinâmica do planeta (Ribeiro & Orion 2021, p.1).

Entretanto, foi na Educação Ambiental (EA) e na Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS) que a Geoética encontrou maior aderência aos debates e questões globais pois, como apontam Vasconcelos et al. (2023, p.3), “(...) a geoética deve ser incluída nos currículos escolares para que possa ser cada vez mais praticada pelo maior número possível de cidadãos”.

As habilidades da BNCC para Ciências da Natureza, quando envolverem práticas contextualizadas dos TCT, como meio ambiente, orientam ao desenvolvimento de habilidades para o Ensino Fundamental 2 (6º ao 9º ano), todavia relacionadas com poluição, cultura do lixo e descarte consciente, mudanças climáticas e ambientais para compreensão de refugiados/imigrantes, entre outras voltadas para o consumo (Tab. 1).

No que se refere ao desenvolvimento de habilidades e competências, a BNCC exclui a EA para além de resoluções de problemas ambientais, como anteriormente era apresentado como trabalho didático nos PCN para Meio Ambiente, em prol da *conscientização ambiental*, conforme observado por Oliveira & Barbosa (2020)

(...) a BNCC não cita a Educação Ambiental como princípio necessário para o desenvolvimento das competências gerais e habilidades no Ensino Fundamental, mas faz referência à promoção da consciência socioambiental e do consumo responsável (Oliveira & Barbosa, 2020, p.327).

A versão da BNCC relacionada à EA como tema transversal contempla as questões ambientais de modo expressivo no Ensino Fundamental 2 (6º ao 9º ano), embora restritas especificamente ao ensino de Ciências da Natureza. Sugere-se que a integração promova a formação cidadã, mediante o cruzamento dos demais temas transversais.

Assim, espera-se que a abordagem dos Temas Contemporâneos Transversais (TCT) permita ao estudante compreender questões diversas, tais como cuidar do planeta, a partir do território em que vive; administrar o seu dinheiro; cuidar de sua saúde; usar as novas tecnologias digitais; entender e respeitar aqueles que são diferentes e quais são seus direitos e deveres como cidadão, contribuindo para a formação integral do estudante como ser humano, sendo essa uma das funções sociais da escola (Brasil, 2019, p.4).

Quando analisamos o conceito de Geoética, apresentado anteriormente, as habilidades propostas na BNCC, ainda que limitadas ao ensino de Ciências da Natureza, promovem uma evolução no conceito homem/natureza em que todas as esferas, sociais, econômicas, culturais etc., observadas de forma conjunta, podem promover ações socioambientais e a sustentabilidade, como aponta a BNCC (2018) para o ensino de Ciências da Natureza.

Tabela 1. Interdisciplinaridade na BNCC: Habilidades em Ciências da Natureza e os TCT (BNCC 2019, p.12)

Habilidades da BNCC	Práticas Contextualizadas com TCT
(EF06CI04) Associar a produção de medicamentos e outros materiais sintéticos ao desenvolvimento científico e tecnológico, reconhecendo benefícios e avaliando impactos socioambientais.	EA – Apresentar os danos possíveis oriundos do descarte inadequado de remédios vencidos ou não, nos lixões ou vaso sanitário e o que podem causar ao meio ambiente e à saúde humana. As – Exemplificar a tipologia dos fármacos, seus princípios ativos e reações no organismo humano.
(EF07CI08) Avaliar como os impactos provocados por catástrofes naturais ou mudanças nos componentes físicos, biológicos ou sociais de um ecossistema afetam suas populações, podendo ameaçar ou provocar a extinção de espécies, alteração de hábitos, migração etc.	EA – Levar o conhecimento da existência de refugiados climáticos e/ou ambientais. C&T – Apresentar aos estudantes os mecanismos disponíveis para medição e mitigação de catástrofes naturais.
(EF08CI04) Calcular o consumo de eletrodomésticos a partir dos dados de potência (descritos no próprio equipamento) e tempo médio de uso para avaliar o impacto de cada equipamento no consumo doméstico mensal.	EA – Entender os rótulos dos equipamentos eletrodomésticos e os códigos de consumo e eficiência energética. Aprender a usar cada um adequadamente, como, por exemplo, não passar roupa todo dia, juntar e passar todas de uma só vez, bem como uso da máquina de lavar roupas, não ficar muito tempo no chuveiro etc. EFs – Conhecer e calcular o valor dos impostos e tributos presentes na conta de energia elétrica.
(EF09CI13) propor iniciativas individuais e coletivas para a solução de problemas ambientais da cidade ou da comunidade, como base na análise de ações de consumo consciente e de sustentabilidade bem-sucedidas.	EA - Estimular a adoção de medidas de redução do consumo, como, por exemplo, o tempo no banho, apagar luzes em ambiente vazios etc. EFm – Comparar o que ocorreu com mudanças significativas na conta de água e energia após a adição de medidas de redução do consumo, para sensibilizar os estudantes sobre pequenas atitudes que podem ter um impacto positivo financeiramente.

Contempla-se, também, o incentivo à proposição e adoção de alternativas individuais e coletivas, ancoradas na aplicação do conhecimento científico, que concorram para a sustentabilidade socioambiental. Assim, busca-se promover e incentivar uma convivência em maior sintonia com o ambiente, por meio do uso inteligente e responsável dos recursos naturais, para que estes se recomponham no presente e se mantenham no futuro (Brasil, 2018, p.327).

Assim, ao propor projetos escolares, com envolvimento tanto dos atores da escola quanto da comunidade, familiares etc., o professor desenvolverá as habilidades pretendidas e a conscientização ambiental apontada, para além do desenvolvimento dos objetos de aprendizagem e conteúdos disciplinares definidos para cada seriação, em acordo com a BNCC.

Geoética em projetos escolares para desenvolver a consciência ambiental na escola

De acordo com as orientações da BNCC (2018) para Ciências da Natureza, verificamos que o uso de projetos contribui para “(...) desenvolver ações de intervenção para melhorar a qualidade de vida individual, coletiva e socioambiental” (Brasil, 2018, p.323).

O desenvolvimento de atividade realizada em roda de conversa em uma escola pública do Estado de São Paulo, para alunos dos 7º e 8º anos do Ensino Fundamental 2, relacionada às questões ambientais com abordagem da Geoética e do uso racional do solo, pretendeu desenvolver habilidades a partir da abordagem das Geociências no âmbito das Ciências da Natureza.

Participaram da roda de conversa 32 alunos, sendo 26 do 8º ano e 6 do 7º ano, de forma espontânea, e previamente autorizados pelos responsáveis legais. A abordagem, sobretudo na temática de valorização do solo, pretendeu consolidar a consciência ambiental, como previsto pelos TCT e pela BNCC. No decorrer de um ano, no projeto de uso racional e proteção do recurso natural solo, desenvolveram-se intervenções por meio da construção da horta e do jardim na escola, como atividades práticas do projeto, e concomitantemente aulas de laboratório para monitorar a qualidade do solo.

No período de implantação da horta e do jardim, vários objetos de aprendizagem com foco em Geociências, presentes nas BNCC para Ciências da Natureza, fizeram parte de rodas de conversa e aulas de

laboratório, desenvolvendo as competências e habilidades pretendidas, e, também, promovendo o desenvolvimento de habilidades e competências não cognitivas, como atuação em trabalho coletivo, orientação de colegas para execução das atividades práticas, organização do tempo para realização das atividades, liderança de grupos de trabalho, dentre outras. Os alunos formados nas turmas de 7º e 8º anos foram os multiplicadores do conhecimento geocientífico nos projetos de uso racional do solo, para o programa de inclusão dos alunos de 3º e 4º ano do ensino fundamental 1, na mesma escola.

Ao adotarmos alunos de séries finais para desenvolver o projeto com os alunos das séries iniciais, encontramos uma sinergia de trabalho didático positiva. Ao final do ano de 2023, os alunos multiplicadores foram convidados para explanar sobre a experiência de participarem do projeto, por meio de roda de conversa. O diálogo direcionado à experiência de atuação no projeto, como aprendizes e multiplicadores, buscou avaliar o desenvolvimento das competências pretendidas para a conscientização ambiental do grupo de alunos. Para a realização dos diálogos em roda de conversa adotou-se a forma livre de conversação, tendo sido destacados quatro tópicos temáticos:

- Mudanças de hábitos como: *poluir, desperdício, degradação do meio ambiente e os georrecursos nele disponíveis.*
- Intervenções discentes: *em propostas de projetos ambientais desenvolvidas pelos alunos para promover a transformação do entorno escolar, discutir o lixo nas ruas e nos bairros dos alunos.*
- A experiência de multiplicar o conhecimento: *contribuindo e compartilhando o conhecimento sobre o meio ambiente a partir do solo.*
- A importância desse conhecimento: *para além dos muros escolares.*

Posteriormente, as respostas foram tabuladas em seis categorias:

- Relação do conhecimento da pesquisa com o meio ambiente, para além do solo.
- Relação da pesquisa com a consciência ambiental.
- Reconhecimento do solo como recurso natural.
- A questão do lixo, coleta seletiva e o solo.
- O que mudou em sua vida com o conhecimento da pesquisa.
- O protagonismo dos alunos na pesquisa.

A condução dos diálogos, a gravação e a tabulação das respostas, conforme as categorias, foram realizadas pelo professor/pesquisador/

autor, para a análise dos aspectos que envolveram o desenvolvimento das habilidades relacionadas à consciência ambiental, à mudança de hábitos e à tomada de decisão dos alunos participantes. As rodas de conversa e gravações ocorreram um ano após as atividades dos alunos multiplicadores, e os diálogos, após transcrição, foram tabulados segundo as seis categorias classificadas na Tabela 2.

Análise da classificação a partir das rodas de conversa

Os registros gravados e classificados apontaram as mudanças de hábito em relação à poluição e aos impactos ambientais promovidos com o descarte irracional do lixo, para resolução e prevenção de problemas ambientais vivenciados na escola pelos alunos. Adotou-se Freire (1979), como referencial para a análise dos diálogos. O autor discute a construção da conscientização socioambiental a partir de modelos de trabalho (Fig. 2).

O homem chega a ser sujeito por uma reflexão sobre sua situação, sobre seu ambiente concreto. Quanto mais refletir sobre a realidade, sobre sua situação concreta, mais emerge, plenamente consciente, comprometido, pronto a intervir na realidade para mudá-la (Freire, 1979, p.19).

No que se refere à abordagem da Geoética, com o objetivo de construir uma realidade em que não haja separação entre o homem e a natureza, citamos o diálogo do aluno ... *a gente tem memórias... da primeira terra até agora, a planta cresce a gente cresce junto*. Quanto à construção de um conhecimento crítico e reflexivo, sobretudo em relação à evo-



Figura 2. Rodas de conversa para discussão de questões ambientais a partir da atuação como multiplicadores (monitoria) nos projetos

Tabela 2. Classificação dos diálogos com os alunos multiplicadores após realização da roda de conversa

Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4	Categoria 5	Categoria 6
Aprendemos a cuidar melhor do meio ambiente.	Sobre ter consciência do meio ambiente e da natureza e dos perigos que a gente fazia como jogar lixo no chão sem pensar.	Aprendi a diferenciar os tipos de solo e ensinar para as crianças foi muito legal.	Toda vez que eu jogo um papel no chão eu sinto um peso em minha mente	Eu comecei ajudar minha mãe com as plantas e como plantar.	É importante ensinar as crianças para elas não cometerem os mesmos erros que nós fazíamos.
A gente tem memórias, cresce com as plantas e lembra tudo do que já passamos, momentos bons e ruins, da primeira terra até agora, a planta cresce a gente cresce junto.	Eu tenho consciência de ver o que é errado, como jogar lixo no chão e corrigir	A partir do momento em que a gente aprendeu sobre o solo devemos levar para a vida, eu parei de jogar lixo no chão.	Se eu olhar minha mãe jogando lixo no chão eu corrijo, eu não jogo mais lixo no chão.	Eu não tinha intimidade com o meu pai, comecei a conversar com ele porque ele tem várias plantas, além de ajudar no cuidado delas eu ensinei algumas técnicas para ele.	Para nós antigamente o papelão e outras coisas não servia para nada, a gente simplesmente jogava no lixo, hoje em dia a gente vê que podemos fazer várias coisas com ele.
O plantio me lembra amor a todos, natureza e meio ambiente é tudo, prédios, tudo, a gente é natureza, então me lembra de amor, paz e harmonia no mundo inteiro.	Aprendi a ter mais consciência eu jogava muito lixo no chão, porque não sabia e nem queria saber, eu comecei a pensar em mim e no próximo, quando eu evito de jogar um papel no chão eu já estou ajudando o próximo.	Ao tocar no solo as crianças descobriam um novo mundo, era nítido a alegria nos olhares.	Minha tia e eu comemos uma coisa e ela disse vamos jogar ali no chão, eu disse não podemos jogar lixo no chão eu falei do meu aprendizado sobre o solo e ela se desculpou.	Eu ajudei a minha mãe diferenciar a planta do mato, deixamos tudo bontinhos, eu estou muito feliz por ajudar e saber o que eu estou fazendo.	Nosso projeto é importante para mim, para ajudar a escola e sermos a diferença
O plantio me lembra a natureza, meio ambiente e o lixo que a gente jogava prejudica a nós mesmo e agora estamos sofrendo com as temperaturas altas.	Sempre foi errado, eu nunca joguei lixo no chão, mas não me importava se as pessoas jogassem lixo no chão, depois das aulas comecei a falar com elas para não jogar mais	Ao descobrir que o solo é mais do que terra e o seu valor as crianças ficavam muito felizes.	Temos que se importar com o nosso solo, cuidar e não jogar mais lixo no chão.	Comecei ajudar a minha mãe com suas plantas no cuidado	Eu achei interessante a participação deles e o carinho deles retribuindo com abraços, feliz em nos ver
O desperdício que a gente faz é fatal para natureza.		Compartilhamos o conhecimento com as crianças que realizaram descobertas ao verem os diferentes tipos de solos e seu valor.		Em casa a gente ensina as crianças a separar o lixo e a reutilizar recipientes para plantar. Eu ajudo minha vó com as plantas.	Ver eles felizes da mais vontade de continuar sendo exemplo
Além de plantar a gente aprende o que é bom para viver. E as crianças quando aprendem se sentem felizes.	Estou orgulhosa de todos nós por ter ensinado as crianças, ver a felicidade delas ao ensinar a fazer o que nós não fazíamos antes, ajudar o meio ambiente, a gente só piorava a situação.		O lixo é passado de geração a geração, estou feliz por saber que ensinei vidas de crianças na escola a proteger o meio ambiente me sinto orgulhosa, e pelo próprio professor que nos ensinou	Eu me sinto orgulhoso em falar algo que eu já deveria ter falado e saber, principalmente por que as crianças é o nosso futuro	
Cuidar do solo, do plantio, natureza é vida, daqui a pouco se eu não cuidar eu vou sofrer com isso	O plantio além do conhecimento traz um pouco de fé, vontade de aprender, e humanidade é muito bom estar lá e se envolver com as crianças e ensinar.	Para as crianças e para nós o solo não era nada, depois da descoberta do solo vem a alegria e se a gente tivesse essas aulas quando criança o mundo estaria melhor.		A minha família sempre jogava lixo no chão, um dia eu dei uma aula para eles e pararam de fazer isso.	A partir do momento em que eu tive essas aulas conversei com o grêmio par fazer as lixeiras de coleta seletiva
O plantio é um exemplo ensinou que até nos lugares que não nascem nada, pode nascer coisas belas, por mais que seja um espaço que ninguém usa sempre tem uma brecha que a gente pode fazer algo grande.			Nem todo lixo deve ser jogado, podemos reciclar e utilizar para fazer várias coisas.	Aprendemos o valor das coisas que a gente achava que não tinha importância.	Gostamos de cuidar do que plantamos é como uma terapia, quando eu estou no plantio eu penso mais em mim e na vida.
Eu lembro do quanto as pessoas se preocupam mais com redes sociais do que cuidar do que está em volta delas como o meio ambiente.	O plantio é um seguimento, se um começar a fazer o outro continua e assim fazemos a diferença.	Conhecer os diversos tipos de solo e poder ensinar é muito gratificante.		Mesmo algumas pessoas tendo essas aulas e jogando papel no chão, ainda assim a pesquisa ajudou o meio ambiente	
Tudo é natureza, os prédios o plantio, nós somos natureza.				Racionais já diziam que até no lixão pode nascer flor, cuidar de uma planta é cuidar de si mesmo, do próximo, lembra o amor, é sempre colocar você e o próximo acima.	Eu tive aula sobre horta na creche e nunca mais esqueci, participar dessa experiência com as crianças foi um compartilhamento do meu conhecimento.

lução da consciência ambiental, após a participação no projeto como alunos e depois como monitores, os alunos multiplicadores mostram preocupação constante com o meio ambiente (...) *O plantio me lembra a natureza, meio ambiente e o lixo que a gente jogava e prejudica a nós mesmos, agora estamos sofrendo com as temperaturas altas.*

Quanto ao tema Meio Ambiente/Natureza e o homem como agente geológico, percebemos a complexidade do conhecimento quando o diálogo inclui o homem como parte da natureza, (...) *tudo é natureza, os prédios, o plantio, nós somos natureza.* A temática do solo e o plantio, no que se refere às intervenções realizadas na horta, no jardim, e as práticas do laboratório de solos, contribuíram para o desenvolvimento da consciência ambiental, em que a visão de mundo foi (re)construída. De acordo com Santos et al. (2023, p.22-23, grifos do original), (...) *sua visão de mundo não é sua, mas a que vem de fora, do dominador. É dela que surge a cultura do silêncio.*

Percebeu-se nos diálogos reproduzidos nas rodas de conversa que o rompimento desse “silêncio” ocorreu durante a pesquisa, conforme os diálogos de alguns alunos:

Além de plantar a gente aprende o que é bom para viver. E as crianças quando aprendem se sentem felizes. Aluno1. Cuidar do solo, do plantio, natureza é vida, daqui a pouco se eu não cuidar eu vou sofrer com isso. Aluno 2.

Os diálogos dos alunos corroboram Gumes (2005) que aponta que:

(...) a consciência tem sua origem no processo mental do sujeito a partir de reconstruções internas, que dependem das implicações ou disposições sociais para essas construções (Gumes, 2005, p.349).

Refletindo sobre o diálogo do aluno 3, (...) *eu tenho consciência de ver o que é errado, como jogar lixo no chão e corrigir*, essa ação, bem como o valor ambiental sobre ela, pode ser algo nato ao educando. Entretanto, é perceptível que a ação foi potencializada pela participação do aluno no projeto. Assumimos que a conscientização é anterior à ação, mas em uma via de mão dupla na qual esta promove aquela (Gumes, 2005, p.349). O desenvolvimento de ações práticas/teóricas, como realizado no projeto, envolveu reflexões sobre os problemas ambientais locais, que contribuíram para o desenvolvimento da conscientização socio-ambiental em uma perspectiva global.

Sobre o reconhecimento dos alunos na construção do conhecimento sobre o cuidado com o meio ambiente, um pensamento unânime entre eles foi repetido por vários alunos, que o certo é compartilhar esse conhecimento, não só para as crianças, mas para todo mundo. Assim, durante o desenvolvimento do projeto sobre uso racional de um recurso natural, ao desenvolverem competências a partir do conhecimento geocientífico, o educando rompe com a cultura em que seja “natural” poluir, sujar, degradar etc. O aluno percebe que a atuação do homem sobre a geosfera deve romper com modelos tradicionais de que o planeta é tanto provedor de recursos quanto receptor de rejeitos, e desenvolve habilidade de conscientização ambiental na perspectiva da Geoética.

Na medida em que os homens tornam uma atitude ativa na exploração de suas temáticas, nessa medida sua consciência crítica da realidade se aprofunda e anuncia estas temáticas da realidade (Freire, 1979, p.19).

Ressalta-se o diálogo em que o aluno relata (...) *aprendi a ter mais consciência, eu jogava muito lixo no chão, porque não sabia e nem queria saber, eu comecei a pensar em mim e no próximo*. Assim, nos diálogos reproduzidos, observa-se que as habilidades propostas pela BNCC para meio ambiente foram desenvolvidas durante a participação dos alunos no projeto e, ao participarem como multiplicadores, os mesmos alunos puderam refletir sobre sua atuação como cidadãos, o que atende às orientações da BNCC, além de fortalecer os valores ambientais.

Resultados

A avaliação final do projeto mostrou que os alunos, ao reconhecerem o solo como recurso natural, para além do conceito de terra, chão ou similar, incluíram outras temáticas ambientais, conforme o trecho a seguir

A partir do momento em que a gente aprendeu sobre o solo devemos levar para a vida. Aluno 2.

O reconhecimento do solo como recurso, e sua importância para vida e meio ambiente, para uma grande parte da sociedade é imprescindível. Portanto, a descoberta desse valor, sobretudo na educação, é uma abordagem que permite diferentes tipos de intervenção, apontadas pelos alunos multiplicadores:

Para as crianças e para nós o solo não era nada depois da descoberta do solo vem a alegria; ao tocar no solo as crianças descobriam um novo mundo era nítido a alegria nos olhares.

A descoberta condicionada à alegria de participar do processo do conhecimento é apontada por Freire (1996, p.72), (...) *há uma relação entre alegria necessária à atividade educativa e a esperança*, e este sentimento contribuiu na tomada de decisões dos alunos em relação ao problema presente em quase todas as escolas: o lixo.

Quanto mais conscientização, mais se “desvela” a realidade, mais se penetra na essência fenomênica do objeto, frente ao qual nos encontramos para analisá-lo (Freire, 1979, p.15).

Uma realidade presente em quase todas as escolas é a cultura do lixo, por vezes imperceptível, por vezes “normalizada”, por vezes uma problemática sem solução. A ação é reconhecida pelos alunos como cultural, (...) *o lixo é passado de geração a geração (...)*. (Aluno 6). Entretanto, a partir da conscientização ambiental presenciamos a mudança gradual da realidade:

(...) estou feliz por saber que ensinei vidas de crianças na escola a proteger o meio ambiente me sinto orgulhosa.
(...) aprendemos o valor das coisas que a gente achava que não tinha importância.
(...) temos que se importar com o nosso solo, cuidar e não jogar mais lixo no chão.
(...) eu nunca joguei lixo no chão, mas não me importava se as pessoas jogassem lixo no chão, depois das aulas comecei a falar com elas para não jogar mais. (Reprodução das falas de vários alunos do grupo de multiplicadores).

Os relatos presentes nas falas dos alunos nos permitem afirmar que as ações educativas envolvendo a reflexão sobre a ação permitiram uma mudança de valores, como aponta Freire (1979) em que o aluno, “(...) quanto mais refletir sobre a realidade, sobre sua situação concreta, mais emerge, plenamente consciente, comprometido, pronto a intervir na realidade para mudá-la” (Freire, 1979, p.19).

Conforme analisamos os diálogos, pudemos observar que houve compreensão sobre a questão do lixo e seus efeitos negativos, principalmente no tocante à autonomia discente em se posicionar referente à separação dos resíduos sólidos. Assim, as competências pretendidas na BNCC foram reafirmadas:

(EF05CI03) Selecionar argumentos que justifiquem a importância da ...conservação dos solos, dos atmosférico.

(EF05CI04) (...) discutir e propor formas sustentáveis de utilização desses recursos.

(EF05CI05) Construir propostas (...). mais consciente e criar soluções tecnológicas para o descarte adequado e a reutilização ou reciclagem de materiais consumidos na escola e/ou na vida cotidiana (Brasil, 2019, p.340).

O protagonismo dos alunos como multiplicadores no desenvolvimento da consciência ambiental em colegas das séries iniciais mostrou que tal prática ratifica conceitos, competências e habilidades pretendidas pela BNCC, para além de propiciar aos alunos a oportunidade de refletir sobre sua própria atuação na sociedade.

(...) é preciso contextualizá-lo, trazê-lo à realidade, para que haja reflexão, e dela a conscientização e as ações necessárias (Gumes, 2005, p.352).

Para além de competências cognitivas, ao desenvolver novos valores em relação ao meio ambiente, identificamos o desenvolvimento de competências não cognitivas, que se relacionam ao TCT e à formação do cidadão.

Discussão

No estudo de caso apresentado, a conscientização ambiental se desenvolveu, muito provavelmente, a partir da contextualização entre o sujeito/aluno e o objeto/conhecimento geocientífico/meio ambiente. A participação dos alunos como monitores se mostrou uma prática de consolidação das habilidades pretendidas, e de reflexão sobre comportamentos geoéticos em relação ao meio ambiente (Terra), observados em diálogos como: *é importante ensinar as crianças para elas não cometerem os mesmos erros que nós fazíamos.*

A construção desse saber, bem como a interação do aluno com o meio social, de forma crítica, reflexiva e participativa, envolvendo as intervenções durante a pesquisa e a autonomia discente, constituem um princípio básico para mudar a realidade local, como a cultura do lixo. Conforme Gumes (2005, p.352), alterar a realidade é possível. Partindo desse princípio, tudo o que se deseja utilizar para a conscientização precisa ser contextualizado e identificado dentro da realidade com que se deseja trabalhar.

No tocante às discussões ambientais, a BNCC inclui os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela ONU a partir da Agenda 2030 (ONU, 2015). Os ODS incluem economia e a política mundial em um diálogo para equacionar as ações entre o homem/uso e ocupação da geosfera. Vasconcelos et. al (2023, p.4) apontam que as relações antropocêntricas, referentes a exploração, poluição, extinção, entre outros dos georrecursos, devem ser revistas:

O comportamento humano mudou e continua a mudar a evolução da dinâmica da Terra. Todavia, a preocupação com as mudanças que o comportamento humano provoca no equilíbrio dinâmico do planeta pode ser considerada um preâmbulo à atual definição de Geoética. (Vasconcelos et al. 2023, p.4)

A inovação curricular na abordagem dos objetos de aprendizagem em Geociências definidos pela BNCC (2018), a partir do Currículo de Ciências da Natureza, sobretudo na abordagem conceitual de sustentabilidade entre homem e natureza, e nos TCT (Brasil, 2009), discutidos sobre a perspectiva da Geoética, foram avaliados na educação formal. Entretanto, em contrapartida à EA, na BNCC, não assume o caráter transversal como sugeria as orientações presentes no PCN (1998, p.21),

Os conteúdos de Meio Ambiente serão integrados ao currículo através da transversalidade, pois serão tratados nas diversas áreas do conhecimento, de modo a impregnar toda a prática educativa e, ao mesmo tempo, criar uma visão global e abrangente da questão ambiental. (PCN, 1998 p. 21).

Todavia, a BNCC (2018, p.19) orienta as redes de ensino e os educadores que:

(...) cabe aos sistemas e redes de ensino, assim como às escolas, em suas respectivas esferas de autonomia e competência, incorporar aos currículos e às propostas pedagógicas a abordagem de temas contemporâneos que afetam a vida humana em escala local, regional e global, preferencialmente de forma transversal e integradora (BNCC, 2018 p. 19).

Ao inserirmos a Geoética no contexto da educação ambiental para o ensino fundamental, concordamos com Vasconcelos & Almeida (2014, p.1) quando afirmam que (...) *a (Geo)ética é um caminho para a sustentabilidade*. Assim, tal afirmação é coerente com o Currículo Pau-

lista de Ciências da Natureza (São Paulo, 2019), para a compreensão do conceito de sustentabilidade, que:

(...) pressupõe que os alunos, além de entenderem a importância da biodiversidade para a manutenção dos ecossistemas e do equilíbrio dinâmico socioambiental, sejam capazes de avaliar hábitos de consumo que envolvam recursos naturais e artificiais e identifiquem relações dos processos atmosféricos, geológicos, celestes e sociais com as condições necessárias para a manutenção da vida no planeta (São Paulo, 2019 p. 331).

Assim, conforme as orientações curriculares, as afirmações socioambientais elucidam o conceito de Geoética, embora de forma não explícita, sobretudo quando nos remetemos ao desenvolvimento de uma consciência ambiental. Com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento desse processo, a abordagem metodológica partiu da construção dos conceitos de “valor”, definindo como *valor intrínseco ao ambiente natural e aos seus conteúdos não humanos* (Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2023). Mas, para potencializar as relações entre o valor dado pela sociedade aos recursos naturais, com especial atenção ao solo, apontamos Mogk & Bruckner (2014) que afirmam que a Geoética

(...) fornece uma referência e diretrizes de comportamento na abordagem de problemas concretos da vida humana, tentando encontrar soluções socioeconômicas compatíveis com o respeito pelo ambiente e a proteção da Natureza e da Terra (Mogk & Bruckner, 2014, s.p.).

Assim, ao introduzirmos a Geoética nesse debate com os alunos, potencializamos o conhecimento e a percepção da sustentabilidade com valores ambientais. Da mesma forma, a BNCC (Brasil 2018, p. 11) reforça em sua 7ª competência geral que esses(as) educando(as) tenham

(...) um novo olhar sobre o mundo que os cerca, como também façam escolhas intervenções conscientes e pautadas nos princípios da sustentabilidade e do bem comum (BNCC, 2018, p.323).

No que se refere aos TCT, propõe-se aos alunos valores atitudinais, nas relações com o meio ambiente, como sugerido na BNCC:

(...) implementar soluções e avaliar sua eficácia para resolver problemas cotidianos. Desenvolver ações de intervenção para melhorar a qualidade de vida individual, coletiva e socioambiental (BNCC, 2018, p.323)

Assim, quando o professor desenvolve o tema “uso racional do solo” em suas aulas, assume uma abordagem pedagógica das Geociências, envolvendo as questões ambientais sob a perspectiva da Geoética. Em paralelo, tal postura coloca em destaque as grandes responsabilidades dos geocientistas, em qualquer uma de suas áreas de atuação, e acentua as importantes repercussões sociais, culturais e econômicas de suas escolhas perante a sociedade (Peppoloni & Di Capua, 2012, p.335).

Conclusão

A transversalidade da Geoética na adaptação curricular, associada aos demais TCT, a partir da abordagem de conteúdos envolvendo Geociências, pode contribuir para:

(...) a análise crítica da utilização dos nossos recursos naturais, para promover a informação correta sobre os perigos naturais e o desenvolvimento de tecnologias amigas do ambiente, alargando ao mesmo tempo os seus princípios para a proteção planetária (Peppoloni & Di Capua, 2012, p.335).

Ao incluir a Geoética no contexto das intervenções propostas neste estudo, alinhamos propostas curriculares à promoção da educação ambiental na perspectiva do desenvolvimento sustentável, em conformidade com as propostas do Currículo Paulista para Educação Infantil e Ensino Fundamental (São Paulo, 2019, p. 36) para além de criar “espaços” em que o aluno(a) possa “(...) compreender melhor o ambiente, numa perspectiva ecológica e social” e, no contexto da formação socioambiental e da cidadania, que contribua para “(...) avaliar os impactos ambientais nas áreas do trabalho, da tecnologia, da produção de energia, da sustentabilidade” (Brasil, 1999).

No que se refere à inserção da Geoética aos TCT, partimos da premissa de que a ética tradicional, centrada nas relações entre seres humanos, é insuficiente para pensar todo o quadro das transformações ambientais encetadas e os próprios caminhos da sustentabilidade (Vasconcelos & Almeida, 2014, p.3), e para além de tal perspectiva, que envolve questões éticas, a Geoética permite perceber a Terra como um sistema, em que o solo é considerado um sistema vivo, merecedor de consideração moral.

Referências

- Almeida, A. (2014). *Geoética no Currículo e na Formação de Professores*. Lisboa: Curso FOCO Geologia e Sustentabilidade. (GEOlogos nº11). URL: <https://repositorio.ipl.pt/bitstreams/3f923da6-ff23-43cc-bd8e-fd5ebd8b8cfd/download>. Acesso 29.07.2025.
- Barbosa, G. S., & Oliveira, C. T. de. (2020). Educação Ambiental na Base Nacional Comum Curricular. Rio Grande: *Rev. Eletrônica Mestr. Educ. Ambient.*, 37(1), 323-335. (Seção Esp.: XI EDEA - Encontro e Diálogos com a Educação Ambiental). URL: <https://periodicos.furg.br/remea/article/download/11000/7312/33644>. Acesso 23.07.2025.
- Blum, W. E. H. (2005). Functions of soil for society and the environment. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 4, 75-79. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11157-005-2236-x>.
- Brasil. (1999). *Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a Educação Ambiental. Institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências*. Brasília: Casa Civil. URL: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19795.htm. Acesso 17.05.2024.
- Brasil. Ministério da Educação. (2017). *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília, DF: MEC. URL: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/download-da-bncc/>. Acesso 22.02.2024.
- Brasil. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. (2012). *Resolução CNE/CP nº 2, de 15 de junho de 2012. Estabelece as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Ambiental*. Brasília: MEC/CNE. URL: http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/rcp002_12.pdf. Acesso 17.07.2025.
- Brasil. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. (1998). *Parâmetros Curriculares Nacionais: terceiro e quarto ciclos do Ensino Fundamental: apresentação dos temas transversais*. Brasília: MEC/SEF. URL: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ttransversais.pdf>. Acesso 29.07.2025.
- Brasil. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. (1997). *Parâmetros curriculares nacionais: meio ambiente, saúde*. Brasília: Secretaria de Educação Fundamental / MEC. 128p. URL: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/livro091.pdf>. Acesso 23.07.2025.
- Dias, G. F. (2004). *Educação Ambiental: princípios e práticas*. 9 ed. São Paulo: Gaia.
- Food and Agriculture Organization (FAO) and Intergovernmental Technical Panel on Soils (ITPS). (2015). *Status of the World's Soil Resources (SW/SR). Main Report*. Rome, Italy. FAO and ITPS/ONU. ISBN 978-92-5-109004-6. URL: www.fao.org/publications. Acesso 29.07.2025.
- Gumes, S. M. L. (2005). *Construção da Conscientização Sócio-Ambiental: Formulações teóricas para o desenvolvimento de Modelos de Trabalho*.

- Ribeirão Preto: *Paidéia*, 15(32). DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-863X2005000300004>
- Lima, G. F. C. (2009). Educação ambiental crítica: do socioambientalismo às sociedades sustentáveis. São Paulo: *Educação e Pesquisa*, 35(1), 145-163. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-97022009000100010>.
- Mogk, D. & Bruckner, M. (2014). Teaching GeoEthics Across the Geoscience Curriculum. In: *Teaching GeoEthics Across the Curriculum workshop*. Carleton: NAGT On the Cutting Edge Collection. Strong Undergraduate Geoscience Teaching. URL: <https://serc.carleton.edu/geoethics/index.html>. Acesso 30.11.2025.
- Organização das Nações Unidas (ONU). (2015). *Agenda 2030*. Brasília: ONU. URL: <https://odsbrasil.gov.br>. Acesso 29.07.2025.
- Peppoloni, S. & Di Capua, G. (2024). *Explorando o horizonte das geociências através das lentes da geoética*. Assembleia Geral da EGU 2024, Viena, Áustria, 14-19 de abril de 2024, EGU24-3568. DOI: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-3568>. URL: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU24/EGU24-3586.html>. Acesso 29.07.2025.
- Peppoloni, S., & Di Capua, G. (2012). Geoethics and geological culture: awareness, responsibility and challenges. *Annals of Geophysics*, 55(3), 335-334. Stanford Encyclopedia of Philosophy. Environmental Ethics, 2023. DOI: <https://doi.org/10.4401/ag-6099>.
- Ribeiro, T., & Orion, N. (2021). Educating for a Holistic View of the Earth System: A Review. *Geosciences*, 11, 485. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences11120485>.
- Vasconcelos, C., & Almeida, A. (2014). Sustentabilidade e questões de (Geo)ética. *Revista de Ciência Elementar*, 2(03), 0086. DOI: <http://doi.org/10.24927/rce2014.060>.
- Vasconcelos, C., Cardoso, A., & Ribeiro, T. (2023). *A geoethics syllabus for higher education: evaluation of an intervention programme*. *Geociências*, 13(10), 302. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences13100302>.
- Vieira, A. M., Mendonça Neto, O. R. de, & Antunes, M. T. P. (2015). Aspectos da resistência na atividade docente. *Educ. Pesqui.*, 41(3), 743-756. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1517-97022015051679>.

Uso didático de mapas para difusão de Geociências e Cartografia na Educação Básica

Celso Dal Ré Carneiro
Pedro Wagner Gonçalves
João Gabriel Myashiro
Ronaldo Barbosa

Introdução

O mundo moderno está inundado por mapas e pelas facilidades que os smartphones nos oferecem para a localização geográfica de lugares, cidades e limites de municípios, estados e países, dentre tantas opções: monitoramento em tempo real de deslocamentos em terra, no ar e no mar; uso de coordenadas geográficas e dos sistemas digitais de posicionamento e localização; imagens de satélite e mapas ornamentados por fotos e imagens; acesso a enciclopédias continuamente atualizadas; autolocalização em tempo real. Além da incrível facilidade de uso, a tecnologia tornou os recursos cartográficos tão intuitivos e invisíveis (Heer & Khooshabeh, 2003), que praticamente “ocultou” a necessidade de a mente humana inserir, em seus mecanismos tácitos, a faculdade de “ler” os símbolos e padrões registrados em mapas, sistematizá-los, comparar mapas distintos e perceber as diferenças de conteúdo, escalas e padrões de representação, que podem variar entre muito grandes, pequenas ou até mesmo sutis. Além da enorme popularidade, os “mapas nunca foram tão relevantes para a educação” (Wiegand, 2006, p.1).

A invisibilidade da tecnologia de computação leva a seu “desaparecimento completo”, sobretudo na consciência do usuário (Satyanarayanan, 2001). Para a maioria dos usuários, a complexa infraestrutura que determina a localização de um dispositivo é uma “caixa-preta”, cujo funcionamento permanece invisível (Christopher Wood et al., 2017). O lado positivo desse processo é que o usuário prestará mais atenção na tarefa a ser realizada do que na ferramenta que utiliza; o lado negativo é que algumas faculdades intelectuais deixarão de ser estimuladas e treinadas, conforme veremos. Os smartphones, portanto, desestimulam

uma série de funções mentais importantes relacionadas ao aprendizado da linguagem dos mapas e dos signos que eles sintetizam (Denis Wood & Fels, 1986). Abordaremos a questão mais à frente.

Espera-se que a educação prepare os jovens para o mundo do trabalho, para sua independência econômica, para que eles possam viver de forma construtiva em comunidades responsáveis e para que possam conviver e compreender a diversidade cultural de uma sociedade que se transforma de uma forma muito rápida. Espera-se que a educação ajude os jovens a construir suas vidas em um cenário de futuro que ninguém com certeza pode prever (Roitman, 2010, s.p.).

O Programa Internacional de Avaliação dos Estudantes (PISA), cujo foco era a leitura (Miguel, 2023), foi aplicado em 2018 a estudantes de países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Os resultados mostraram que a média de proficiência dos estudantes brasileiros ficou abaixo da média (Brasil/INEP, 2020). Questões altamente informativas, com grande quantidade de dados combinados, como textos, gráficos, mapas etc. deixaram de ser respondidas pelos estudantes brasileiros (Miguel, 2023, p.158).

Munidos de tais preocupações, um grupo de geólogos e pesquisadores vem organizando um acervo de materiais didáticos que podem ser empregados em ações voltadas para divulgação e valorização das Geociências. Este Capítulo reúne algumas sugestões de uso, na forma de “pílulas” de material didático, bem como reflexões que nos parecem ser capazes de estimular o emprego de mapas no ambiente escolar.

Objetivos e métodos

Se a leitura de mapas é uma competência que todo adulto deve ter, a escola básica é o locus primário para desenvolvê-la. O ambiente escolar deve proporcionar às crianças e aos jovens o aprendizado de recursos cartográficos, desde cedo, partindo-se de recursos bem elementares. Entretanto, é fundamental aceitar que a tecnologia passou por mudanças profundas, que introduzem um novo cenário no campo educacional:

Crianças e jovens adultos estão crescendo em um mundo onde as tecnologias digitais são onipresentes. Eles não conhecem e não podem conhecer nada diferente (Punie & Redecker, 2017, p.12).

À medida que os alunos avançam para etapas mais adiantadas dos cursos, aumenta o grau de complexidade das tarefas e desafios, bem como o grau de abstração. Entretanto, na escola básica e, por conseguinte, na sociedade em geral, praticamente não circulam mapas e muitos outros conhecimentos científicos relacionados à Terra (Esteves & Regalía, 2023). Assim, muitos ingressantes em cursos superiores apresentam dificuldades para visualizar, por exemplo, em três dimensões, feições e estruturas do relevo a partir de perfis topográficos.

Este Capítulo objetiva conceber, experimentar, reunir, avaliar e divulgar formas de uso didático de mapas, de diferentes tipos e escalas, com a intenção de indicar que são ferramentas indispensáveis para realização de inúmeras atividades humanas. A internet está repleta de exemplos, comentários, exercícios práticos, mapas digitais e interativos (Sperandio et al., 2020), que oferecem bons recursos para a aprendizagem. Os subsídios apresentados a seguir baseiam-se em uma coletânea de fontes bibliográficas que podem inspirar a elaboração de materiais didáticos para crianças, jovens e adultos de diversas faixas etárias.

Evidentemente, mesmo com um aprendizado da geografia, transformada por essa preocupação da prática e da teoria, os cidadãos não acederão, por eles próprios, imediatamente às reflexões espaciais mais complexas, aquelas que dizem respeito aos problemas políticos colocados na escala planetária, por força da multiplicidade dos conjuntos espaciais, que é preciso levar em consideração. No entanto, esses problemas planetários desempenham um papel cada vez maior e mais rápido na evolução das situações nacionais, regionais e mesmo locais. Os cidadãos mais politizados, os militantes, devem fazer uma análise espacial da crise em diferentes escalas, para ajudar na tomada de consciência coletiva dos problemas (Vesentini, 1988, p.95).

O método de trabalho iniciou-se pelo estudo bibliográfico sobre mapas, cartografia, geologia e evolução geológica. A etapa seguinte envolveu coleta do acervo acumulado em projetos de pesquisa relacionados ao tema. A terceira etapa envolveu a classificação dos materiais didáticos impressos e digitais, segundo faixas etárias do público-alvo. Na etapa final, foram reunidas sugestões práticas para expandir a utilização de mapas na Educação Básica. Um breve apanhado dessas sugestões compõe o material oferecido adiante.

Mapas

O objeto de investigação das Ciências da Terra, como o nome indica, é o planeta Terra, e a interação do homem com este e com as estruturas internas e externas do planeta. Devido à imensa discrepância de tamanho entre o planeta e o ser humano, este último vê dificultada sua observação pela pequena extensão que pode observar a olho nu, quer quando o relevo não permite a visão de grandes extensões devido à superfície acidentada, quer em função da curvatura natural do planeta, ou até mesmo devido ao limitado alcance natural da visão. São fatores que limitam a percepção do todo, sendo necessário representar a superfície e a subsuperfície do planeta em escalas reduzidas, para que grandes áreas sejam modeladas de modo a facilitar a compreensão, tanto das propriedades intrínsecas ao espaço natural ou construído quanto das extensões territoriais que ultrapassam a restrita visão em escala natural (Ver Winchester, 2004, *O mapa que mudou o mundo*). Existem muitas formas de representação da superfície; as mais utilizadas são os mapas, os perfis e os bloco-diagramas:

- *Mapas* são documentos que reproduzem atributos da superfície terrestre em duas dimensões, simplificando e/ou generalizando-os para reproduzir a realidade a partir de relações de proporcionalidade. A escala permite, por exemplo, o cálculo de distâncias nos mapas sem a necessidade de fazer medidas na superfície real.
- *Bloco-diagrama* é um modo de representar a superfície e a subsuperfície em três dimensões, em ilustrações ou maquetes. Em uma ilustração 3D, os blocos-diagramas em perspectiva fornecem uma visão fotográfica distorcida do objeto de estudo, pois a escala varia de um ponto a outro.
- *Maquetes* são representações do relevo não-distorcidas, exceto devido às transformações geométricas necessárias ao desenvolvimento das cartas ou mapas com base nos quais as maquetes são elaboradas.
- *Perfis* são cortes verticais que atravessam uma parte da crosta terrestre, possibilitando representar a geometria do relevo e de corpos rochosos em terceira dimensão. Todos os perfis são ferramentas didáticas muito úteis, na medida em que facilitam o entendimento e a visualização de diferentes arranjos espaciais.

Utilidade prática da tecnologia cartográfica

O avanço das tecnologias de observação e monitoramento na segunda metade do século XX revolucionou a pesquisa científica em vários campos do conhecimento. Satélites em órbita no espaço, *softwares* de visualização, sistemas de informações georreferenciadas (GIS, na sigla em inglês), plataformas de realidade aumentada e realidade virtual para visualização 3D (Siqueira, 2020) e sistemas terrestres amplamente distribuídos pela superfície do planeta geram bases de dados (*bigdata*) que possibilitam conhecer pormenores da superfície e do interior da Terra. Enormes avanços no entendimento do planeta Terra resultam desse esforço continuado, que documentou a evolução do planeta como um sistema dinâmico (Mayer, 1993): as ferramentas e os equipamentos, aliados a supercomputadores para processamento de informações, revelam os efeitos dos processos naturais e antrópicos, que são rastreados em tempo real e interpretados por meio de redes de cooperação em pesquisa. Além da pesquisa científica, a revolução digital afetou também os processos de ensino-aprendizagem:

Acreditamos que hoje em dia a utilização das novas tecnologias é crucial para a melhoria do ensino e popularização das ciências em geral e em todos os níveis, de modo muito mais relevante para as Ciências da Terra (Argo3D, 2019).

Na década de 1960, a própria formulação da Tectônica de Placas resultara de uma concepção inovadora na ciência, obtida a partir de avanços tecnológicos em levantamento sísmico do assoalho oceânico (Hodder, 1997). As mudanças afetaram a terminologia, a delimitação e os métodos da Geologia; uma das consequências foi a adoção plena da expressão “Ciências da Terra”.

Diante da necessidade de ampliar o acesso a recursos didáticos com mapas, os autores se propuseram a desenvolver exemplos e soluções para minimizar problemas enfrentados por estudantes de Educação Básica ou de disciplinas introdutórias de cursos superiores de Geologia, Geografia e Engenharia. Somente o professor poderá discernir sobre o aprofundamento desejável no tema, para que seus alunos experienciem progressos na visualização 3D e obtenham um aprendizado efetivo com o uso de mapas.

Interesse prático dos mapas

O incontestável poder dos mapas decorre do fato de que “eles exibem, escondem, orientam, ensinam, esclarecem, dissimulam e... *trabalham*” (Wood, 1992, grifos do original). Técnicas mais precisas de representação que utilizam a perspectiva com um único ponto de fuga contribuíram para a representação da natureza em geral. Muito além disso, fixaram um modo particular de se olhar a natureza – um modo amplamente utilizado pela história natural – posteriormente cristalizado na fotografia e no cinema e multiplicado na sociedade de consumo, que tomou essa perspectiva particular como sendo a perspectiva natural do olho humano. Mapas topográficos, dentre outras opções (Fig. 1), são um modo bem simples de representação do relevo terrestre. As curvas de nível, ou linhas de igual elevação, são linhas sinuosas que permitem representar em mapa a forma das colinas, morros, vales e montanhas (Fig. 1C).

Nem sempre notamos um fato evidente: todos nós, assim como as agências de governo, órgãos militares e de defesa, temos acesso diário a bilhões de mapas em papel e na tela de smartphones, mas também nas telas de cinema, TV, logotipos de empresas, bandeiras e flâmulas, rótulos de produtos, jornais e revistas, *websites* etc. É preciso saber o que os mapas nos revelam, o que eles esclarecem ou evidenciam. Também devemos ficar atentos àquilo que “escondem”, ou ocultam (Ladeira, 2023) porque, dentre outros motivos, os mapas são capazes de espalhar o poder do Estado a todas as dimensões de nossa existência (Wood, 2014b),

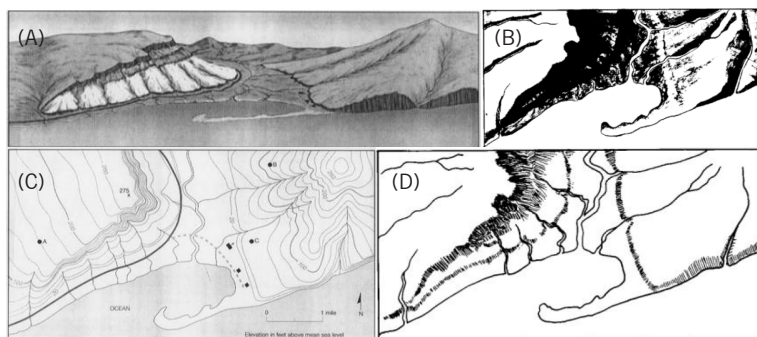


Figura 1. Diferentes representações do relevo de uma área costeira (A), empregando-se: (B) sombras esbatidas, (C) curvas de nível, (D) hachuras. Fontes: Santos (1989) e Tildes (2007)

(...) as pessoas fazem mapas para descobrir suas mentes e se conectar a si mesmas. Estas são as mesmas razões pelas quais as pessoas falam; onde a conversa tem serventia, os mapas são raros. Mas... quando a conversa se torna inadequada, seja porque as coisas ficam demasiado complicadas, ou há muitas pessoas, ou elas estão separadas por grandes distâncias ou por muito tempo – como invariavelmente acontece com o surgimento dos Estados modernos – as pessoas desenvolvem formas alternativas de comunicação (Wood, 2014a, p.1).

Possivelmente em função das avaliações realizadas pelo MEC, como a Prova Brasil, ENEM ou ENADE (Ribeiro, 2019), aumentou a preocupação de professores e alunos quanto à leitura e interpretação de mapas, gráficos, tabelas e quadros e ao método de ensino a ser usado. Cresceu ainda o cuidado com a escolha do material que os alunos utilizarão em sala de aula (Ribeiro, 2019).

Sucessivos projetos de pesquisa desenvolvidos na Unicamp produziram materiais didáticos em Geociências e mapas (Carneiro et al., 1998, 2000, Carneiro, 2001). As primeiras versões tiveram como ponto de partida roteiros de atividades do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey*, USGS). Com o tempo, foram acrescentadas outras atividades, para que o material produzido pudesse atender desde crianças de cinco anos até jovens universitários. As atividades se diferenciam por faixa etária, explicando-se desde o que é um mapa até os diferentes tipos de projeções. Basicamente, o foco dos materiais é sua utilização didática, aproveitando experiências como, por exemplo, *Trabajar com mapas* realizado por Blázquez et al. (1994); a pesquisa sobre uso de mapas reais e virtuais de Richardson et al. (1999), ou o magnífico acervo de recursos educacionais oferecidos pelo *United States Geological Survey* (USGS Educational Resources, 2024, ver Fig. 2), e que resultam de 140 anos de trabalho contínuo de mapeamento e pesquisa no campo das Ciências Naturais.

Breve apanhado da História da Cartografia

Ao longo do tempo, a indicação de caminhos, os desenhos de paisagens ou as obras artísticas foram diferentes representações de imagens mentais do mundo e da natureza. Os homens, em cada momento de sua história, olhavam para o seu entorno e construíam explicações sobre

a origem das formas do relevo, do planeta e do universo. As imagens resultantes foram preservadas de várias formas: desde os desenhos na parede de uma caverna até a tela de uma TV. Todas antecedem os modernos mapas que utilizamos, por exemplo, na tela de um *smartphone*. No interior dos “mapas modernos”, ainda encontraremos elementos dispersos de uma história longa e descontínua, a da representação visual, cujos percursos e percalços podem ser obscuros. Convém conhecer alguns momentos dessa trajetória para entender de que forma e por qual motivo a linguagem visual penetrou nas Ciências e na Geografia em geral, e na Geologia em particular.

Os primeiros mapas

Mapas medievais, muitas vezes, situavam Jerusalém no centro do mundo. Os mapas sacros, que representavam todo o mundo da época, localizavam o Céu, a Terra, o Paraíso, os grandes rios, expressando um mundo plano, retangular ou discoide. Apontavam os lugares dos anjos, dos homens e demônios não só nas regiões conhecidas, mas no modo como se organizava moral e socialmente todo o universo (Ver Desresmaux & Schmidt, 1988).



Figura 2. Interessante alternativa de representação e visualização da superposição de curvas de nível do relevo, por meio de embalagens, fáceis de encontrar. Fontes: USGS Educational Resources (2024) (imagem de domínio público)

Pintores e escultores do Renascimento italiano e flamengo forneceram os instrumentos teóricos para elaborar mapas com rígida precisão dos pontos geográficos. Retrabalhando o conhecimento clássico, problemas de perspectiva foram enfrentados compondo conjuntos belos, precisos e detalhados tanto do corpo humano quanto das paisagens. Leon Battista Alberti, do Círculo de Florença, apresenta uma teoria sobre perspectiva (uma doutrina filosófica sobre a representação visual) que foi seguida por seus contemporâneos e que, nos séculos XVII e XVIII, foi amplamente usada pelos naturalistas, seja na “Biologia”, seja na “Geologia” (Ver Alberti, 1989).

A perspectiva renascentista encontrou nas grandes navegações (iniciadas nos séculos XV e XVI), “por mares nunca dantes navegados”, um locus privilegiado de aplicação. A localização de pontos geográficos, como por exemplo nas costas da América, necessitava de uma representação precisa que pudesse guiar os navegadores. Os mapas que utilizaram, até o século XVIII, colocavam a Europa no lado inferior do mapa. Logo, viagens para África, América e Ásia eram dirigidas para cima. Durante esse século, os mapas foram “invertidos”: convencionou-se que o norte ficasse no lado de cima do mapa e o sul do lado de baixo – como utilizamos até hoje.

A perspectiva plana guiou a representação geográfica, ao mesmo tempo em que definiu um modo particular de olhar o mundo. Apesar da precisão da representação renascentista, há problemas técnicos que não puderam ser resolvidos. A superfície da Terra é curva; assim, qualquer representação plana implica uma deformação, que modificará a paisagem representada.

Sistemas de projeção

Os diferentes sistemas de projeção procuram diminuir a deformação ou minimizar seus efeitos visuais. Os sistemas de projeção sempre implicam maior destaque para uma ou outra área da Terra. Para entender o significado disso, analisemos a Figura 3, modificada de De Martonne (1953) e Santos (1989). A maioria dos trabalhos de semidetalhe e detalhe, feitos no Brasil, trabalha sobre mapas do IBGE (1:50.000) ou de outros órgãos que padronizaram o uso de um tipo de projeção denominado Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM).

A projeção UTM tem os seguintes pressupostos: transportam-se coordenadas da esfera para um cilindro paralelo ao Equador, cujo eixo é transversal ao eixo de rotação; o cilindro é secante à esfera terrestre,

o que faz com que as distâncias nas direções Norte-Sul e Leste-Oeste sejam indicadas, aproximadamente, em verdadeira grandeza. Meridianos e paralelos são linhas retas que se cortam em ângulos retos.

O Equador, pela UTM, foi dividido em 60 fusos de 6 graus de longitude (onde os limites de deformação são aceitáveis); a numeração das zonas dos fusos começa em 1 (antimeridiano de Greenwich) e vai para leste até atingir a zona 60. O corte convencional da superfície terrestre, intencionalmente estabelecido, admite que, normalmente, folhas ao milionésimo (1:1 000 000) abrangem uma área de 4 graus de latitude por 6 graus de longitude.

Aplicações

Harrell & Brown (1992) analisaram um antigo pergaminho egípcio com cerca de 29 séculos. O pergaminho foi provavelmente elaborado por um escriba durante o domínio do faraó Ramsés IV a partir de seis excursões realizadas em uma região onde havia água subterrânea e exploração de ouro. Harrell & Brown interpretam o pergaminho como sendo um antigo mapa geológico – talvez o mais antigo mapa geológico conhecido. Sem querer aqui discutir os problemas metodológicos envolvidos na interpretação dos dois autores, os modernos mapas geológicos evoluíram a partir de mapas geográficos, durante o século XVIII. Mapas geográficos eram empreendimentos caros e, por causa disso, procuravam indicar todos os aspectos importantes do território: cidades, igrejas, estradas, minas e ocorrências minerais. Partindo da tradição geográfica, em vários países europeus, ainda no século XVIII, foram iniciados os mapas mineralógicos ou pontilhistas, que procuravam apresentar todas as ocorrências minerais de uma região, usando uma representação visual simbólica (ElleMBERGER, 1983).

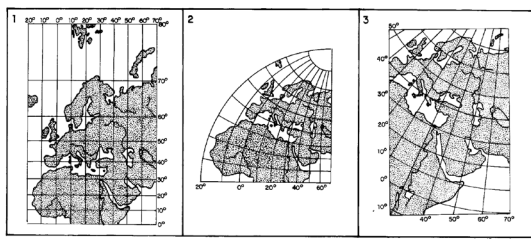


Figura 3. Comparação da projeção de um quarto de hemisfério segundo os diferentes sistemas de projeção: (1) cilíndrica, (2) plana, (3) cônica. Modificado de De Martonne (1953) e Santos (1989)

No mesmo período, século XVIII, nos países europeus de maior tradição mineira (países germânicos e Suécia), um outro tipo de representação visual era elaborada – mapas geognósticos ou estratigráficos. Numa perspectiva paisagística, foram elaborados perfis e mapas que indicavam “faixas” (estratos) com o domínio dos tipos de rocha, distribuição espacial das mesmas na região e sequência de eventos ocorridos. A novidade desses mapas foi a inclusão, no próprio mapa, de uma teoria explicativa da Geologia da região: os mapas geognósticos representavam a teoria netunista para origem dos estratos, sintetizando aspectos espaciais e temporais em uma única representação visual.

A abordagem geognóstica suplantou e eliminou a tendência pontilhista. Os mapas geognósticos orientaram a confecção de mapas geológicos em todas as suas etapas: desde a observação e a coleta de dados até o produto final que cristaliza uma explicação para o desenvolvimento geológico da região.

Rudwick (1976) comenta o papel da linguagem visual nas Ciências Naturais. Destaca que, na história natural, a linguagem e a comunicação visual encontraram campo extremamente profícuo de crescimento, particularmente em Geologia, pois a história natural, mais do que outras ciências, trata de configurações que não podem ser adequadamente expressas por palavras ou símbolos matemáticos. A Geologia requer uma representação muito abstrata e formalizada, diretamente ligada a seu campo de estudo; desse modo, envolve a representação visual de diferentes tipos de fenômenos como a configuração da topografia e a representação das estruturas da crosta da Terra, muitas vezes de modo tridimensional.

Mapas: fundamentos teóricos

Qual é o interesse dos mapas, do ponto de vista da Geologia? A resposta imediata é que a geologia local (as rochas e seus arranjos espaciais) determinam as formas do terreno, a posição de vales, morros, colinas e serras, a inclinação das encostas e assim por diante. Os mapas são capazes de revelar a história geológica de uma região qualquer, ao mesmo tempo em que podem evidenciar a necessidade de preservação de registros valiosos da Geodiversidade.

Escalas de representação

Mapas, cartas e plantas distinguem-se entre si com base nas escalas (tamanhos ou grandezas envolvidas). Quanto maior a escala, maior a quantidade e a precisão dos detalhes representados. Ao contrário do senso comum, uma escala grande é aquela que possui um denominador pequeno; uma escala pequena, como 1:5.000.000, possui um denominador grande. O termo *mapa* é reservado para escalas pequenas; no extremo oposto estão as *plantas*, que possuem escala grande, em geral 1:10.000 ou 1:5.000 ou maiores. As *cartas*, como por exemplo as folhas planialtimétricas do IBGE, possuem escalas de semidetalhe, entre 1:25.000 e 1:50.000; a escala dos mapas é pequena, ou seja, menor que 1:50.000.

A escala 1:5.000 é grande pois a representação da realidade foi diminuída apenas 5.000 vezes, enquanto na escala 1:30.000.000 a representação da realidade foi diminuída 30 milhões de vezes, portanto a $E=1:5.000$ é maior que a 1:30.000.000. Você pode usar o seguinte raciocínio, um dividido por 5 mil é maior que 1 dividido por 30 milhões (Parejo, s.d.).

Se analisarmos um mapa qualquer, notaremos a presença da escala com que foi feito. Informações como escala, orientação geográfica do mapa e suas coordenadas devem sempre estar presentes, juntamente com a eventual indicação do significado dos símbolos empregados e o sistema de projeção utilizado. Se fôssemos desenhar o Planeta Terra, o Brasil ou uma casa no tamanho real, veríamos que nenhum dos desenhos caberia em uma folha de papel; contudo, podemos representá-los com auxílio de escalas. A escala numérica é, portanto, a relação entre o objeto representado no papel e suas medidas reais. Se um mapa tem a escala de 1:10.000 isso quer dizer que a medida de qualquer coisa no mapa é dez mil vezes maior na realidade; logo, se medirmos com uma régua o tamanho de uma estrada e der 10 centímetros, isso quer dizer que na realidade a estrada tem $X\ 10.000 = 100.000\text{ cm!}$ Isso é igual a 1.000 metros ou 1 quilômetro. Outro recurso disponível é a escala gráfica, que já indica quanto vale uma medida real no mapa. A vantagem da escala gráfica é que sempre haverá uma proporção escalar preservada, mesmo se o mapa for copiado com redução ou ampliação de tamanho. Nos exemplos que ilustram este Capítulo, podemos visualizar as diferenças entre as escalas numérica e gráfica.

A finalidade dos diferentes sistemas de projeção, por sua vez, é dispor as feições presentes na esfera terrestre dentro de imagens planas

(Fig. 4). Podemos pensar que as fotografias e as imagens de um lugar qualquer também constituam “mapas momentâneos” (Wood, 1992), por serem registros pictóricos de uma realidade local em determinado momento.

Mapas e ensino de Geociências

A literatura acadêmica registra, de forma consistente, a *ausência* das Geociências no ensino básico brasileiro. Na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), o conhecimento geológico se dispersa pelas disciplinas de geografia, física, química e biologia. As consequências impactam o aluno, restringindo sua habilidade de interpretar o espaço à sua volta, assim como sua capacidade de trabalhar com mapas e até mesmo compreender os fundamentos da disciplina Geologia, que permanece fragmentada e negligenciada. Esses pontos revelam que o tema “mapas” é central para incrementar o ensino de Geociências na educação básica.

Os mapas geológicos podem ser a mais concentrada forma de conhecimento já colocada no papel, uma combinação de verdade e beleza (Alden, 2019, p.1).

A incipiente circulação de conhecimentos geocientíficos no ambiente escolar reduz a probabilidade de se despertar vocações nos estudantes, levados a ignorar a própria existência da disciplina e seu objeto de estudo (Esteves & Regalía, 2023). Tal quadro também prejudica a gestão ambiental a longo prazo e fragiliza a análise crítica de questões relacionadas aos “recursos naturais, além de questões como sustentabilidade, riscos geológicos, patrimônio geológico, impactos ambientais etc.” (Esteves & Regalía, op. cit.).

Mesmo em países desenvolvidos, o analfabetismo geográfico é grande, o que nos leva a supor que a “taxa de analfabetismo cartográfico” seja ainda mais alta em países cuja situação de ensino é precária. O ensino das Geociências merece ser desenvolvido tanto pela diversidade de aplicações do conhecimento para a manutenção e a sustentação das sociedades contemporâneas, quanto pelos benefícios cognitivos oferecidos. Diversos autores assinalam a importância do ensino de Geociências nos níveis de primeiro e segundo graus (Amaral, 1981, Anguita Virella, 1996, Barbosa, 2003, 2013, Carneiro et al., 2004, Lima, A., 2013, Lima, G., 2007, Marques & Praia, 2009, Pedrinaci et al. 2013). O manuseio de mapas ajuda a repensar o uso de recursos didáticos, na medida em que

o prazer desse tipo de investigação prática captura o interesse do aluno e favorece a descoberta, a colaboração, a autonomia e a responsabilidade pelo auto-aprendizado.

O ensino de conceitos básicos da leitura de mapas, como escalas, rumos e direções, é necessário; o quanto antes for feito, melhor, pois desde cedo a criança vai assimilando conceitos que lhe serão úteis no futuro.

Espaço vivido, espaço percebido e espaço concebido

A noção de espaço é lentamente adquirida pela criança e pelo jovem, “começando pelo próprio corpo e desenvolvendo-se à medida que a pessoa obtém novas referências e amplia seu campo de deslocamento” (Blázquez et al., 1994). O processo de aprendizagem é evolutivo, sendo caracterizado por três etapas, que Hannoun (1972) divide da seguinte forma: espaço vivido (até os 7 anos), espaço percebido (até os 10 anos), espaço concebido (a partir dos 11 anos). A criança no ensino elementar é ávida por receber novos conhecimentos; os professores mostram muito interesse em desenvolver novas atividades e receber ajuda e boas contribuições.

Estabelecendo-se um contato da criança com atividades que desenvolvam o interesse em questões cartográficas, atinge-se também a curiosidade de seus pais, que podem não ter tido a oportunidade de se envolver com esses temas.

Podemos exemplificar com o tema *Ciências – Terra e Universo* dos anos iniciais do Ensino Fundamental (Ribeiro & Argollo Ferrão, 2023); o objeto do conhecimento “Características da Terra. Observação do céu. Usos do solo” prevê o desenvolvimento das seguintes habilidades (EF03CI07): Identificar características da Terra (como seu formato esférico, a presença de água, solo etc.), com base em observação, manipulação e comparação de diferentes formas de representação do planeta (mapas, globos, fotografias etc.). A Figura 4 ilustra formas de relevo relativamente comuns e suas respectivas representações cartográficas. Convém notar que a representação em corte do relevo nos é muito mais familiar do que quando as formas são visualizadas segundo planos horizontais. Neste caso, somente distinguimos representações idênticas se estiverem complementadas pela indicação numérica das cotas: se compararmos na Figura 4, por exemplo, os boxes correspondentes a vales e cristas de morros, perceberemos que, se não houver a indicação das cotas de cada curva, é impossível distinguir uma feição da outra.

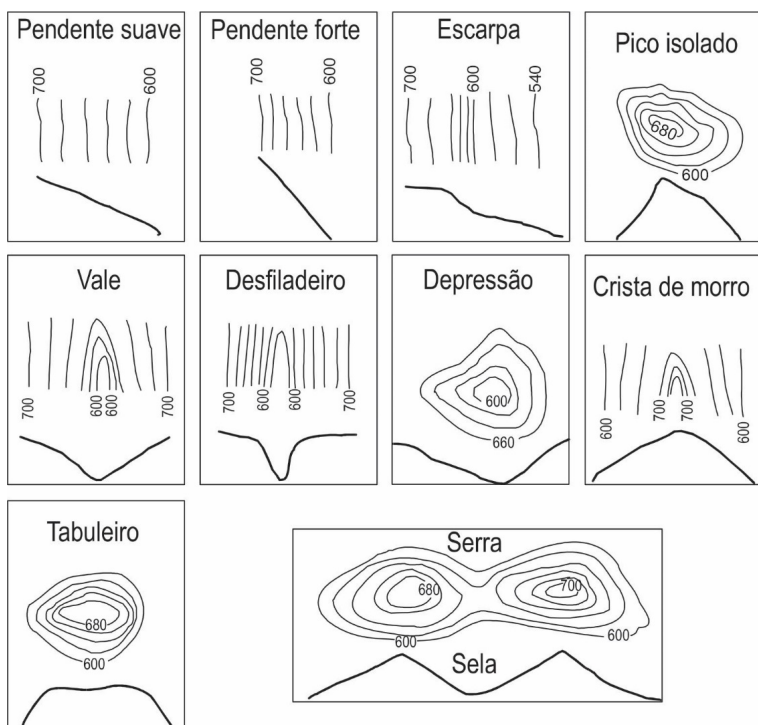


Figura 4. Diferentes representações de formas de relevo por intermédio de curvas de nível

A ressalva da aparente simplicidade

Uma vez que “o mundo é bem mais complicado do que se quer acreditar” (Vesentini, 1988, p.95), podemos inferir que o uso de mapas é essencial para a formação de um cidadão moderno.

De certa forma, os estudantes de hoje “sabem” tudo. Equipados com seus computadores de campo e iPhones, eles são enciclopédias digitais ambulantes. Eles não precisam memorizar todo o conhecimento que as gerações anteriores tiveram que armazenar em suas cabeças. Como corolário, os professores deveriam parar de agir como enciclopédias ambulantes incompletas e propensas a erros para seus alunos. Em contrapartida, os professores precisam treinar os alunos para não pedirem informações que já estejam no celular (De Paor & Whitmeyer, 2009, p.54-55).

Os recursos modernos simplificaram o uso de mapas, mas essa vantagem é apenas aparente, pois muitos adultos perderam a habilidade ou deixaram de valorizar a capacidade de orientar-se espacialmente, localizar-se em um mapa, ou efetuar a simples leitura de uma carta para definir rotas e percursos. Já vimos que o uso prático interfere na vida humana, na medida em que todo indivíduo deve ter familiaridade com tais ferramentas. Vejamos a seguir alguns conceitos relacionados aos sistemas de projeção cartográfica.

Leitura de coordenadas em mapas

Os mapas produzidos com as técnicas de cartografia possuem inúmeras aplicações em muitos campos do conhecimento humano. Uma das primeiras capacidades que precisamos obter para leitura e interpretação de mapas consiste na determinação das coordenadas segundo diferentes sistemas; os mais comuns são o sistema de coordenadas geográficas e o de coordenadas UTM, relacionado à Projeção Universal Transversa de Mercator.

Da mesma forma que utilizamos coordenadas num jogo de batalha naval, podemos utilizar coordenadas para determinar nossa exata localização no planeta. No entanto, utilizamos uma notação baseada em paralelos e meridianos, em lugar de usar, como no exemplo de batalha naval, coordenadas A5, B10. O maior problema de localização na Terra é o de achar posições de pontos na superfície de uma esfera. Para resolver o problema, estabeleceu-se um sistema de referência, por meio de convenção internacional, que definiu as chamadas coordenadas geográficas de Latitude e Longitude.

O eixo imaginário de rotação da Terra intersepta a superfície do planeta em dois pontos, chamados polos. A meio caminho entre eles, situa-se o equador; a linha do equador é definida como a latitude zero.

Conceito de paralelos e meridianos

Os *paralelos*, que medem as latitudes, são assim chamados porque nunca se cruzam, fazendo parte de planos paralelos entre si. Já os *meridianos* determinam as longitudes; são linhas imaginárias que ligam os polos da Terra pela menor distância na superfície.

Latitude e Longitude

Latitude é o ângulo formado a partir do equador, entre um ponto inicial qualquer, até o ponto desejado, caminhando-se por um meridiano. A medida acha-se estabelecida desde a antiguidade pela observação dos astros, que ajudavam a saber a posição do equador. Há vários modos de saber uma latitude: pela duração do dia, pela altura do sol ou pelas estrelas do céu.

No hemisfério norte, a estrela Polaris situa-se no prolongamento do eixo imaginário de rotação da Terra e portanto sua inclinação em relação ao horizonte permite medir convenientemente a latitude de um ponto. Essa foi a forma pela qual os navegadores determinavam latitudes no mar. Se estivermos no Polo Norte, teremos a estrela Polaris exatamente sobre nossas cabeças, ou seja, a 90° do horizonte. Se estivermos no equador, a estrela aparecerá junto da linha do horizonte. Em posições intermediárias, a inclinação nos indicará a latitude do ponto.

Na superfície da Terra, o equador é um círculo imaginário determinado por um plano perpendicular ao eixo de rotação (a linha que une os polos terrestres) que passa, obviamente, pelo centro da Terra. Qualquer outro plano paralelo ao do equador definirá outra linha circular, chamada paralelo de latitude. Um paralelo de latitude ou, mais simplesmente, um *paralelo*, é qualquer círculo determinado por um plano paralelo ao plano do equador. Já que o ângulo formado entre o equador e cada polo é de 90 graus, a latitude também é medida em graus, ao longo do arco formado por um meridiano na superfície da Terra.

Latitude

A partir do equador em direção aos polos, a latitude é contada dentro de um intervalo de 0° a 90° , sendo positiva no rumo norte e negativa no rumo sul. Se dissermos que um ponto acha-se situado na Terra e está identificado com 30° (30 graus) de arco (Fig. 5), isso significa que ele se encontra no hemisfério norte da Terra e, portanto, localiza-se em algum ponto do paralelo de latitude 30° norte. Normalmente, utiliza-se a letra N (norte) ou S (sul) em lugar de adotar símbolos (+) “positivo” ou (-) “negativo”. Cada grau é dividido em 60 minutos, e cada minuto em 60 segundos.

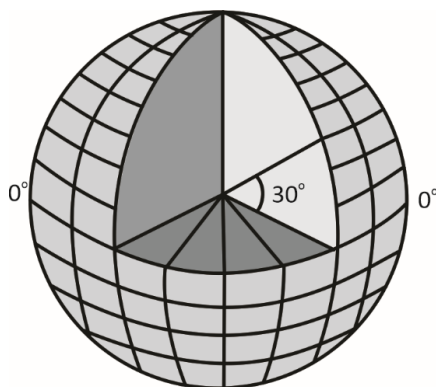


Figura 5. Sistema de coordenadas geográficas na Terra, com indicação do paralelo de 30° N

Longitude

Longitude é a o menor arco de paralelo que liga o meridiano de Greenwich ao ponto considerado. Diferentemente da latitude, os meridianos medem diferenças de horário entre dois pontos, de acordo com a rotação da Terra; sua contagem pode ter início em qualquer ponto do planeta, pois não depende da natureza. Ao longo do tempo, o meridiano zero, que hoje é estabelecido como sendo o meridiano que passa pela vila de Greenwich, em Londres, na Inglaterra, foi fixado em diferentes lugares: Ilhas Canárias, Ilhas dos Açores, Roma, Copenhague, Jerusalém, São Petesburgo, Pisa, Paris e Filadélfia, entre outros locais.

Com um simples par de relógios, pode-se determinar a longitude: um dos relógios deverá marcar o horário do porto de saída ou de uma longitude conhecida, e o outro relógio, o horário de bordo. Como a Terra demora 24 horas para completar uma revolução de 360 graus, uma hora equivale a $360 / 24 = 15$ graus. Dessa forma, sabendo qual o horário exato no meridiano de Greenwich e sabendo o horário certo no ponto onde estamos, poderemos converter horas em graus e obter nossa longitude, sabendo que uma hora equivale a 15 graus. No tempo das grandes navegações, era fácil determinar o horário de bordo com a ajuda do Sol, contudo os relógios de pêndulo eram incapazes de manter o horário do porto de saída devido ao balanço do mar e às variações de temperatura e pressão. Somente no final do século XVIII, o relojoeiro inglês John Harrison inventou o relógio portátil com engrenagens, que manteria satisfatoriamente a hora certa, independentemente de oscilações, variações da maré, pressão ou temperatura.

Como se pode ver, as medidas de latitude e longitude são ângulos, portanto, são feitas em graus, minutos, segundos e décimos de segundos. Um minuto de arco de um círculo máximo (meridiano) na região do equador equivale a 1.852 metros, Ou seja, se andarmos 1.852 metros em cima do equador ou em cima de um meridiano estaremos percorrendo 1 minuto do círculo da Terra.

A permanente transformação tecnológica faz com que instrumentos utilizados pelos navegadores do passado para determinar latitude e longitude em nada se assemelhem com os aparelhos empregados hoje em dia, chamados GPS, que utilizam vasta rede de satélites em órbita. Os exemplos a seguir parecem ser “uma volta ao passado”, mas são relevantes para fixar e aprofundar certos conceitos. Afinal, qual a necessidade de aprender esse conteúdo se um simples celular pode realizar as operações em um piscar de olhos. Ponderamos que, se não for viável o acesso a uma rede, o navegador certamente dependerá das suas habilidades adquiridas para se localizar e se orientar.

Determinação da latitude (ou longitude) de um ponto

Para calcular a latitude de um ponto compreendido entre duas latitudes conhecidas, é necessário tomar alguns cuidados, prestando-se a devida atenção para a correta conversão de graus em minutos e de minutos em segundos. Na leitura de mapas, a seguinte técnica pode ser empregada para determinação de latitudes. No caso de valores de longitudes, adota-se igual procedimento, considerando-se os meridianos em lugar dos paralelos.

1. Observar qual dos paralelos possui o menor valor e em qual rumo ocorre o aumento de valores. No hemisfério sul, as latitudes aumentam para baixo (rumo ao Polo Sul); no hemisfério norte, para cima (para o Polo Norte).
2. Subtrair o menor valor ou maior, obtendo a diferença total em graus. Caso tenha obtido um valor fracionário, converter o valor para minutos e assim, sucessivamente, até saber a quantidade de segundos.
3. Medir a distância ortogonal entre dois paralelos para obter a distância total (t).
4. Medir a distância ortogonal entre o menor paralelo e o ponto escolhido, para saber a distância parcial (p);

5. Montar uma regra-de-três para calcular a diferença entre a distância total e a distância parcial ($d = t - p$), que deve ser expressa em graus, minutos e segundos;
6. Somar o resultado obtido (d) com o valor do menor paralelo.

Cálculo de Coordenadas UTM

Cartas plani-altimétricas de escalas grandes e médias geralmente são construídas com dois sistemas de coordenadas: geográficas e UTM, este último relacionado à Projeção Universal Transversa de Mercator. O sistema UTM é representado por linhas, dispostas segundo um quadriculado, com intervalos constantes entre duas linhas paralelas consecutivas, denominados *equidistância*. O arranjo planar-retangular assemelha-se a uma folha de papel milimetrado (Fig. 6), bastante útil quando se pretende definir pontos na superfície da Terra. Naturalmente, a distância depende da escala da carta considerada. Os meridianos que constituem linhas do norte verdadeiro convergem em direção aos polos norte e sul terrestres. O sistema UTM é artificial, ou seja, as coordenadas verticais não se referem a nenhum lugar geográfico, sendo absolutamente paralelas entre si. Tais linhas apontam para o norte de cada quadrícula que, por sua vez, não coincide necessariamente com o norte verdadeiro porque o sistema é artificial e matematicamente estabelecido em cada um dos 60 fusos de UTM.

Cada fuso da projeção UTM é marcado por uma grade quadriculada de linhas definidas no sistema métrico decimal, de 100 por 100 km, onde o meridiano central coincide exatamente com a linha da quadrícula de valor 500.000 metros ao leste da linha zero. A linha-limite a oeste tem valor igual a zero, mas nunca aparece em cartas, pois extrapola as dimensões destas. Qualquer medida no eixo das abscissas (no rumo leste) é positiva a partir do zero. Cada faixa UTM tem sua própria “linha zero”.

Na Figura 6, os números da abscissa (margem horizontal no topo da folha) aumentam para leste a partir do valor 398 km, ou 398.000 m. Os números pequenos (no exemplo, o número 3) representam as centenas de quilômetros de separação entre o ponto e a linha zero, situada no extremo oeste. Sabendo-se que nas folhas 1:50.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a distância entre coordenadas UTM é de 2.000 m, é possível calcular a escala

do mapa da Fig. 6? As coordenadas UTM norte-sul são traçadas de modo similar. O equador tem valor zero para o hemisfério norte e 100.000.000 metros (10.000 quilômetros) para o hemisfério sul. Todos os valores de coordenadas são positivos e medidos no rumo norte. A linha zero do hemisfério sul fica perto do polo sul, mas não aparece em cartas, pois nas regiões polares há um sistema de coordenadas próprio (projeção estereográfica polar), que substitui o UTM.

Nas margens da folha de Jacareí (Fig. 6), os valores 398 e 404 de abscissas (valores E) representam o intervalo entre 398.000 e 404.000 m a leste da linha zero. As ordenadas (valores N) vão de 7.028 até 7.022 (7.028.000 até 7.022.000 m). As linhas impressas na grade indicam intervalos de 2 em 2 km, tanto para leste quanto para norte. As divisões poderiam ser, digamos, de 1 em 1 quilômetro, mas não são impressas dessa forma, para não sobrecarregar a carta. Nas folhas 1:50.000 produzidas na mesma década de 1970 pelo Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo (IGG), a equidistância é de 1.000 m. Se estivermos trabalhando, p. ex., apenas dentro de uma mesma folha 1:50.000, não é necessário escrever o número pequeno que define as centenas de quilômetros, nem as letras “E” e “N”.

Na Fig. 6, por exemplo, o ponto onde as linhas 398E e 7428N se cruzam está bem definido pelas coordenadas GR9828. O ponto também pode ser identificado como GR 980280, ou GR 98002800, sempre com o mesmo número de cifras para a abscissa e a ordenada. A notação mais completa entretanto consiste em indicar o número total em metros: no exemplo acima teríamos Gr 398000 7028000, ou GR 398000 7028000. É opcional deixar um espaço entre as duas partes; para números grandes, essa notação facilita a visualização dos dados.

Como veremos a seguir, dentro de uma faixa UTM é possível efetuar medidas de pares de coordenadas (leste-oeste e norte-sul) e assim definir com precisão da ordem de metros cada ponto da superfície da Terra. A tarefa consiste em combinar valores de abscissas com valores de ordenadas, nessa ordem. É possível subdividir os intervalos tantas vezes quantas forem necessárias para obter precisão de centenas, dezenas e até frações de metros, se a carta estiver em escala adequada. Por convenção cartográfica, sempre se escreve primeiro a abscissa e depois a ordenada; do mesmo modo, muitas vezes se adotam duas letras “GR” ou “Gr” (Grade de Referência) para indicar que as coordenadas se referem a um ponto específico.

Determinação das coordenadas UTM de um ponto

Para determinar as coordenadas de pontos que não estiverem sobrepostos às linhas impressas, basta utilizar uma régua milimetrada para fazer medidas perpendiculares às linhas, da seguinte forma: um segmento a leste e outro a norte do ponto de interesse. No sistema de coordenadas UTM, com o quadriculado impresso na carta, é fácil identificar qualquer ponto, adotando-se procedimentos como o descrito abaixo:

1. Verificar qual a equidistância das linhas impressas do sistema UTM (em cartas IBGE 1:50.000 é de 2 km).
2. Localizar na carta o ponto do qual se quer determinar as coordenadas.
3. Anotar o valor, em quilômetros, da linha da abscissa impressa mais próxima, que se encontra a oeste do ponto. Fazer o mesmo em relação à linha da ordenada mais próxima a sul.
4. Colocar a régua sobre a carta 1:50.000, posicionada de modo a medir a distância entre o ponto e a linha da abscissa. O valor em metros completa o valor lido no item anterior. Régua de material transparente facilitam a visibilidade da carta sob elas.
5. Não é aconselhável fazer subdivisões dos milímetros marcados, pois isso normalmente ultrapassa a precisão das cartas e dá falsa impressão de acuidade nas medidas.
6. Repetir o procedimento com a régua, para medir a distância entre o ponto e a linha da ordenada.

Material didático sobre mapas em Geociências

Mapas são um recurso indispensável para qualquer abordagem dinâmica dos processos estudados pelas Ciências da Terra. Embora a aprendizagem sobre uso de mapas possa depender de uma rotina de estudos práticos, os educadores podem propor exercícios de visualização e reflexão, em paralelo a tarefas mais “mecânicas”. Wiegand (2006) menciona que os trabalhos de mapeamento nas escolas não acompanharam “os desenvolvimentos da cartografia, muitos dos quais baseados em computador” (Wiegand, 2006, p.2). Se a intenção da cartografia escolar é transformar as salas de aula “em espaços de constante diálogo, investigação coletiva e intercâmbio de razões” (Guzzo & Lima, 2018), um

primeiro desafio, por exemplo, seria pedir que as crianças selecionassem o mapa mais apropriado para uma finalidade específica. Por outro lado, convém lembrar a orientação de se evitar tarefas que envolvam simples memorização ou pedir informações que os alunos obtenham facilmente com o celular (De Paor & Whitmeyer, 2009).

Selecionamos quatro propostas de atividades que exemplificam o uso prático de mapas para a resolução de problemas reais; são elas:

1. *Mapas planos em uma Terra redonda*: a capacidade de dominar e compreender os mapas não é trivial, sobretudo para crianças e jovens acostumados a olhar o espaço ao seu redor como sendo uma pequena parcela de uma imensa superfície plana. O ato de “pular” de um plano para a superfície de uma esfera pode ser, para o estudante, tanto uma tarefa instigante, como um problema desanimador.
2. *Aplicação prática da leitura de mapas*: a elaboração de perfis topográficos é importante para a compreensão das escalas e para o entendimento das informações contidas em um mapa. Nessa etapa do aprendizado, o professor pode se valer de recursos aparentemente simples, como a Figura 7.
3. *Onipresença dos mapas no cotidiano*: os mapas subsidiam inúmeras atividades humanas, embora raramente possamos perceber que eles estão por toda parte. A atividade proposta visa abrir canais de reflexão sobre até que ponto dependemos de mapas para realizar muitas tarefas diárias.
4. *A história da Cartografia reflete a história do conhecimento humano*: mapas elaborados em diferentes momentos constituem um registro daquilo que se conhecia até então. O exercício propõe a comparação entre mapas publicados em tempos distintos.

Proposta 1: Mapas planos em uma Terra redonda

- Público-alvo: Anos finais do Ensino Fundamental. Ensino Médio. Ensino Superior.
- Grau de dificuldade: médio

Passo 1. Introduzir o problema. Sugere-se que o professor ofereça aos alunos algumas bolas esféricas (futebol, tênis etc.) e lhes apresente o seguinte problema: se desenharmos uma área retangular na superfície da bola, como eles fariam para transferir o traçado dessa área

para uma folha de papel plana? Sugestão: o traçado do retângulo na bola pode ser feito com lápis, caneta colorida ou tirinhas de fita crepe. Convém pedir que os alunos façam uma lista das respostas.

Passo 2. *Alimentar debates.* Para estabelecer uma referência entre mapas e escalas de representação da natureza, em diversas escalas, o professor pode pedir que os alunos consultem a WEB para coletar diferentes formas de representação cartográfica.

[Obs.: os elementos reunidos nos passos 1 e 2 fundamentam o passo 3]

Passo 3. *Realizar debate.* O professor pode estimular um debate, pedindo que os alunos descrevam os métodos de representação empregados no Passo 2. Pode-se abrir um debate para que todos exponham brevemente seus argumentos.

Proposta 2: Aplicação prática da leitura de mapas

- Público-alvo: Anos finais do Ensino Fundamental. Ensino Médio. Ensino Superior.
- Grau de dificuldade: médio

Passo 1. *Ampliar conceitos.* Para que os alunos reconheçam aspectos essenciais do relevo de uma área a partir de um mapa topográfico, eles podem ser convidados a consultar a WEB para encontrar explicações sobre técnicas de construção de perfis a partir de mapas topográficos.

Passo 2. *Explicar conceitos aos colegas.* Cada aluno, ou grupo de alunos, deveria ser convidado a explicar a seus colegas, com suas próprias palavras, os procedimentos envolvidos na construção de um perfil topográfico. A dificuldade de verbalizar é um obstáculo comum quando se adquire a capacidade de transmitir ideias; não basta, pois, reconhecer a sequência de tarefas envolvidas, é preciso mostrar a lógica existente nesse conjunto de operações.

Passo 3. *Complementação* (opcional). Sugere-se utilizar a planta topográfica da região de Castell, na Espanha (Fig. 7), para elaborar dois perfis distintos. O professor pode pedir que o aluno elabore os dois perfis topográficos indicados no mapa (Fig. 7), passando pelos pontos A e B (ou pelos pontos C, D e E), com auxílio de uma folha de

papel milimetrado ou papel quadriculado. Em seguida, ele deveria responder: (a) Qual a orientação do perfil em relação ao norte? (b) Qual a equidistância das curvas de nível representadas no mapa?

Passo 4. *Fixação de conceitos* (opcional). Para aumentar de modo fictício as dimensões das feições de relevo, o professor pode pedir que o aluno elabore novos perfis, respectivamente com exagero vertical de 2 vezes e 5 vezes. Os grupos poderiam então comparar os perfis que produziram, para identificar as diferenças.

Passo 5. *Objetivos e avaliação*: depois de desenvolver as atividades acima sugeridas, espera-se que o estudante seja capaz de: (1) descrever o que são curvas de nível e qual sua utilidade; (2) comparar mapas de escalas diferentes quanto à área abrangida e aos detalhes perceptíveis; (3) reconhecer que os mapas possuem limitações para representar áreas de grandes dimensões; (4) Reconhecer que a escala de representação pode limitar as informações contidas no mapa.

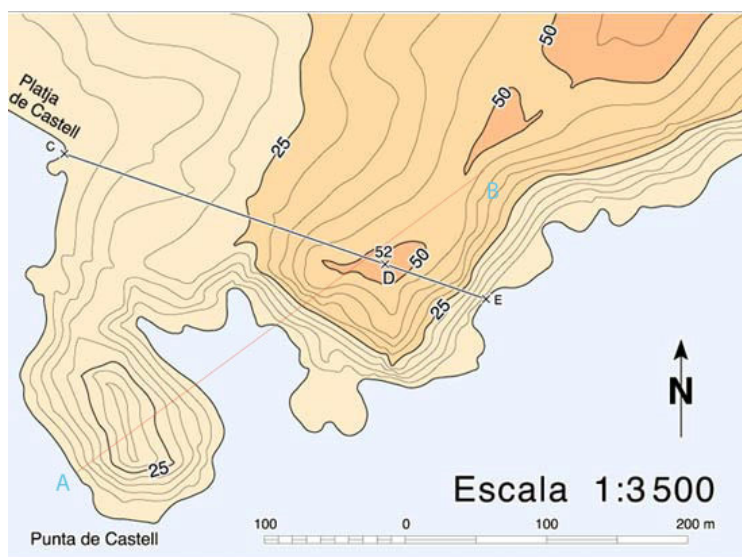


Figura 7. Planta topográfica da região da Praia de Castell e da Ponta de Castell, na região de Barcelona, Espanha, com escalas numérica e gráfica. Fonte: Geocamp (2023)

Proposta 3: Onipresença dos mapas no cotidiano

- Público-alvo: Anos finais do Ensino Fundamental. Ensino Médio.
- Grau de dificuldade: baixo

Uma função da educação geocientífica é permitir que o estudante compreenda que os mapas subsidiam incontáveis atividades humanas. Diariamente, temos acesso a inúmeros mapas em papel ou na tela de smartphones, mas também nas telas de cinema, TV, logotipos de empresas, bandeiras e flâmulas, rótulos de produtos, jornais e revistas, *websites* etc... Por acaso temos refletido a respeito da onipresença dos mapas no dia a dia? Qual a importância desse fato?

Passo 1. *Iniciar debate*. Sugere-se que o professor inicie um debate com a afirmação de Wood (1992):

Mapas estão por toda parte (...) um mapa não nos permite ver nada, mas nos permite conhecer aquilo que outras pessoas observaram ou descobriram. As coisas que elas aprenderam foram sendo empilhadas, uma sobre a outra, de tal forma que a mais simples imagem nos deixa atravessar pilhas de aquisição cultural (Wood, 1992, p.6-7).

Passo 2. *Propor coleta de dados*. O professor pode estimular que os alunos listem todos os mapas, desenhos, esquemas ou figuras feitas a partir de mapas que forem capazes de reconhecer, dentro de um intervalo de 24 horas.

Passo 3. *Questionar os alunos*. Em seguida, o professor pode pedir que os alunos expliquem os dados obtidos e identifiquem quais são os campos da Ciência que dependem diretamente da utilização de mapas. É conveniente que justifiquem as respostas.

Proposta 4: A história da Cartografia *versus* a história do conhecimento

- Público-alvo: Anos finais do Ensino Fundamental. Ensino Médio.
- Grau de dificuldade: médio

Mapas elaborados em diferentes momentos da história podem ter registrado o grau de conhecimento disponível à época. O exercício propõe comparar mapas publicados em tempos distintos e com diferentes finalidades.

Passo 1. *Estimular os alunos a pesquisar.* Pode-se pedir que os alunos pesquisem na Internet sobre mapas de relevo do Estado de São Paulo. Sugestão: focalizar inicialmente algumas representações do relevo, como os exemplos das Figuras 8, 9 e 10.

Passo 2. *Questionar os alunos.* Pode-se pedir que os alunos expliquem quais as semelhanças e diferenças dos mapas das Figuras 8, 9 e 10. Será que eles são um retrato fiel do conhecimento sobre a região em foco? O mesmo pode ser dito em relação aos mapas que eles recuperaram. Qual é a utilidade de cada um deles para planejamento das atividades humanas? É conveniente que justifiquem as respostas.

Passo 3. *Estimular os alunos.* Em seguida, o professor pode pedir que cada grupo de alunos identifique e explique quais são os campos da Ciência envolvidos nos estudos. Pedir que justifiquem as respostas.

Passo 4. *Objetivos e avaliação:* Depois de desenvolver atividades, com base nas sugestões acima, espera-se que o estudante seja capaz de: (1) discutir a relação existente entre a escala e o grau de detalhamento da informação que pode ser representada em um mapa. (2) estabelecer correlações entre dois mapas distintos, a partir do tipo de informação e dos signos neles contidos.

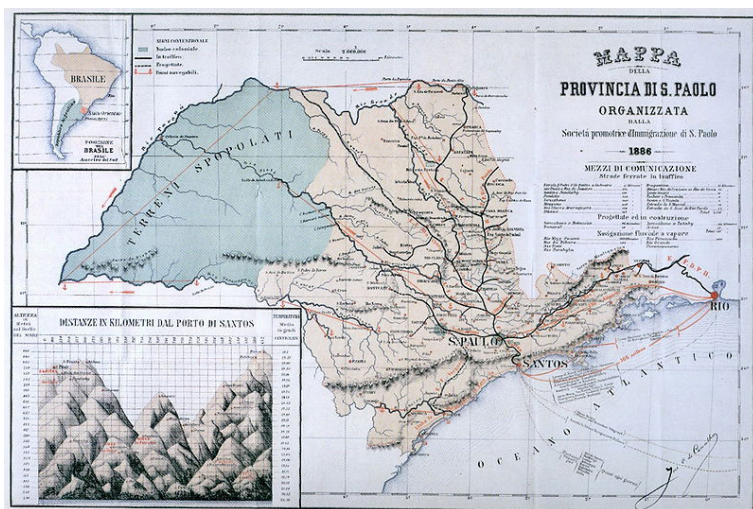


Figura 8. Mapa da Província de São Paulo, elaborado em 1886, com indicação das formas de relevo e dos meios de comunicação, representados por estradas de ferro. Fonte da imagem: URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/47/Mappa_della_Provincia_di_S._Paolo.jpg.

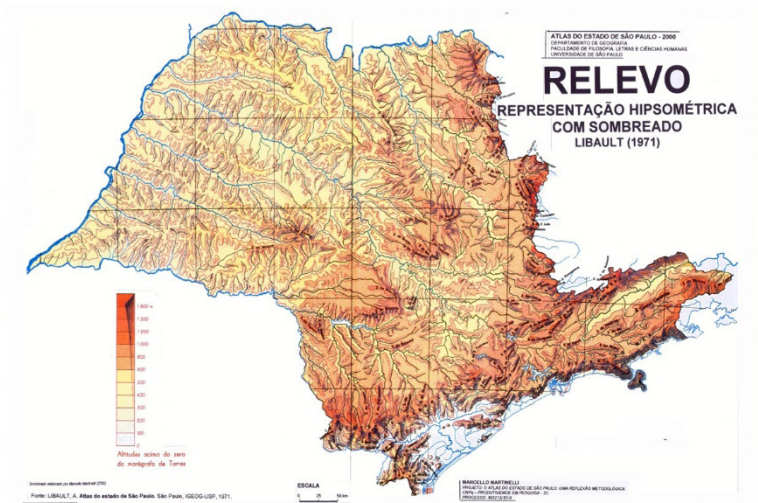


Figura 9. Representação do relevo do Estado de São Paulo, por meio de hipsometria. Fonte: Libault (1971)

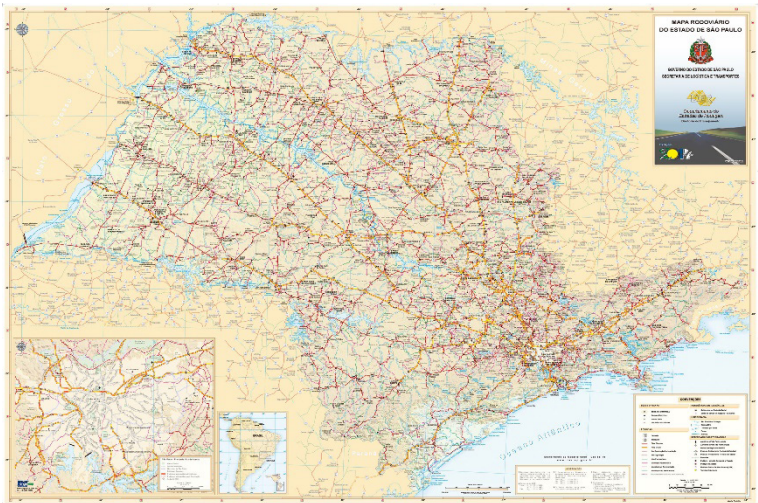


Figura 10. Representação das rodovias e sistemas de transportes do Estado de São Paulo. Fonte: São Paulo (2014)

Conclusões

Os smartphones e os recursos do mundo digital inauguraram nova etapa da História da Cartografia. Os recursos de geolocalização e outras facilidades oferecidas pelos smartphones são “caixas-pretas” que permitem um *domínio intuitivo de tecnologias cartográficas invisíveis*. Isso desestimula a aquisição de competências relacionadas ao uso de mapas por crianças, jovens e adultos. Este Capítulo apresenta visão crítica sobre tal postura: é preciso reconhecer que os mapas, ao mesmo tempo em que revelam aspectos do mundo real, também escondem outros, podendo espalhar o poder do Estado e de algumas organizações a todas as dimensões de nossa vida.

Muitas funções intelectuais ligadas à linguagem dos mapas e aos signos que eles contêm fazem parte dos objetivos da Educação Básica e precisam ser devidamente introduzidas, desde cedo, na escola. Crianças e jovens devem iniciar o aprendizado com recursos muito elementares; à medida que eles avançam para etapas adiantadas, aumenta-se o grau de complexidade e abstração dos desafios.

Os limites existentes à circulação dos mapas nas escolas introduzem dificuldades para se interpretar feições de relevo. Um exemplo é a capacidade prática de se elaborar um perfil topográfico a partir de um mapa e, a partir dele, visualizar em três dimensões as feições e a morfologia do relevo. A Figura 7 permite ir além; o aluno pode testar se a escala gráfica equivale à escala numérica: houve redução ou ampliação da planta?

Sem pretender fazer uma “volta ao passado” dos mapas em papel, volumosos, difíceis de manusear e muitas vezes de acesso restrito, apresentamos uma proposta ajustada aos tempos da cartografia digital, com base em alguns conceitos, fundamentos teóricos e recursos didáticos. Convidamos os professores e seus alunos de Educação Básica a “trabalhar” com mapas e a refletir sobre o tema. Os exemplos simples, aqui reunidos, possibilitam fazer exercícios práticos de visualização 3D. O material didático pode fundamentar novos desenvolvimentos.

Uma consequência direta da baixa veiculação do conhecimento geocientífico na educação básica – em geral restrito a meras chamadas pontuais – é o enfraquecimento do debate ambiental. O processo formará adultos incapazes de analisar criticamente temas polêmicos cuja compreensão demanda dos participantes uma fundamentação teórica e prática, como é o caso das discussões sobre desastres naturais, sustentabilidade, riscos geológicos, provimento de recursos naturais e outros tópicos interligados.

Ideias relevantes do capítulo

Na era digital, o desenvolvimento das habilidades humanas ligadas à leitura de mapas e à capacidade de orientação espacial está seriamente ameaçado.

- Os smartphones e outros dispositivos em ambiente digital facilitam o acesso a informações cartográficas para a localização de lugares, cidades e limites de municípios, estados e países.
- O desenvolvimento de uma competência de leitura de mapas requer habilidades cognitivas e de atitude que fazem parte dos objetivos fundamentais da educação.
- Todos devem ser capazes de usar mapas para localizar-se, orientar-se espacialmente, usar as escalas, e as aproximações que estas últimas determinam, na representação geográfica de lugares, comunidades, cidades e países.
- Mapas topográficos constituem uma solução simples para representar o relevo.
- As curvas de nível, ou linhas de igual elevação, permitem cartografar e representar colinas, morros, vales, escarpas, cânions e montanhas.
- O aprendizado de recursos cartográficos precisa ser gradual, aumentando-se a complexidade do desafio à medida em que o estudante avança nos estudos.
- Os professores precisam evitar pedir informações que os jovens conseguem obter com facilidade nos celulares.
- Os recursos didáticos precisam ser repensados, buscando capturar o interesse do aluno em busca da descoberta, da colaboração, da autonomia e da responsabilidade pelo auto-aprendizado.
- A representação da natureza em perspectiva, com um ponto de fuga único, é considerada a perspectiva natural do olhar humano, mas as tecnologias introduziram outras formas de ver o mundo, como o deslocamento virtual ou a realidade aumentada.
- O aprendizado da Geografia e da Geologia é beneficiado pela conexão entre prática e teoria, embora sejam necessários outros elementos para nutrir reflexões espaciais mais complexas, como os problemas político-econômico-sociais que se reproduzem em escala planetária.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por bolsas de iniciação científica concedidas a alunos de graduação participantes de diversas pesquisas e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por bolsas de mestrado e doutorado concedidas a seus orientados.

Referências

- Alberti, L. (1989). *Da pintura*. Trad. Antonio S. Mendonça, Introd. Cecil Grayson. 2 ed. Campinas: Ed. Unicamp. 161p.
- Alden, A. (2019). *How to Read a Geologic Map*. About.com Guide at ThoughtCo. URL: <http://geology.about.com/od/maps/ss/How-To-Read-A-Geologic-Map.htm>. Acesso 14.04.2025.
- Amaral, I. A. do. (1981). *O conteúdo e o enfoque dos livros de geologia introdutória*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 259p. (Dissertação, Mestrado em Geociências). URL: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44131/tde-15072015-151724/publico/Amaral_Mestrado.pdf. Acesso 02.05.2024.
- Anguita Virella, F. (1996). Geología y Ciencias de la Tierra: etimología y un poco de historia. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4(3)177-180. URL: <https://hdl.handle.net/20.500.14352/59780>. Acesso 19.11.2025.
- Argo3D (2019). *Home page. We want to believe*. Argo3D Augmented and virtual reality for Geology and Geophysics. Argo3D Platform. URL: <https://argo3d.unimib.it/>. Acesso 08.07.2025.
- Barbosa, R. (2003). *Projeto Geo-Escola: recursos computacionais de apoio ao ensino de Geociências nos níveis fundamental e médio*. Campinas : Inst. Geoc., Univ. Est. Campinas. (Dissert. Mestr. PEHCT). DOI: <https://doi.org/10.47749/T/Unicamp.2003.288019>.
- Barbosa, R. (2013). *Projeto Geo-Escola: Geociências para uma escola inovadora*. Campinas : Inst. Geoc., Univ. Est. Campinas. (Tese Dout. PEHCT). DOI: <https://doi.org/10.47749/T/Unicamp.2013.920387>.
- Blázquez, M. J., Carrillo, L., Gracia, J. J., & Valenzuela, R. (1994). Trabajar con mapas. *Rev. de la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2(1), 260-267. URL: <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/88140/141618>. Acesso 02.05.2024.
- Brasil. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). (2020). *Relatório Brasil no Pisa 2018*. Brasília: INEP. URL: <https://www.gov.br/inep/pt-br/centrais-de-conteudo/acervo-linha-editorial/publicacoes-institucionais/avaliacoes-e-exames-da-educacao-basica/relatorio-brasil-no-pisa-2018>. Acesso 14.04.2025.

- Carneiro C. D. R. (2001). *Geologia da região de Jundiá-Atibaia. Projeto Evolução crustal da região de Jundiá-Atibaia e implicações conceituais para ensino de campo em geologia e planejamento da ocupação*. Campinas (SP). 90p., 9 anexos (3 mapas). (Rel. Cient. Final, FAPESP/CNPq).
- Carneiro, C. D. R., Silva, A. B., & Reginato, M. (1998). *Bases plani-altimétricas digitais da região de Jundiá-Atibaia para produção de material didático*. In: Congr. Bras. Geol., 40, Belo Horizonte, 1998. Anais... Belo Horizonte, SBG. p. 186.
- Carneiro, C. D. R., Toledo, M. C. M. de, & Almeida, F. F. M. de. (2004). Dez motivos para a inclusão de temas de Geologia na Educação Básica. *Revista Brasileira de Geociências*, 34(4), 553-560. DOI: 10.25249/0375-7536.2004344553560.
- De Martonne, E. (1953). *Panorama da Geografia*. v. 1. Lisboa: Cosmos. 979p.
- De Paor, D., & Whitmeyer, S. (2009). Innovation and obsolescence in Geoscience field courses: past experiences and proposals for the future. In: Whitmeyer, S. J., Mogk, D. W. & Pyle, E. J. (Eds.) (2009). *Field Geology Education: Historical Perspectives and Modern Approaches*. Boulder, CO: Geological Society of America, Special Paper, 461, p. 45-56. ISBN: 978-0-8137-2461-4. DOI: [https://doi.org/10.1130/2009.2461\(10\)](https://doi.org/10.1130/2009.2461(10)).
- Desresmaux, A., & Schmidt, D. (1988). *Moïse Géographe. Recherches sur les représentations juives et chrétiennes de l'espace*. Paris: Librairie Philosophique J. Vrin. URL: https://archive.org/download/Moise.GeographeDesreumaux.Schmidt1988/Moise.Geographe_Desreumaux.Schmidt%2C1988.pdf. Acesso 14.04.2025.
- Ellemberger, F. (1983). Recherches et réflexions sur la naissance de la cartographie géologique, en Europe et plus particulièrement en France. *Histoire et Nature*, (22-23), p. 3-54.
- Esteves, P. E. C. C., & Regalía, D. A. (2023). Como estão sendo formados em Ciências Naturais aqueles que vão formar? In: Carneiro, C. D. R. (Org.), & Santos, G. C. (Ed. Técnico). (2023). *Explorando a Terra na Educação Básica*, v. 1. Campinas: Universidade Estadual de Campinas. p. 33-50. (Série Ciências da Terra na Educação Básica, Progr. Pós-Grad. Ensino e História de Ciências da Terra). DOI: <https://doi.org/10.20396/ISBN9786599482908>. ISBN: 978-65-994829-0-8.
- Geocamp (2023). *Perfil topográfico*. Girona y Barcelona: Proyecto Geocamp. URL: <http://www.geo-camp.net/es/trabajo-campo/preparando-excursion/donde-vamos/mapa-topografico/perfil-topografico>. Acesso 14.04.2025.
- Guzzo, G. B., & Lima, V. M. R. (2018). *O exercício do pensamento crítico em face dos vieses cognitivos*. In: Anais do X Congresso Iberoamericano de Docencia Universitaria, 2018, Porto Alegre: X CIDU. URL: http://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/15072/2/O_EXERCICIO_DO_PENSAMENTO_CRITICO_EM_FACE_DOS_VIESES_COGNITIVOS.pdf. Acesso 14.04.2025.

- Hannoun, H. (1972). *El niño conquista el medio*. Buenos Aires, Kapelusz.
- Harrell, J. A., & Brown, V. M. (1992). The world's oldest surviving geological map: the 1,150 B.C. Turin papyrus from Egypt. *Chicago: J. Geol.*, 100, 3-18. DOI: <https://doi.org/10.1086/629568>.
- Heer, J., & Khooshabeh, P. (2003). *Seeing the Invisible. A Socio-Psychological Review of the Disappearing Computer*. In: Proceedings of the Workshop on Invisible & Transparent Interfaces, Advanced Visual Interfaces (2004), May 25-28. Lecce, Italy. (CS294-2 Ubiquitous Computing, Fall 2003, Prof. Anind Dey, Instructor). URL: <https://www.cs.cmu.edu/~jasonnh/courses/ubicomp-sp2007/papers/09-2004-Invisibility-AVI-ITI.pdf>. Acesso 14.04.2025.
- Hodder, A. P. W. (1997). The transformation of Geology to Earth Sciences: an example of the appropriation of technology by science. *Int. J. Sci. Educ.* 19(5), 553-563. DOI: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0950069970190504>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (1972). *Folha topográfica de Jacaré*. Folha "jacarei27693" da carta do Brasil, escala 1:50.000. Rio de Janeiro: IBGE. URL: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/folhas-topograficas/15809-folhas-da-carta-do-brasil.html?edicao=16041&t=downloads>. Acesso 14.04.2025.
- Lacoste, Y. (2002). *A Geografia. Isso serve, em primeiro lugar, para fazer a guerra*. 6ª ed. Trad. Maria Cecília França. Campinas: Papirus. URL: <https://geografiaeconomicaesocial.ufsc.br/files/2016/05/yves-lacoste-geografia-serve-para-fazer-a-guerra.pdf>. Acesso 14.04.2025.
- Ladeira, F. F. (2023). *A Geografia: isso serve para fazer (e também ocultar) a guerra*. São Paulo: Redação Jornal GGN. Publ. 20.11.2023. URL: <https://jornalggn.com.br/geopolitica/a-geografia-isso-serve-para-fazer-e-tambem-ocultar-a-guerra/>. Acesso 14.04.2025.
- Libault, A. (1971). *Atlas do Estado de São Paulo*. São Paulo: IGEOG-USP. URL: <https://pt.map-of-sao-paulo.com/pdf/a-topografia-de-s%C3%A3o-paulo-mapa-em-pdf.pdf>. Acesso 14.04.2025.
- Lima, A. T. F. (2013). *O conhecimento sócio-ambiental local como estratégia de valorização do lugar: projeto Geo-Escola em Cajamar, SP*. Campinas: Inst. Geoc., Unicamp. 100p. (Dissert. Mestr. PEHCT). DOI: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2013.907961>.
- Lima, G. R. C. P. (2007). *O tesouro dos mapas: a cartografia dos livros didáticos de geografia do ensino fundamental*. Campinas, SP, Programa de Pós-Graduação em Ensino e História de Ciências da Terra (PEHCT), Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. (Dissert. Mestrado). DOI: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2007.403563>.
- Marques, L., & Praia, J. (2009). Educação em Ciência: actividades exteriores à sala de aula. *Terræ Didática*, 5(1), 10-26. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v5i1.8637493>.

- Mayer, V. J. (1993). *Earth Systems Education*. March 1993. ERIC Development Team. (Updated June 2003). URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED359049.pdf>. Acesso 08.07.2025.
- Miguel, G. F. (2023). *Educação por objetivos e Neurociências aplicados ao desenvolvimento do raciocínio geológico. [recurso eletrônico]*. Tese (Doutorado, Ens. Hist. Ciências da Terra). Campinas, SP, Brasil, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. DOI: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/15480>.
- Parejo, L. C. (s.d.). *Escala gráfica. Aprenda a interpretar mapas*. UOL.Pesquisa escolar. Geografia. URL: <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/escala-grafica-aprenda-a-interpretar-mapas.htm>. Acesso 08.07.2025.
- Pedrinaci, E., Alcalde, S., Alfaro, P., Almodóvar, G. R., Barrera, J. L., Belmonte, Á, Brusi, D., ... & Roquero, E. (2013). Alfabetización en Ciencias de la Tierra. *Rev. de la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21(2), 117-129. URL: <http://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/274145/362238>. Acesso 14.04.2025.
- Punie, Y. (Editor), & Redecker, C. (Author). (2017). *European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu*. Luxembourg, Publications Office of the European Union, EUR 28775 EN, ISBN 978-92-79-73718-3 (print), 978-92-79-73494-6 (pdf), DOI: <https://doi.org/10.2760/178382> (print), <https://doi.org/10.2760/159770> (online), JRC107466.
- Ribeiro, M. H., & Argollo Ferrão, A. M. (2023). História em Quadrinhos como ferramenta didática de Astronomia no Ensino Fundamental 2. In: Carneiro, C. D. R. (Org.), & Santos, G. C. (Ed. Técnico). (2023). *Explorando a Terra na Educação Básica*, v. 1. Campinas: Universidade Estadual de Campinas. p. 151-164. (Série Ciências da Terra na Educação Básica, Progr. Pós-Grad. Ensino e História de Ciências da Terra). DOI: <https://doi.org/10.20396/ISBN9786599482908>. ISBN: 978-65-994829-0-8.
- Ribeiro, T. (2019). *O percebido, concebido e vivido: possibilidades metodológicas à educação geográfica*. Chapecó: Curso de Graduação em Geografia, Universidade Federal da Fronteira Sul. 46p. (Trab. Concl. Curso). URL: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/3141>. Acesso 14.04.2025.
- Richardson, A. E., Montello, D. R., & Hegarty, M. (1999). Spatial knowledge acquisition from maps and from navigation in real and virtual environments: *Memory & Cognition*, 27, 741-750. URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.3758/BF03211566.pdf>. Acesso 14.04.2025.
- Roitman, I. (2010). Educação: para onde vamos? *Correio Braziliense*, 11.05.2010. URL: <https://www.abc.org.br/2010/05/11/educacao-para-onde-vamos/>. Acesso 14.04.2025.
- Rudwick, M. J. S. (1976). The emergence of a visual language for geological

- science 1760-1840. London: *History of Science*, 14(3), 149-195. DOI: <https://doi.org/10.1177/007327537601400301>.
- Santos, M. C. R. dos. (1989). *Manual de fundamentos cartográficos e diretrizes gerais para elaboração de mapas geológicos, geomorfológicos e geotécnicos*. São Paulo: SCTDE/Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais (Pró-Minério/IPT). 54p.
- São Paulo (Estado). (2014). *Mapa Rodoviário do Estado de São Paulo*. São Paulo: Secretaria de Logística e Transportes. URL: <https://www3.al.sp.gov.br/repositorio/noticia/N-08-2015/fg173740.jpg>. Acesso 14.04.2025.
- Satyanarayanan, M. (2001). Pervasive Computing: Vision and Challenges. *IEEE Personal Communications*, 8(4), 10-17. URL: <https://w3.cs.jmu.edu/bernstdh/Web/CS685/papers/satyanarayanan-2001.pdf>. Acesso 14.04.2025.
- Siqueira, P. H. (2020). Ambientes web para o ensino de superfícies topográficas em realidade aumentada e realidade virtual. *Terræ Didática*, 16, 1-9, e20001. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v16i0.8655900>.
- Sperandio, D. G., Gomes, Cristiane., & Vicozzi, A. (2020). Mapa geológico interativo: proposta para ensino de Geociências. *Terræ Didática*, 16, 1-5, e020019. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v16i0.8658885>.
- Tildes, P. (2007). *Formas de relevo e curvas de nível*. Geographicae... because Geo-Literacy is important! (Blog). Junho 9, 2007. URL: <https://geographicae.wordpress.com/wp-content/uploads/2007/06/topo1.jpg>. Acesso 14.04.2025.
- United States Geological Survey (USGS) (2024). *Educational Resources*. USGS. URL: <https://www.usgs.gov/educational-resources>. Acesso 08.07.2025.
- USGS Educational Resources. (2024). *Take-out Lid 3D Topographic Map Model. Teaching Earth Science and Geography with USGS Topographic and Thematic Maps*. Denver: USGS. URL: <https://www.usgs.gov/educational-resources/take-out-lid-3d-topographic-map-model>. Acesso 08.07.2025.
- Vesentini, J. W. (1988). (Apres.) Yves Lacoste. *A Geografia. Isso serve, em primeiro lugar, para fazer a guerra*. São Paulo: Sabotagem Contracultura. URL: <https://drive.google.com/file/d/0By2YEPBv-ZQ2UTRXclZBaXktWEE/view?usp=sharing>. Acesso 14.04.2025.
- Wallace, G. W. (2015). *Sometimes MashUps are misleading: Dale's Cone and retention data*. Morganton NC, USA. Pursuing Performance. URL: <https://eppic.biz/2015/02/02/sometimes-mashups-are-misleading-dales-cone-and/>. Acesso 14.04.2025.
- Wiegand, P. (2006). *Learning and Teaching with Maps*. London & New York: Routledge. [ISBN 0-203-47779-0 Master e-book ISBN]. URL: <https://www.scribd.com/document/854535211/learning-and-teaching-with-maps>. Acesso 08.07.2025.
- Winchester, S. (2004). *O mapa que mudou o mundo*. Trad. Suyan Marcondes

- Orsbon. Rio de Janeiro: Record. 412p.
- Wood, C., Poslad, S., Kaniadakis, A., & Gabrys, J. (2017). *What lies above: alternative user experiences produced through focussing attention on GNSS infrastructure*. In: DIS '17: Proceedings of the 2017 Conference on Designing Interactive Systems, June 2017, p. 161-172. DOI: <https://doi.org/10.1145/3064663.3064757>.
- Wood, D. (2014a). *Maps, Art, Power*. New York: Denis Wood's webpage. URL: <https://www.deniswood.net/content/RioPaper.pdf>. Acesso 14.04.2025.
- Wood, D. (2014b). *Maps, Art, Power*. UERJ, Espaço e Cultura, 36, p. 9-33. URL: <https://www.deniswood.net/content/MapsArtPower.pdf>. Acesso 12.04.2025.
- Wood, D., & Fels, J. (1986). Designs on Signs/Myth and meaning in maps. *Cartographica*, 23(3), 54-103. DOI: <https://doi.org/10.3138/R831-50R3-7247-2124>.
- Wood, D. (1992). *The power of maps*. With John Fels. New York: The Guilford Press. 248p. ISBN 0-89862-492-4.

O mitológico vulcão de Poços de Caldas

Desvendando um curioso boato “geológico”

Celso Dal Ré Carneiro
André Lopes de Souza

Um vulcão “dormente”?

Um boato que circulou há tempos entre moradores da cidade de Poços de Caldas levou muitos a acreditar na existência de um grande vulcão dormente capaz de, repentinamente, entrar em erupção e destruir tudo (Bodas, 2007, Peres, 2010). A crença teria algum fundo de verdade? Qual a diferença entre um vulcão dormente e uma caldeira vulcânica extinta? Embora atualmente o Brasil não possua vulcões ativos, existe abundante registro de incontáveis manifestações vulcânicas ao longo do Tempo Geológico, que abrange todos os 4,55 bilhões de anos de história da Terra¹. Variados tipos de rochas ígneas atravessam as unidades rochosas mais antigas, que fazem parte do chamado “embasamento cristalino”. Corpos ígneos também estão presentes nas ilhas oceânicas e nas bacias sedimentares do interior continental, como as do Paraná, Parnaíba e Amazonas. Ao analisarmos mapas geológicos do Sudeste brasileiro, encontraremos rochas que evidenciam a intensa atividade magmática ocorrida no Mesozoico, há mais de 66 milhões de anos (ver Almeida & Carneiro, 2012 e Almeida et al., 2012).

O presente Capítulo apresenta uma revisão de literatura que busca desmitificar a ideia de um “vulcão preguiçoso”. A partir dos resultados, sugerimos algumas referências para aprofundamento de leitura, junto com um material didático para que os professores possam explorar criativamente as rochas, os bens minerais valiosos e o relevo do chamado Planalto de Poços de Caldas, cuja altitude média é de 1.200 m. Especificamente na área do Planalto de Poços de Caldas (Fig. 1), dependendo da escala do mapa que formos analisar, é possível identificar uma rica variedade de rochas ígneas, formadas durante o Cretáceo, que terminou há 65,5 Ma (a sigla Ma designa um milhão de anos).

1 Utilizamos neste Capítulo a versão 6.0 da Escala do Tempo Geológico, publicada por Walker & Geissman (2022), acessível no *website* da *Geological Society of America*.

Devido a seu formato semicircular, alguns desavisados podem imaginar que todo o planalto seja um único vulcão, quanto, na verdade, trata-se de depósitos superpostos de rochas eruptivas alcalinas, que compõem a *Caldeira Vulcânica de Poços de Caldas* (conforme definição original de Ellert, 1959). As rochas eruptivas alcalinas (formadas na superfície da Terra) são cortadas por rochas intrusivas (formadas nas profundezas da Terra). Poços de Caldas é o maior dos grandes maciços alcalinos mesozoicos que compõem um “colar” ao redor da Bacia do Paraná (ver Almeida, 1983, e *Vulcões no Brasil*, em *Ciência Hoje*, 1989, n. 62, p. 29-36). Os corpos alcalinos de Itatiaia, Passa Quatro e Mendanha, situados na região limítrofe dos estados de SP, RJ e MG, possuem tamanho menor, porém a origem e as idades são similares às de Poços de Caldas.

Uma estrutura semicircular

A Figura 1 expõe o formato semicircular da estrutura que sustenta o planalto. A estrutura possui cerca de 800 km² de área e um diâmetro norte-sul de aproximadamente 32 km. A imagem indica a malha rodoviária, a vegetação e os nomes de localidades. Ilustra ainda o notável anel de



Figura 1. Modelo Digital de Elevação da região do Planalto de Poços de Caldas, destacando o relevo, a vegetação, localidades e sistema de rodovias.

Fonte: <http://maps.google.com/>

serras que contornam o Planalto de Poços de Caldas. A Caldeira Vulcânica manteve-se ativa durante milhões de anos, com diversas etapas de vulcanismo e magmatismo associado, conforme veremos adiante. Na parte NW do mapa da Figura 1, são visíveis grandes fraturas e falhas retilíneas, que controlam o traçado de alguns cursos d'água. Trata-se de grandes estruturas orientadas segundo NE-SW. Um exemplo notável encontra-se a meio caminho entre as cidades de Poços de Caldas e São Sebastião da Gramma.

Bodas (2007), reproduzido em Peres (2010), assinala que os vestígios de lava vulcânica são encontrados somente na parte interna da grande caldeira vulcânica: “se fosse mesmo um enorme vulcão, haveria presença de lava a centenas de quilômetros ao redor das montanhas, o que não ocorre” (Bodas, 2007).

Águas termais

Se o vulcanismo aconteceu há tanto tempo, por que ainda afloram águas quentes no Planalto de Poços de Caldas e em outros pontos do território nacional, como Caldas Novas (GO) e Barra do Garças (MT)? A explicação utiliza o conceito de gradiente geotérmico, correspondente à taxa de incremento da temperatura em função da profundidade. A taxa depende da condutividade térmica das rochas e da espessura da crosta, ou seja, da proximidade do manto, que é mais quente. Assim, quanto mais próxima do manto estiver a área considerada e mais condutoras de calor forem as rochas ali predominantes, maior será o gradiente geotérmico. Nas cadeias meso-oceânicas, o gradiente é alto, e tende a ser muito menor em zonas antigas do interior das placas tectônicas. O gradiente médio no Planalto de Poços de Caldas é de 34°C/km, enquanto em suas redondezas é de 10°C/km.

A explicação sobre o funcionamento das fontes quentes ajuda a derrubar a crença em uma improvável atividade vulcânica moderna. As águas termais se originam pela infiltração da água em superfície através de falhas e fraturas das rochas. Conforme ganha profundidade, em zonas de elevado gradiente geotérmico, a água sofre aumento da temperatura. Ao atingir rochas pouco permeáveis, pode encontrar algum sistema de falhas e fraturas e ascender novamente até a superfície (Fig. 2). No caso do Planalto de Poços de Caldas (Fig. 3), o gradiente geotérmico é alto por razões ainda imperfeitamente compreendidas; isso facilita o processo de formação de águas termais, pois a água pode ganhar altas temperaturas mesmo sem precisar atingir grandes profundidades na crosta. Podemos,

então, concluir que a ocorrência de fontes quentes nada tem a ver com atividade vulcânica atual. Houve, porém, atividade pretérita, há pouco mais de 60 milhões de anos, conforme veremos a seguir.

Para afastar completamente a crença na dormência do vulcão de Poços de Caldas, é preciso ter em mente outro conceito: o de Tempo Geológico. Podemos, de forma didática, distinguir três escalas de tempo: a humana, medida em anos; a histórica, em séculos; e a geológica, em milhões de anos. Dessa forma, os processos geológicos ocorrem em escala temporal muito mais ampla que a da vida cotidiana. Para estimar as ordens de grandeza, considerando a idade da Terra como 4,56 Ga (1 Ga = 1 bilhão de anos), um milênio seria equivalente a $2,2 \times 10^{-5} \%$ de sua história, e a vida média de um ser humano, apenas $2,19 \times 10^{-7} \%$. Se transpusermos a idade da Terra para o tempo equivalente a um ano, os primeiros homínidos apareceriam somente por volta das 20h32 do dia 31 de dezembro. Ou ainda, se considerarmos 100 anos como equivalente a uma geração humana e transpusermos para a idade da Terra, precisaríamos atravessar 45 milhões de gerações (ou 45 milhões de séculos) para atingirmos a idade atual do planeta. Fica claro porque se tornam extremamente difíceis e duvidosas as comparações simplistas de processos humanos e históricos com geológicos (Martins & Carneiro, 2023).

As medidas de idade (datações radiométricas) das rochas ígneas da Caldeira Vulcânica de Poços de Caldas (Bacha et al., 2020) remontam ao Cretáceo Superior, em um intervalo aproximado entre 83 e 64 milhões de anos (Ulbrich et al., 2002). A partir desse período, não houve atividade, sendo inviável pensar que repentinamente o fenômeno possa voltar a ocorrer. Ainda que fosse possível uma reativação, ela aconteceria de forma gradual, gerando evidências distribuídas pela *escala geológica* do tempo. Isso quer dizer que os registros ultrapassam muito a escala de tempo histórica.

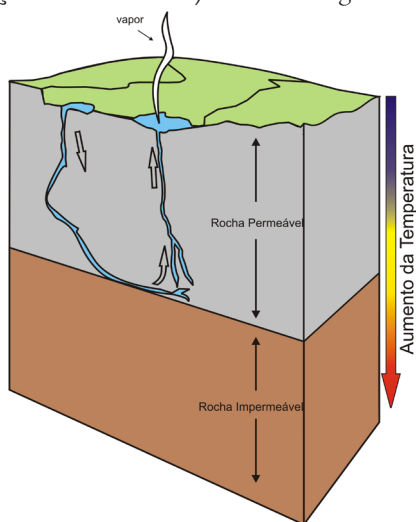


Figura 2. Esquema simplificado da origem de fontes de águas quentes como as de Poços de Caldas

Um vulcão antigo?

Agora que sabemos ser inviável haver algum vulcanismo ativo na região, surge nova pergunta: a Caldeira Vulcânica de Poços de Caldas foi um vulcão?

De fato, a configuração do planalto permite elaborar diversas interpretações, o que pode incluir hipóteses incompletas ou eventualmente errôneas. O formato semicircular, apesar do tamanho grande (Fig. 3), é semelhante à forma de alguns edifícios vulcânicos modernos; ademais, um cordão de serras acentua o formato circular, como se pode notar nas figuras 1 e 3. Em praticamente toda a borda do planalto, há montanhas que apresentam desníveis que atingem cerca de 400 m em relação ao exterior da caldeira e 200 m ao seu interior.

A atividade vulcânica está necessariamente relacionada ao extravasamento de magma, ou seja, um material líquido que aflora à superfície. É preciso estabelecer uma distinção entre magma, que é o material fundido, rochoso, em subsuperfície, e a lava, seu correspondente que extravasou: “tratar de rochas fundidas e seus produtos é especialmente estratégico para revelar o quão pouco conhecemos da natureza” (Gonçalves & Carneiro, 2006-2007, p.63).

O termo *intrusão ígnea* possui um caráter bastante abrangente: indica movimento ascendente de magma rumo à superfície, sem que necessariamente ocorra extravasamento. Dependendo do tipo de magma, podem surgir gigantescos corpos intrusivos, formados por rochas lentamente

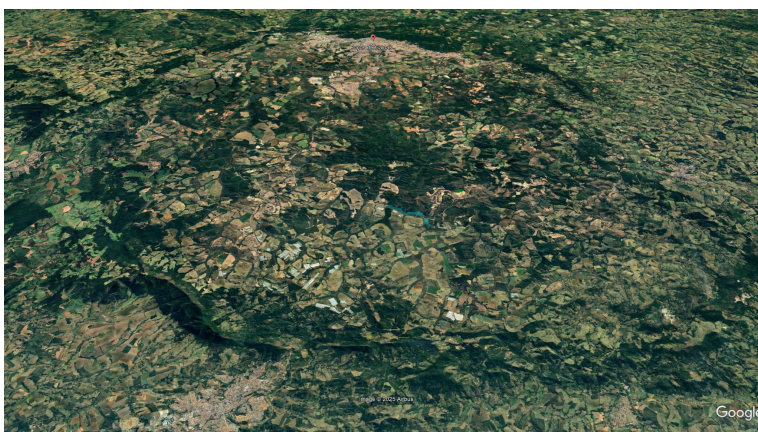


Figura 3. Imagem em perspectiva oblíqua da bela estrutura circular do Planalto de Poços de Caldas. Fonte: Imagem 2025© Airbus Landsat / Copernicus 07.05.2025.

resfriadas em subsuperfície. Em alguns casos, o território afetado por emanções vulcânicas pode ser extremamente amplo, mas, em geral, para o tipo de magma que se formou na região de Poços de Caldas, os corpos profundos acumulam volumes de rocha magmática ainda maiores do que os volumes de lava expulsos pelos vulcões correspondentes.

O magma que se formou na região era alcalino, ou seja, rico em álcalis (sódio, potássio) e pobre em sílica, o que o torna mediana a altamente viscoso. Também é enriquecido em gases voláteis, o que gerou erupções explosivas, confirmadas pela presença de rochas típicas, como tufo e brechas vulcânicas (Alves, 2003, Bacha et al., 2020). Os grandes corpos de Poços de Caldas, Itatiaia, Passa Quatro e outros fazem parte de um colar de intrusões ígneas que se desenvolveu ao longo de extensa estrutura da crosta terrestre, denominada *Alinhamento Magmático de Cabo Frio* (Almeida, 1991) (Fig. 4). É curioso observar que as idades médias aproximadas dos sucessivos corpos decrescem de noroeste para sudeste (Pires et al., 2014). As idades radiométricas mais antigas pertencem à Caldeira Vulcânica de Poços de Caldas.

Fixados alguns conceitos essenciais, agora é preciso entender a evolução geológica do Planalto como forma de dissipar (ou, melhor dizendo, *enterrar*) de vez o mito. Reinhold Ellert, em 1959, estabeleceu um modelo de caldeira vulcânica, simplificado na Figura 5. Para entender

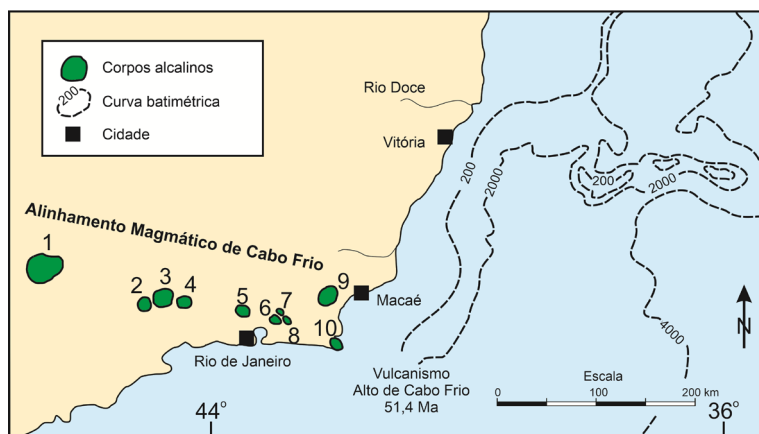


Figura 4. Alinhamento Magmático de Cabo Frio. Baseado em Thomaz Filho & Rodrigues (1999) e Pires et al. (2014). Maciços: 1- Poços de Caldas (72,4 Ma); 2- Passa Quatro (66,7 Ma); 3- Itatiaia (71,8 Ma); 4- Morro Redondo (65,6 Ma); 5- Tinguá (66,7 Ma); 6- Tanguá (62,4 Ma); 7- Soarinho (62,4 Ma); 8- Rio Bonito (62,4 Ma); 9- Morro de São João (60,1 Ma); 10- Cabo Frio (53,4 Ma). Modif. Pires et al. (2014)

de que modo se edificou um relevo como esse, sobre um corpo de rochas alcalinas, examinemos em pormenor a Figura 5. Na primeira etapa, há intrusão de magma, que gera soerguimento topográfico da região (Etapas 1 e 2). Posteriormente (Etapa 3), ocorre a extrusão, ou seja, o magma chega à superfície. Nota-se que isso

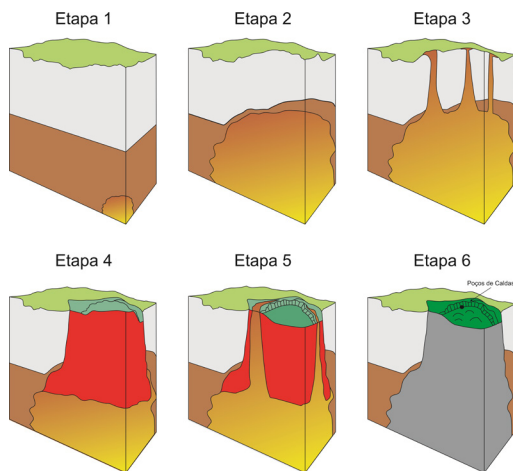


Figura 5. Modelo evolutivo de caldeira vulcânica.
Baseado em Ellert (1959)

acontece em vários lugares, o que quer dizer que existiram alguns vulcões dentro do planalto. Em seguida a intrusão retrocede (Etapa 4), o que faz com que a parte central da estrutura levantara em colapso, formando uma depressão topográfica. Na Etapa 5, ocorre reativação do processo extrusivo, porém, agora circunscrito ao anel topográfico. Por fim, o processo se finaliza, consolidando o que, após várias etapas de erosão diferencial, viria a formar o Planalto de Poços de Caldas. O fenômeno da erosão diferencial explica as proeminentes serras anelares que contornam cerca de três quartas partes da periferia do planalto (Figs. 1 e 3). As serras são sustentadas por espessos corpos verticais de uma rocha chamada tinguaito, altamente resistente à erosão (Almeida, 1964).

A movimentação do magma gerou as raízes da estrutura geológica de Poços de Caldas (Fig. 6), originando falhas e fraturas que atualmente permitem circulação de água. Hoje ali se extrai bauxita, que é um minério de alumínio gerado no perfil de solo pela acumulação de componentes intemperizados, isto é, aquele material residual que sobrou após a lixiviação química de rochas ricas no mineral feldspato. Estudos modernos evidenciam grande potencial para a extração econômica de elementos terras raras (Schenk, 2024), uma vez que na composição do magma alcalino havia elementos raros, como urânio, tório, zircônio e molibdênio, que compõem diversos minerais explorados economicamente (usa-se o termo técnico *explorados*) no Planalto:

Os Óxidos Magnéticos de Terras Raras (MREO), compostos por elementos como neodímio, praseodímio, disprosio e térbio, são essenciais para tecnologias avançadas, como veículos elétricos e turbinas eólicas (Schenk, 2024, s.p.).

Sobre a existência de vulcões dentro do complexo, não há como precisar quantos foram, nem onde se localizaram, pois a erosão já removeu grande parte das evidências conclusivas. Certos tipos de rocha encontrados na região revelam ter existido manifestação vulcânica. Além disso, reconhecem-se condutos vulcânicos, que são canais que levaram magma até a superfície. Dentre as rochas ígneas da região, observam-se em maior proporção rochas plutônicas (sinônimo de intrusivas) e subvulcânicas (que cristalizam em média profundidade), ao passo que grande parte das rochas vulcânicas foi removida. Em outros termos, os edifícios vulcânicos que outrora existiram foram arrasados pela erosão. O nível topográfico atual atingiu o grande corpo intrusivo do qual partiram os condutos que alimentaram os antigos vulcões.

As etapas erosivas relacionam-se ao desenvolvimento de vastas superfícies de aplainamento regional (Almeida, 1964, 2018). Uma superfície de aplainamento se desenvolve durante longo intervalo de tempo em que ocorre desgaste (peneplanção) de extensa região.

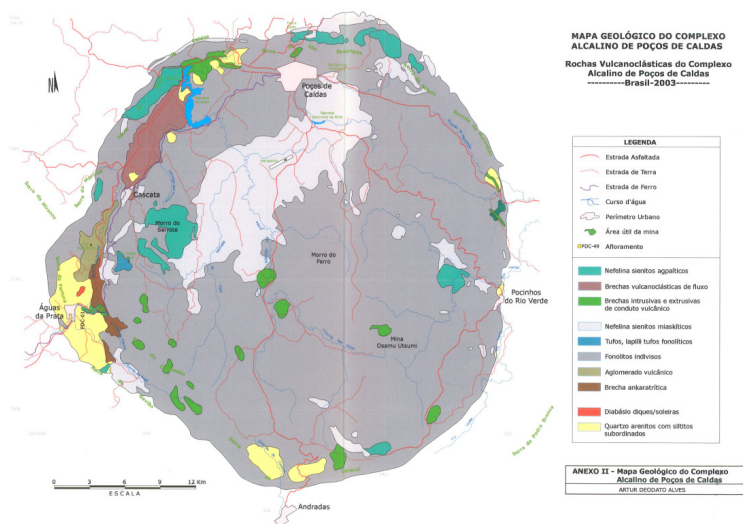


Figura 6. Mapa geológico do Maciço de Poços de Caldas. Fonte: Alves (2003, Anexo 1)

Quando, por exemplo, a erosão atinge um estágio avançado, sob clima semiárido, origina-se um relevo caracterizado por vastas áreas planas e encostas de baixas declividades.

Identificando rochas vulcânicas e plutônicas

Dentre as rochas intrusivas de Poços de Caldas, predomina o nefelina sienito (Fig. 6), uma rocha alcalina de granulação grossa, rica em feldspato potássico. Algumas rochas vulcânicas encontradas na região são as brechas, compostas por fragmentos de lava, cinza vulcânica e blocos expelidos a grande distância, além de fonólitos que possuem granulação muito fina, ou seja, são desprovidos de cristais visíveis. A Tabela 1 contém breve descrição de algumas rochas do Planalto de Poços de Caldas.

Alguns autores acham necessário rever os critérios tradicionais de subdivisão das rochas ígneas. A classificação mais comum distingue as rochas extrusivas, as hipoabissais e as plutônicas. As primeiras possuem grãos finos porque não houve tempo suficiente para formar cristais visíveis a olho nu. Ao resfriarem em superfície, houve rápida perda de calor: dizemos que houve uma *consolidação*; as rochas hipoabissais seriam cristalizadas em subsuperfície e teriam granulação média; as rochas plutônicas possuiriam grãos grossos porque teriam se resfriado em profundidade, no processo denominado *cristalização*:

Na superfície a lava sofre *consolidação*, pois a perda de calor é mais rápida. Até mesmo no interior de uma grande massa de lava exposta à superfície, a primeira “casca” de rocha endurecida que se forma constitui uma espécie de “cobertor” térmico que dificulta a perda de calor, havendo tempo para que ocorra *cristalização*, processo bem mais lento. No primeiro caso, as rochas assim formadas chamam-se *rochas vulcânicas*, enquanto as formadas sob grandes profundidades na crosta recebem o nome de *rochas plutônicas*. Todas fazem parte da categoria das rochas magmáticas ou ígneas (formadas a partir do fogo) (Gonçalves & Carneiro, 2006-2007, p.63-64).

Atualmente, admite-se que a velocidade de resfriamento de um magma em profundidade ou em superfície é o fator mais relevante para definir a granulação das rochas magmáticas, não a profundidade de colocação (Motoki & Sichel, 2006). Não há, portanto, uma correlação

Tabela 1. Diferentes tipos de rochas ígneas e sedimentares do Planalto de Poços de Caldas, segundo Alves (2003)

Rochas	Características
Rochas Sedimentares	
Arenito	Rocha de alta porosidade, com siltitos na base; recobria toda a região antes da intrusão ígnea
Rochas Ígneas Piroclásticas	
Brecha e aglomerado	Lava preenchida por fragmentos de rochas (clastos), que podem atingir tamanhos decimétricos
Tufito e <i>lapilli</i>	Depósitos de sedimentos de tamanho entre 2 mm e 64 mm, expelidos por vulcões
Rochas Vulcânicas	
Fonólito	Rocha sem grãos visíveis, ou muito pequenos. Os principais minerais são a nefelina e outros feldspatoides
Rochas Ígneas Subvulcânicas	
Brecha intrusiva	Rocha formada por fragmentos unidos entre si, que ocorre em condutos vulcânicos. Apesar de serem rochas intrusivas, essas brechas possuem características parecidas com as brechas extrusivas
Rochas Ígneas Plutônicas	
Nefelina sienito	Rocha com grãos grossos ou médios. Possui como minerais principais a nefelina e os feldspatos alcalinos. Existem diversas variedades de nefelina sienitos no Planalto de Poços de Caldas
Lujauritos	Rocha com granulação grossa. Possui eudialita, mineral que geralmente concentra elementos raros, como U, Zr, To, entre outros.
Chibinitos	Rocha com grãos grossos, com presença de feldspatoides. Este tipo de rocha está, no Planalto de Poços de Caldas, associado a lujauritos.

unívoca entre profundidade de cristalização da rocha e a presença de cristais de grande tamanho. Por exemplo, partes de um mesmo corpo, mesmo em superfície, podem apresentar granulação maior, e mesmo assim serem extrusivas. A parte mais externa desses corpos resfia mais rapidamente, gerando grãos finos, enquanto a interna cristaliza lentamente, formando-se cristais visíveis a olho nu (Fig. 7). Baseados nesse conceito, alguns estudiosos admitem que tenha havido uma total remoção das rochas vulcânicas da região devido à erosão, ficando somente as intrusivas, que podem ter granulação fina, média ou grossa.

Apesar da divergência, todos concordam que houve etapa vulcânica na evolução geológica do Planalto de Poços de Caldas e que esta já se encerrou há muito tempo. Podemos depreender, também, dessas ideias e informações técnicas sobre rochas ígneas da região, que não existe qualquer possibilidade imediata de reativação do magmatismo. Hoje o processo dominante na região é a erosão, que desgasta as rochas locais e lentamente rebaixa topograficamente o maciço.

Material didático sobre erupções e rochas vulcânicas

Maquetes, modelos e simulações são úteis para abordar a formação de rochas ígneas e a dinâmica dos processos de magmatismo e vulcanismo. O tema é complexo, uma vez que muitos tipos de rochas podem se formar a partir de um mesmo magma inicial. Além disso, dependendo da quantidade de sílica (SiO_2) presente no magma, podem se formar diferentes minerais que determinam a coloração das rochas ígneas, a depender de fatores como presença do mineral, tamanho dos cristais e quantidade relativa no conjunto da rocha.

Para ilustrar de forma simples como a Caldeira de Poços de Caldas teria se formado, é possível encontrar na internet simulações práticas de vulcões explosivos. A maior parte delas emprega reações químicas entre substâncias como vinagre e bicarbonato de sódio ou garrafas plásticas contendo refrigerantes. Os autores dos experimentos muitas vezes indicam materiais para ornamentar o modelo, que ajudam a dar uma aparência mais “realista” à erupção. Indicamos abaixo duas delas:

Nunes, T. (2019). *Atividade prática simulando um vulcão*. Blog Ponto Biologia. Post 03.10.2019. URL: <https://pontobiologia.com.br/atividade-pratica-vulcao/>. Acesso 21.06.2025.

Virtual Experiencia. (s.d.). *Lava vulcânica como simular com segurança uma erupção com ingredientes simples*. Blog Virtualexperiencia. Post 03.10.2019. URL: <https://virtualexperiencia.com/lava-vulcanica-como-simular-com-seguranca-uma-erupcao-com-ingredientes-simples/>. Acesso 21.06.2025.

A série Earthlearningidea oferece exemplos práticos para se modelar, simular ou até mesmo realizar previsões acerca dos efeitos diretos de erupções vulcânicas. O website original, em inglês, fica no Reino Unido; vários experimentos traduzidos para português fazem parte da série Geoidcias (URL: <https://www.ige.unicamp.br/geoidcias/>)

Elaboramos duas propostas de atividade, sendo uma delas baseada em Earthlearningidea, que ajuda a fixar conceitos sobre os fenômenos associados a vulcanismo, tais como fusão, classificação de magmas e rochas ígneas, explosividade e sismicidade.

Earthlearningidea. (s.d.). *Blow up your own volcano! Show how gases blast out material in volcanic eruptions*. Blog Earthlearningidea. URL: https://www.earthlearningidea.com/PDF/Blow_up_your_own_volcano_1.pdf. Acesso 21.06.2025.

Proposta 1: Distinção entre magmatismo e vulcanismo

- Público-alvo: Anos finais do Ensino Fundamental. Ensino Médio. Ensino Superior.
- Grau de dificuldade: médio

Passo 1. Introduzir o problema. Sugere-se que o professor exponha aos alunos que a atividade magmática profunda envolve diferentes etapas, basicamente: (a) formação de uma certa quantidade de magma abaixo da superfície, graças à fusão de rochas preexistentes; (b) uma vez que o material fundido é menos denso do que a rocha hospedeira, ocorre deslocamento do líquido rumo a zonas de mais baixa pressão e encaixe do corpo ígneo ainda no interior da crosta; (c) ascensão de uma parte do líquido rumo à superfície. Caso o movimento seja interrompido na etapa (b), ocorre o fenômeno da *cristalização*, que é lento e possibilita a formação de rochas de granulação média a grossa. Caso o movimento atinja a etapa (c) e dependendo da composição do magma, dois fenômenos distintos podem ocorrer: explosões, que dão origem a bombas vulcânicas e cinzas, ou extravasamento. Este último consiste no espalhamento da lava, que nada mais é do que uma porção de magma que escorre pela superfície do terreno. No caso de vulcanismo, a lava ou as cinzas expelidas pelo vulcão passam pelas etapas de resfriamento e *consolidação*. Somente em zonas protegidas da perda de calor ocorre cristalização, conforme exposto por Motoki & Sichel (2006) (ver acima).

Passo 2. Levantar questionamentos. O professor pode pedir que os alunos examinem as ilustrações da Figura 8 e respondam às seguintes perguntas:

1. Qual vulcão é formado por material explosivo?
2. Qual vulcão é formado por lava que se move lentamente pela superfície?
3. Que tipo de erupção você preferiria observar diretamente?

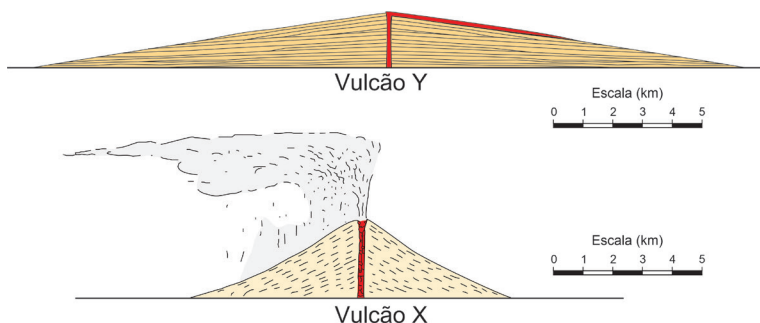


Figura 8. Esquemas sintéticos de dois tipos de vulcanismo: explosivo e em escudo.
 Fonte: Modif. de https://www.earthlearningidea.com/PDF/Extrusion_diagrams.pdf

Passo 3. Aprofundar o problema. O professor pode expor as diferenças entre vulcões explosivos e vulcões em escudo, usando alguns exemplos. A atividade magmática profunda em regiões como Yellowstone, nos EUA, ou o Vesúvio, em Nápoles, Itália, caracteriza-se pela alta periculosidade, devido à alta viscosidade do material fundido, que tende a se acumular em câmaras magmáticas e causar explosões incontrolláveis. Em geral isso se deve aos altos teores de sílica (SiO_2) e voláteis dissolvidos presentes no magma. Uma vez que ao longo do tempo os vulcões podem mudar seu padrão, os especialistas preferem distinguir a atividade, não o tipo de erupção. Exemplos de vulcanismo explosivo:

- Erupção Pliniana: Vesúvio, 79 DC, quando massas de cinzas e lapilli deslocaram-se a grande velocidade, formando as chamadas “nuvens ardentes”.
- Erupção Stromboliana: derrames de lava associados a piroclastos.
- Erupção Vulcaniana: Nevado del Ruiz, em novembro 1983, quando o deslocamento de grandes volumes de lahares (cinzas inconsolidadas), em uma região muito chuvosa, destruiu a cidade de Armero.

Proposta 2: Comparação entre o Monte Santa Helena e o Vulcão Kilauea

Público-alvo: Anos finais do Ensino Fundamental. Ensino Médio. Ensino Superior.

Grau de dificuldade: médio

Passo 1. Introduzir o problema. Sugere-se que o professor peça que os alunos busquem informações a respeito de dois vulcões distintos, ambos situados nos EUA: o Monte Santa Helena e o Vulcão Kilauea. A pergunta a ser respondida por eles é: nas proximidades de qual deles seria mais perigoso viver?

Passo 2. Fornecer dados adicionais. O Monte Santa Helena caracteriza-se por erupções violentas que geram principalmente fluxos piroclásticos. São lavas extremamente viscosas que produzem riólitos, um tipo de rocha vulcânica cuja composição é aproximadamente a mesma do granito. Esse tipo de erupção dá origem a cones compostos e pode ser encontrada em todas as margens de placas tectônicas. O vulcão Kilauea, por sua vez, caracteriza-se por erupções calmas, das quais escorrem lavas de baixa viscosidade. Trata-se de um vulcão fissural ou em escudo. Em geral o produto desse tipo de vulcão, que se desenvolve no interior das placas litosféricas, são os basaltos. Neste caso, os teores de sílica (SiO_2) e voláteis dissolvidos são bem menores do que no caso do Monte Santa Helena. Os seguintes itens ilustram sinteticamente o conceito de viscosidade de um magma, sabendo-se que viscosidade é resistência ao fluxo (o contrário de fluidez):

- Magmas com altos teores de SiO_2 possuem viscosidade maior que magmas com baixos teores de SiO_2 .
- Magmas com baixas temperaturas possuem viscosidade maior que magmas de altas temperaturas.

Passo 3. Explorar tópicos adicionais. Dependendo da quantidade de sílica (SiO_2) presente no magma, com o resfriamento, podem se formar diversos minerais que determinam a coloração das rochas. Uma classificação simplificada é:

- Rocha ultramáfica: muito pobre em sílica.

- Máfica: rica em magnésio e ferro.
- Mesocrática: rica em feldspato, sem sílica livre.
- Félsica: rica em feldspato e sílica. Trata-se de um magma muito viscoso.

Conclusões

Ao contrário do que muita gente imagina, o Planalto de Poços de Caldas não é um único grande vulcão, e também não está prestes a “explodir”, como alguns boateiros alardeiam na cidade. A evolução geológica desse grande maciço apresenta etapas vulcânicas e outras de caráter puramente intrusivo, que cessaram há milhões de anos. Ao longo do tempo, a erosão destruiu grande parte das rochas vulcânicas que existiram, expondo as porções mais profundas do maciço. As águas termais e a forma circular não evidenciam que ali ainda exista um vulcão dormente nos dias de hoje. Quem poderá dormir tranquilo são os cidadãos poços-caldenses e os turistas...

Poema a Poços de Caldas

Cidade linda abraçada pela Serra

Circundada de plantas multicores

(...)

Os teus recantos são de beleza natural

Eu prometo voltar... só não sei quando

Mas em todos os lugares vou deixando

O meu abraço em nome de Portugal

Alexandrina Pereira

(<http://messageirodapoesia.webnode.com.pt/news/>)

Referências e sugestões de leitura

- Almeida, F. F. M. de. (1964). Fundamentos geológicos do relevo paulista. In: Instituto Geográfico e Geológico. *Geologia do Estado de São Paulo*. São Paulo: IGG. p. 167-263. 1964. (Boletim, 41)
- Almeida, F. F. M. de. (1983). Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas na região meridional da Plataforma Sul-Americana.

- Revista Brasileira de Geociências*, 13(3), 139-158. DOI: <https://doi.org/10.25249/0375-7536.1983133139158>.
- Almeida, F. F. M. de. (1991). *O alinhamento magmático de Cabo Frio*. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 2, São Paulo, 1991. Atas..., São Paulo, SBG. p. 423-428.
- Almeida, F. F. M. de. (2018). Fundamentos geológicos do relevo paulista. São Paulo: *Revista do Instituto Geológico*, 39(3), 9-75. DOI: <https://doi.org/10.33958/revig.v39i3.600>.
- Almeida, F. F. M. de, & Carneiro, C. D. R. (2012). Corpos alcalinos de Poços de Caldas, Itatiaia e São Sebastião. In: Hasui, Y., Carneiro, C. D. R., Almeida, F. F. M. de, & Bartorelli, A. (Eds.) (2012). *Geologia do Brasil*. São Paulo: Ed. Beca. p. 464-465. (Cap. 18d).
- Almeida, F. F. M. de, Carneiro, C. D. R., & Bartorelli, A. (2012). Magmatismo pós-paleozoico no Brasil. In: Hasui, Y., Carneiro, C. D. R., Almeida, F. F. M. de, & Bartorelli, A. (Eds.) (2012). *Geologia do Brasil*. São Paulo: Ed. Beca. p. 430-452. (Cap. 18a).
- Alves, A. D. (2003). *Rochas vulcanoclásticas do complexo alcalino de Poços de Caldas*. São Paulo, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. (Dissert. Mestrado em Mineralogia e Petrologia). 157p. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.44.2003.tde-02042014-104025>.
- Bacha, A. L. R., Sardinha, D. S., Godoy, L. H., & Ancelmi, M. F. (2020). Geoquímica de piroclastos intemperizados da Caldeira Vulcânica de Poços de Caldas, Minas Gerais. São Paulo: *Geol. USP: Sér. Cient.*, 20(3), 63-80. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v20-160771>.
- Bodas, R. (2007a). A verdadeira história sobre o vulcão. In: Rabelo, R. F. J. (2007). *Poços de Caldas: Blog Discussões, Dissertações e Poesia*. Poços de Caldas: Blog pessoal. URL: <http://bodas.wordpress.com/2007/05/22/pocos-de-caldas/>. Acesso 06.05.2025.
- Bodas, R. (2007b). Poços de Caldas. História da Cidade. In: Rabelo, R. F. J. (2007). *Poços de Caldas: Blog Discussões, Dissertações e Poesia*. Poços de Caldas: Blog pessoal. URL: <https://bodas.wordpress.com/2007/05/22/pocos-de-caldas/>. Acesso 06.05.2025.
- Carneiro, C. D. R., & Almeida, F. F. M. de. (1989). Vulcões no Brasil. *Ciência Hoje*, 11(62), 29-36.
- Chapman, N. A., McKinley, I. G., Shea, M. E., Smellie, J. A. T. (1991). *The Poços de Caldas Project: Summary and Implications for Radioactive Waste Management*. SKB-Technical Report, 90-24 (Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.). URL: https://www.skb.com/publication/7708/TR90-24_inlaga.pdf.
- Earthlearningidea. (s.d.). *Blow up your own volcano! Show how gases blast out material in volcanic eruptions*. Blog Earthlearningidea. URL: https://www.earthlearningidea.com/PDF/Blow_up_your_own_volcano_1.pdf. Acesso 21.06.2025.

- Ellert, R. (1959). Contribuição à geologia do maciço alcalino de Poços de Caldas. São Paulo: Universidade de São Paulo, *Bol. Fac. Filos. Ci. Letras*, 237, *Geologia*, n. 18, p. 1-64.
- Gonçalves, P. W., & Carneiro, C. D. R. (2006-2007). Magmas e formação de rochas ígneas: importância do estudo no Brasil. São Paulo: *Revista USP*, 72(dez/jan/fev), 62-73. URL: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/download/13569/15387/16544>. Acesso 14.05.2025.
- Martins, J. R. S., & Carneiro, C. D. R. (2023). Como conceber os imensos intervalos do Tempo Geológico? Desvendando a história da Terra. In: Carneiro, C. D. R. (Org.), & Santos, G. C. (Ed. Técnico). (2023). *Explorando a Terra na Educação Básica*, v. 1. Campinas: Universidade Estadual de Campinas. p. 1-32. (Série Ciências da Terra na Educação Básica, Progr. Pós-Grad. Ensino e História de Ciências da Terra). ISBN: 978-65-994829-0-8. DOI: <https://doi.org/10.20396/ISBN9786599482908>.
- Motoki, A., & Sichel, S. (2006). Avaliação de aspectos texturais e estruturais de corpos vulcânicos e subvulcânicos e sua relação com o ambiente de cristalização, com base em exemplos do Brasil, Argentina e Chile. Ouro Preto: *REM: Rev. Esc. Minas*, 59(1), Jan./Mar. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672006000100003>.
- Nunes, T. (2019). *Atividade prática simulando um vulcão*. Blog Ponto Biologia. Post 03.10.2019. URL: <https://pontobiologia.com.br/atividade-pratica-vulcao/>. Acesso 21.06.2025.
- Peres, S. (2010). *A verdadeira história sobre o vulcão*. Blog Física sem NEURA! URL: <https://fisicasmeneura.blogspot.com/2010/05/verdadeira-historia-sobre-o-vulcao-em.html>. Acesso 20.06.2025.
- Rugenski, A. (2003). *Investigação geofísica dos complexos alcalinos do sul e sudeste do Brasil*. São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo. (Tese Dout.). 157p. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.14.2019.tde-26032013-093128>.
- Schenk, A. C. D. (2024). *Cabo Verde anuncia descoberta de terras raras na região de Poços de Caldas (MG)*. Revista Mineração & Sustentabilidade. Arquivos diários: 26.11.2024. URL: <https://revistamineracao.com.br/2024/11/26/cabo-verde-a-nuncia-descoberta-de-terras-raras-na-regiao-de-pocos-de-caldas-mg/>. Acesso 20.06.2025.
- Ulbrich, H. H. G. J. (1984). *A petrografia, a estrutura e quimismo de nefelina sienitos do Maciço Alcalino de Poços de Caldas, MG-SP*. São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. (Tese, Livre Docência). URL: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/44/tde-03092013-092317/>. Acesso 06.05.2025.
- Virtual Experiencia. (s.d.). *Lava vulcânica como simular com segurança uma erupção com ingredientes simples*. Blog Virtualexperiencia. Post 03.10.2019. URL: <https://virtualexperiencia.com/lava-vulcanica-como-simular-com-seguranca-uma-erupcao-com-ingredientes-simples/>. Acesso 21.06.2025.

Walker, J. D., & Geissman, J. W. (Compilers) (2022). *Geologic Time Scale v. 6.0*. Geological Society of America. DOI: <https://doi.org/10.1130/2022.CTS006C>.

Guia de Identificação de Icnofósseis nos monumentos de Poços de Caldas (MG, Brasil) aplicado ao Geoturismo e à Aprendizagem Ativa

Marcilene dos Santos
Fresia Ricardi-Branco
Pábulo Matheus Domiciano
Bruno Belila Rusinelli
Melina Mara de Souza
Ariel Milani Martine

Introdução

A diversidade natural da Terra materializa-se em sua biodiversidade¹, sua geodiversidade² e as interações entre ambas (Brilha, 2016, Gray, 2011). Os fósseis (somatofósseis³ e/ou icnofósseis) constituem um dos melhores exemplos de conexão entre a geo- e a biodiversidade. No contexto da geodiversidade e da geoconservação (Brilha, 2016, Gray, 2008, 2011), o geoturismo articula-se com a educação formal e não formal, assim como com o letramento/divulgação científica e com o turismo sustentável. O geoturismo pode ser entendido como o turismo baseado na experiência lúdica do contato humano com aspectos geomorfológicos e/ou geológicos singulares, sendo amparado por estratégias de minimização do impacto da atividade turística por meio de sua geoconservação (Brilha, 2005, Gray, 2008). O geoturismo tem como seu mais icônico exemplo o *Grand Canyon* (EUA), cuja diversidade de rochas, formas e processos imprime uma singularidade estética e científica intrínseca (Gray, 2008). O *Grand Canyon* recebe cerca de cinco milhões de visitantes/ano, que são atraídos, de forma consciente ou não, pela geodiversidade.

- 1 Resultante de bilhões de anos de evolução da vida no planeta, envolvendo aparecimento e extinção de espécies.
- 2 Diversidade natural resultante de bilhões de anos de processos de criação e destruição de feições geológicas e geomorfológicas. A geodiversidade inclui fósseis, rochas, minerais, formas e elementos de relevo, processos geodinâmicos e processos físicos ligados à dinâmica da superfície do planeta.
- 3 Somatofósseis são restos orgânicos preservados (em rochas, sedimentos, gelo, âmbar) de organismos que viveram no passado (Carmo & Carvalho, 2004); Icnofósseis correspondem a vestígios preservados (em sedimento, rocha ou corpo fóssil) de atividades de organismos que viveram em épocas passadas (Carvalho & Fernandes, 2004).

O conhecimento sistematizado da geodiversidade e a popularização do geoturismo no Brasil caminham a passos mais lentos do que deveria, desperdiçando, sobremaneira, seu potencial para o desenvolvimento regional e local sustentável (Gonçalves et al., 2023). Apesar de ser o país com maior quantidade de artigos científicos acerca do tema (Conceição et al., 2023) e permeado por uma robusta e valiosa geodiversidade, o geoturismo raramente é considerado no plano turístico das estâncias turísticas e municípios de interesse turístico brasileiros, embora seu patrimônio geológico/geomorfológico seja implicitamente protagonista ou coparticipante com frequência. O patrimônio paleontológico contribui substancialmente para o reconhecimento internacional da geodiversidade brasileira, sendo que dos seis geoparques globais da UNESCO no Brasil, dois são edificadas, sobretudo, em seu patrimônio paleontológico, o Geoparque Global do Araripe (NE do Brasil), com uma das mais importantes associações fossilíferas do Cretáceo Inferior (Carvalho et al., 2020), e o Geoparque Global Uberaba-Terra dos Gigantes (SE do Brasil), reunindo um dos maiores e mais importantes sítios paleontológicos do Cretáceo Superior (e.g. Ribeiro et al., 2012). É inegável a atratividade e o interesse que os fósseis despertam nas pessoas e sua importância como instrumento articulador entre a ciência/educação e o desenvolvimento regional e local por meio de um plano geoturístico.

Poços de Caldas (MG) representa um dos melhores exemplos de indissociabilidade entre a geodiversidade e a história, a cultura e a economia de um espaço urbano. Localizada na Serra da Mantiqueira, no sul do Estado de Minas Gerais e no maior Complexo Alcalino da América do Sul e segundo maior do mundo (Complexo Alcalino de Poços de Caldas de ~78 Ma; Guarino et al., 2021), terra dos Índios Tapuias e Kaiapó (Kaiapó do Sul ou Panará) e tomada pela colonização portuguesa, a história de Poços de Caldas inicia-se com a descoberta de fontes termais sulfurosas (~45° C) (Megale, 2002). No processo de disputa entre as capitanias de Minas e São Paulo, no final do século XVIII, as fontes medicinais passaram a pertencer à recém-criada Guarda de Caldas (1813), popularizadas como Campos de Caldas e posteriormente como Poços de Caldas após a cura, em 1818, de um jovem nobre importante da Corte Portuguesa (Matthes, 2005). Poços de Caldas tornou-se independente de Caldas em 1872, já com a vocação para a saúde por meio de suas termas sulfurosas milagrosas. Nos primórdios do século XX, a cidade passou por várias transformações urbanas inspiradas em Paris, como a canalização dos ribeirões da Serra e de Poços, construção de pontes, arborização de avenidas e praças, ruas

saneadas, calçadas e iluminadas, criação de parques, teatros, cassinos e hotéis (Matthes, 2005). Ainda de acordo com Matthes (2005), Poços é concebida para o deleite da elite burguesa em ascensão, mas acaba sendo apropriada pelo público, pelo coletivo, um lugar de encontro com o outro, com o estrangeiro, em que o público e o privado se fundem. A autora aponta que, após a visita do presidente da República, em 1927, Poços é contemplada pelo Plano Geral de Melhoramentos (PGM), com recursos financeiros via decreto presidencial. Assim, mediante as obras do PGM em 1929-1930, surgiram o Palace Hotel, o Palace Casino e as Thermas. O ajardinamento e a arborização dos parques e praças, ruas e avenidas foram feitos pela empresa Dierberger e Cia. e os projetos de edificação pelo Arquiteto Eduardo Vasconcelos Pederneiras, em uma mescla de espaço urbano concebido como monumento à luz de Paris e como museu da natureza nos moldes de Londres.

O projeto paisagístico e arquitetônico incluiu lajes de arenito Botucatu para parte do calçamento (Fig. 1). O complexo arquitetônico e



Figura 1. Lajes do arenito Botucatu assentadas no Complexo Hidrotermal e Hoteleiro de Poços de Caldas (MG): (a) 1930. Calçamento de arenito no entorno da Fonte Luminosa em primeiro plano e a fachada do Palace Hotel. Acervo do Museu Histórico e Geográfico de Poços de Caldas. (Fonte: Matthes, 2005); (b) 2025. Destaque da mureta de lajes de arenito Botucatu que circunda todo o setor da Fonte Luminosa e a fachada do Palace Hotel, preservado e ativo; (c) 2025. Entorno da Fonte Luminosa com as lajes areníticas preservadas, decorridos 95 anos; (d) Detalhe do calçamento com as lajes de arenito com icnofósseis no entorno da Fonte Luminosa; à esquerda da fonte, o Palace Casino, e, à direita, o Palace Hotel. Fontes das fotos (b): Marcilene dos Santos; (c), (d): Melina Mara de Souza

paisagístico urbano constitui o Complexo Hidrotermal e Hoteleiro de Poços de Caldas que passa a ser tombado na década de 1980 do século XX. Com o advento da penicilina e a proibição dos jogos, Poços passou por uma crise econômica, sendo resgatada pela descoberta de jazidas de alumínio e pela atividade turística de contemplação.

Este Capítulo acrescenta uma relevante camada na geodiversidade e no potencial geoturístico/científico/educacional de Poços de Caldas (MG), por meio de um estudo inédito de icnofósseis em lajes *ex situ* de arenito da Formação Botucatu. Buscamos apresentar alguns dos icnofósseis identificados e que são representativos da paleofauna encontrada nas lajes analisadas. A partir da investigação de icnofósseis presentes nas lajes areníticas que compõem calçamentos e muretas de dois dos principais monumentos da cidade, a Praça Getúlio Vargas e o entorno da Fonte Luminosa no Parque José Affonso Junqueira (Fig. 2), apresentamos um guia de identificação voltado para o geoturismo e letramento científico em um ambiente informal ao ar livre. As descrições, sucintas, são acompanhadas por algumas possibilidades de aplicação para o geoturismo e o ensino escolar a céu aberto.

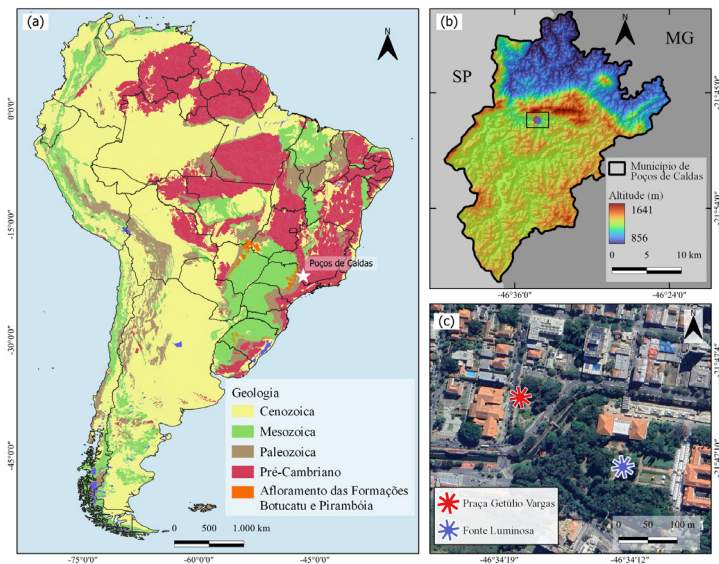


Figura 2. Localização da área de estudo. (a) Contexto geológico da cidade de Poços de Caldas (MG) (adaptado de Comissão da Carta Geológica do Mundo (2001); <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/2542>); (b) Elevação do município de Poços de Caldas com destaque para a localização da área estudada; (c) Localização urbana dos monumentos estudados

Contexto Geológico e Paleontológico

Bacia do Paraná

Os fósseis aqui descritos foram preservados em camadas de arenitos da Formação Botucatu, unidade litoestratigráfica pertencente à Bacia do Paraná. A espessura do registro geológico dessa enorme bacia chega a 7.700 metros (Scherer et al., 2023, Zalán et al., 1990). O registro da Bacia do Paraná se localiza no interior do continente sul-americano, abarcando os territórios dos hoje centro-oeste, sudeste e sul do Brasil (porções dos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e o Rio Grande do Sul), além de porções do Uruguai, do Paraguai, do Norte da Argentina e com extensões também na África do Sul e Namíbia. A Bacia do Paraná envolve uma área de aproximadamente 1.100.000 km² no Brasil e um total de 1.400.000 km² somando-se as porções na América do Sul fora do Brasil (Scherer et al., 2023, Zalán et al., 1990). O seu espesso registro geológico se inicia no período Ordoviciano (há aproximadamente 445 Ma, ou seja, há 445 milhões de anos atrás) e alcança o Cretáceo inferior (há aproximadamente 130 Ma). Os dados permitem concluir que a bacia acumulou camadas de rochas, ativamente, durante um intervalo de tempo significativo, que compreende 315 milhões de anos de história do nosso planeta.

Os arenitos da Formação Botucatu que nos ocupam neste capítulo constituem registros de um dos mais extensos desertos que existiram no planeta (Fig. 3). Estima-se que o Paleodeserto Botucatu (Almeida et al., 2012a) foi ativo pelo menos desde o Jurássico Superior (147 Ma) até o Cretáceo Inferior (110 Ma) quando as dunas foram sendo gradativamente sobrepostas pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral (Almeida et al., 2012b). O magmatismo Serra Geral antecedeu a abertura do Oceano Atlântico, resultante da separação entre a África e a América do Sul até então unidas no megacontinente Gondwana aglutinado a Pangea (Carneiro & Almeida, 2023, Milani et al., 2007, Scherer, 2000, Scherer & Goldberg, 2007, Wang et al., 2021). Evidências com base nos afloramentos de arenitos indicam que o Paleodeserto Botucatu se estendera por ~1,5 milhão de quilômetros quadrados, abrangendo os estados brasileiros de Minas Gerais ao Rio Grande do Sul, com áreas de arenitos eólicos análogos e idades semelhantes no Uruguai, no Paraguai e na Namíbia, pois ainda África e América do Sul formavam parte de Gondwana (Leonardi & Carvalho, 1999, Milani et al., 2007).



Figura 3. Paleogeografia do supercontinente Pangeia sob fragmentação no Cretáceo Inferior, com destaque para a área ocupada pelo paleodeserto Botucatu no contexto do Gondwana. Elaborado a partir de Müller et al. (2016), Scotese (2016) e <https://wiki.aapg.org/>

O município de Poços de Caldas (MG) situa-se fora do contexto da Bacia do Paraná, embora próximo à sua borda oriental, sendo amplamente conhecido por suas intrusões de rochas alcalinas e embasamento cristalino pré-cambriano. O Complexo Alcalino de Poços de Caldas é famoso pela presença de uma Caldeira Vulcânica principal de cerca de 28 km de diâmetro (Guarino et al., 2021), resultante da intrusão de rochas alcalinas durante o Cretáceo Superior (Ellert, 1959). Ulbrich et al. (2002) determinaram idades entre 83 e 64 Ma para o magmatismo (Bacha et al., 2020). Portanto, as lajes de arenito, objeto desta pesquisa, não fazem parte de seu arcabouço geológico e foram trazidas, provavelmente, de pedreiras de Araraquara ou São Carlos (SP), quando da execução do projeto arquitetônico do Complexo Hidrotermal e Hotelheiro de Poços de Caldas em 1929-30.

A Formação Botucatu e seus fósseis

A Formação Botucatu representa um enorme deserto (*paleoerg*) que se desenvolveu na Bacia do Paraná por causa das condições de aridez que dominavam no interior do paleocontinente Gondwana e da abrasão eólica (Fig. 3). As rochas dessa formação são predominantemente arenitos, com grãos de quartzo de tamanhos finos a grossos bem selecionados, de cores que vão de avermelhada, amarelada a esbranquiçada, e que formavam os campos de dunas e as interdunas do deserto.

As camadas de arenitos apresentam as típicas estratificações cruzadas de dunas e os arenitos associados às interdunas possuem estratificação planar horizontal. Nos arenitos, estão preservados os icnofósseis que correspondem a trilhas e escavações de invertebrados, bem como pegadas e pistas de tetrápodes (dinossauros e mamíferos) (Assine et al., 2004, M. A. Fernandes et al., 2010, Milani et al., 2007).

Os icnofósseis preservados na Formação Botucatu representam uma das mais importantes assembleias fósseis do Cretáceo do nosso continente, refletindo a biodiversidade que habitava o deserto (Leonardi & Carvalho, 1999). As trilhas associadas a invertebrados mais comuns da formação foram incluídas nos icnogêneros *Arenicolites* Salter 1857, *Taenidium* Heer, 1877 e *Octopodichnus* Gilmore, 1927, todos eles possivelmente produzidos por mais de um organismo, neste caso anelídeos e larvas de insetos. Também são encontrados icnofósseis produzidos por escorpiões associados ao gênero *Paleohelcura* Gilmore, 1926, de artrópodes (*Beaconites* Vialov, 1962), e tubos de larvas de insetos, nematódeos e anelídeos aquáticos reunidos no gênero *Cochlichnus* Hitchcock, 1858, etc. (A. C. S. Fernandes et al., 1990, Fernandes & Carvalho, 2005, Francischini et al., 2020, Peixoto et al., 2020).

Dentre os icnofósseis de tetrápodes, há pegadas e escavações que foram relacionadas a Mammaliformes (mamíferos do Cretáceo). Entre os icnofósseis de pegadas e trilhas, destacam-se aqueles que pelas suas características pertencem a lepisossauros, dinossauros carnívoros (terópodes), e herbívoros (ornitópodes, grupo que inclui o maior indivíduo do paleodeserto Botucatu), possíveis pegadas de aves e de pterossauro (Buck et al., 2022, Buck, Ghilardi, de C. P. e M. Peixoto, et al., 2017, Buck, Ghilardi, Fernandes, et al., 2017, D'Orazi Porchetti et al., 2017, M. A. Fernandes et al., 2010, M. A. Fernandes & Carvalho, 2008, M.A. Fernandes, 2005, Leonardi et al., 2024, Manes et al., 2021).

Metodologia

A Icnologia demanda um elevado grau de especialização, exigindo conhecimento profundo em anatomia e biomecânica e apoio em diversos critérios para o reconhecimento de um icnofóssil (pegada, trilha, escavação etc.) e outras categorias de vestígios fósseis não corpóreos (p.ex. coprólitos, evidências de predação). Assim, é necessário realizar um estudo e descrição detalhada da sua morfologia, bem como um registro fotográfico para a inclusão do icnofóssil em um dado icno-

gênero. O estudo detalhado envolve a descrição da forma e do contorno das impressões deixadas, assim como de rugosidades resultantes de pressão da carga e movimento sobre a superfície, e até de deformação de camadas subjacentes (subpegada). O padrão, arranjo, espaçamento e relevo negativo ou positivo (molde e contramolde) também são elementos de análise importantes, além de aspectos de preenchimento, como o tipo, os contrastes texturais e a consistência do material. A diversidade de hábitos de um

mesmo organismo ou o mimetismo comportamental entre organismos distintos pode tornar a determinação do produtor do vestígio um grande desafio (p.ex. a grande maioria dos tubarões produzem coprólitos com porções espiraladas, embora pertençam a espécies diferentes). Em ambientes desérticos dominados por dunas, como no caso do *Paleoerg* Botucatu, formas de meia-lua produzidas pela mobilização de partículas no sentido contrário ao movimento do produtor podem ajudar na sua identificação correta (Fig. 4).

Esta pesquisa analisou as lajes de arenito Botucatu trazidas em 1929 para a pavimentação dos passeios previstos no projeto arquitetônico e paisagístico da Praça Getúlio Vargas e no entorno da Fonte Luminosa do Parque José Affonso Junqueira na área central da cidade de Poços de Caldas. Ambas constituem bens patrimoniais tombados⁴, guardados pelo Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico (IEPHA) de Minas Gerais (Fig. 5).

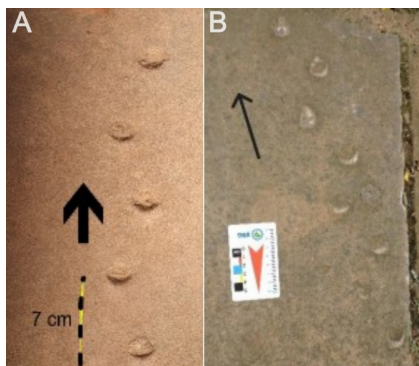


Figura 4. Formas de meia-lua produzidas pela mobilização de partículas no sentido contrário ao movimento do produtor. Pista de *Brasilichnium elusivum* com cinco pegadas em placa de arenito no calçamento da Praça Getúlio Vargas (A) e oito pegadas no entorno da Fonte Luminosa (B). A seta preta indica o sentido de movimento do produtor na duna

4 O Complexo Hidrotermal e Hoteleiro de Poços de Caldas é tombado pela Constituição do Estado de Minas Gerais de 1989, de acordo com o artigo 84 - Ato das Disposições Constitucionais Transitórias. O Conjunto Arquitetônico e Paisagístico do Parque José Affonso Junqueira é contemplado com Tombamento Municipal por Decreto Municipal nº. 3.254 de 03 de junho de 1985, publicado na edição 2.819 do *Jornal da Mantiqueira*, de 05 de junho de 1985.



Figura 5. Organização geográfica do conjunto dos monumentos tombados estudados. A. Visão panorâmica do Parque José Afonso Junqueira que contém o Complexo Hidrotermal e Hoteleiro e a Praça Getúlio Vargas; (1) *Thermas Antônio Carlos* (2) *Palace Hotel* (3) *Fonte Luminosa* (4) *Palace Casino* (5) *Praça Getúlio Vargas*. B. Mapa urbano com a indicação do setor dos monumentos estudados (Fonte: <https://www.cidade-brasil.com.br/mapa-pocos-de-caldas.html>); B está posicionado 180° em relação a A

Para o registro dos icnofósseis, as lajes dos calçamentos nos locais acima mencionados foram fotografadas com luz natural utilizando câmera digital. As imagens foram tomadas com alta resolução para garantir o registro de detalhes importantes da morfologia dos icnofósseis. A seguir, dentro da assembleia amostrada, foram selecionados alguns dos mais precisamente definidos para serem descritos no presente

estudo. Outros critérios utilizados na seleção foram o fácil reconhecimento dos mesmos pelo público leigo e a acessibilidade. Assim, nove icnofósseis foram selecionados, dos quais foram incluídas as imagens e descrições, para ajudar no seu reconhecimento.

Considerando a interdisciplinaridade e o contexto de Gondwana em comum, seja durante sua existência que envolve o *Paleoerg* Botucatu, seja no processo de sua fragmentação e abertura do Atlântico, interagindo com as intrusões alcalinas do Cretáceo Superior, propomos também trilhas que tratam da história dos supercontinentes. As trilhas conectam desde o amalgamento de Gondwana Ocidental entre ~750 e 520 Ma (Wang et al., 2021), sua fragmentação, ainda agregado ao Pangea a partir de ~170 M (Torsvik & Cocks, 2013), e a formação da Caldeira Vulcânica, em torno de 83 e 64 Ma, onde hoje está assentado o Cristo Redentor de Poços de Caldas.

Resultados

A partir da investigação e do registro fotográfico dos icnofósseis no calçamento e nas lajes de arenito da Praça Getúlio Vargas e da Fonte Luminosa do Parque José Affonso Junqueira (Complexo Hidrotermal e Hoteleiro de Poços de Caldas) (Fig. 5), foram encontrados vestígios fósseis associados a invertebrados, terópodes, lacertídeos e mamíferos (Fig. 6). Destaca-se que outros diferentes produtores poderão ser identificados futuramente, tendo em vista que muitas lajes com icnofósseis estão ainda em estudo.

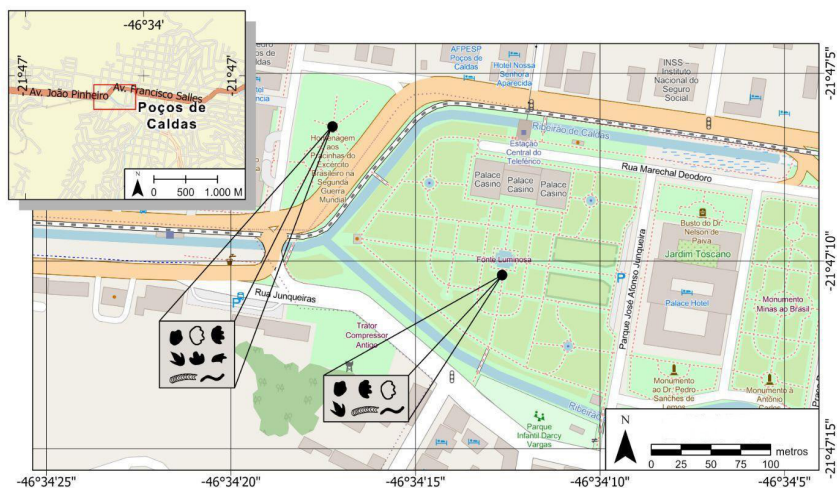
Praça Getúlio Vargas

A Praça Getúlio Vargas, também conhecida como Praça do Relógio Floral, foi concebida em uma forma triangular com o monumento aos Pracinhas posicionado aproximadamente em seu centro geográfico e o relógio floral no setor sul. Diversos caminhos calçados por lajes areníticas do Botucatu recortam a praça, num traçado radial a partir do monumento e circular/radial a partir do relógio (Fig. 7 A-D).

Fonte Luminosa – Parque José Affonso Junqueira

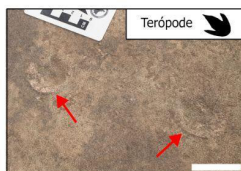
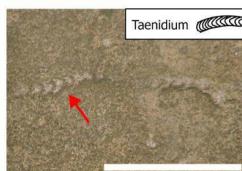
As lajes areníticas no Parque José Affonso Junqueira ocorrem no calçamento que conduz ao Arco, no conjunto que compõe o entorno da Fonte Luminosa e na mureta que circunda todo seu entorno (Fig. 7 E-F). Ao menos o calçamento das lajes do entorno da fonte e daquelas que conduzem ao arco datam de 1930, conforme arquivos fotográficos do Acervo.

**Ícnofósseis das Praça Getúlio Vargas e
Parque José Affonso Junqueira (Poços de Caldas-MG)**



TIPOS DE ICNOFÓSSEIS

Parque José Affonso Junqueira



- Praça Getúlio Vargas

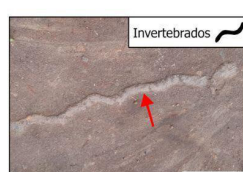
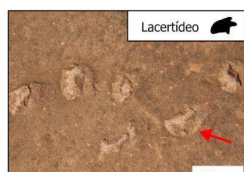
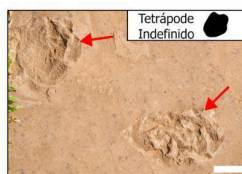


Figura 6. Localização e configuração dos grupos representativos de icnofósseis encontrados nos dois monumentos estudados. Mapa urbano modificado de <https://www.cidade-brasil.com.br/mapa-pocos-de-caldas.html>



Figura 7. Aspectos arquitetônicos dos monumentos estudados com destaque para os calçamentos areníticos. Praça Getúlio Vargas com o monumento em homenagem aos Pracinhas mortos em combate na Segunda Guerra Mundial (A), o relógio floral (B) e os passeios calçados com arenito Botucatu (C) contendo icnofósseis, como a pista de *Brasilichnium elusivum* na placa da extremidade direita do calçamento (D); Entorno da Fonte Luminosa com destaque para o Arco (E) e a mureta que contorna toda a fonte (F)

Invertebrados

Dentro do grupo dos invertebrados foram identificadas escavações verticais e horizontais pertencentes aos icnogêneros: *Taenidium*, *Palaeophycus*, *Vágorichnus* e *Skolithos*.

Taenidium Heer, 1877

Diagnose. Vestígios de *Taenidium* são identificados como escavações horizontais a subverticais. São filamentosas curvas, ou sinuosas, com preenchimentos portadores de meniscos (Fig. 8). Não apresentam paredes e seus limites

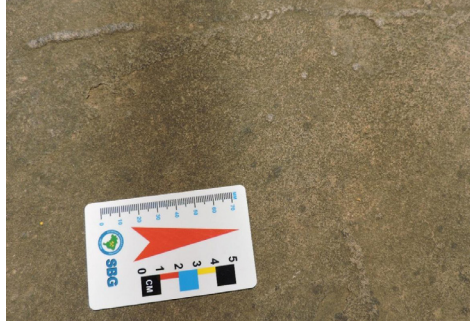


Figura 8. Trilha de invertebrado *Taenidium*. Nota-se os meniscos mais evidentes na parte central da trilha. Fonte Luminosa

apresentam anulações e sobreposições pelos meniscos. Não são ramificados, mas podem ocorrer sobreposições, causando a sensação de ramificações (A. C. S. Fernandes et al., 1990).

Paleophycus Hall, 1847

Diagnose. Este icnogênero é caracterizado por ser uma escavação horizontal, predominantemente reta a levemente curva, ramificadas ou não ramificadas, lisas ou ornamentadas, alinhadas, essencialmente cilíndricas, com diâmetro variável e com presença de paredes (Fig. 9). Seu preenchimento é igual ao da matriz, diferindo do icnogênero



Figura 9. Trilha de invertebrados *Paleophycus*. (A) Nesta laje há uma assembleia de *Paleophycus* na qual é possível notar a distinção das paredes (mais escuras). Mureta da Fonte Luminosa. (B) Exemplar preservado em epirrelevo positivo. Fonte Luminosa

Planolites, que apresenta preenchimento distinto. Não é meniscado, o que difere do icnogênero *Taenidium* (Pemberton & Frey, 1982).

***Skolithos* Haldeman, 1840**

Diagnose. Escavações cilíndricas verticais a ligeiramente inclinadas, apresentando um revestimento muito fino e descontínuo. Algumas estruturas podem apresentar uma forma ligeiramente em “J”. As paredes das escavações são lisas, com preenchimento maciço e sem estrutura interna discernível (Fig. 10). As cavidades ocorrem de forma paralela, sem ramificações, cruzamentos ou interpenetrações entre si (B. Peixoto et al., 2025).

Comentários. Em visão horizontal, este icnogênero é percebido como “pontos” nas lajes, que são as saídas das escavações.

***Vagorichnus* Wu, 1985**

Diagnose. Sistema tridimensional de galerias formado por segmentos curvos, irregularmente sinuosos ou, mais raramente, retos, apresentando saliências em forma de crista (Fig. 11). Ramificações laterais ocorrem localmente. O trajeto das escavações é tipicamente descontínuo, caracterizado pela presença de anulações (B. Peixoto et al., 2025).



Figura 10. Visão horizontal dos icnogêneros *Skolithos* (Sk) e *Vagorichnus* (Vg). Mureta da Fonte Luminosa

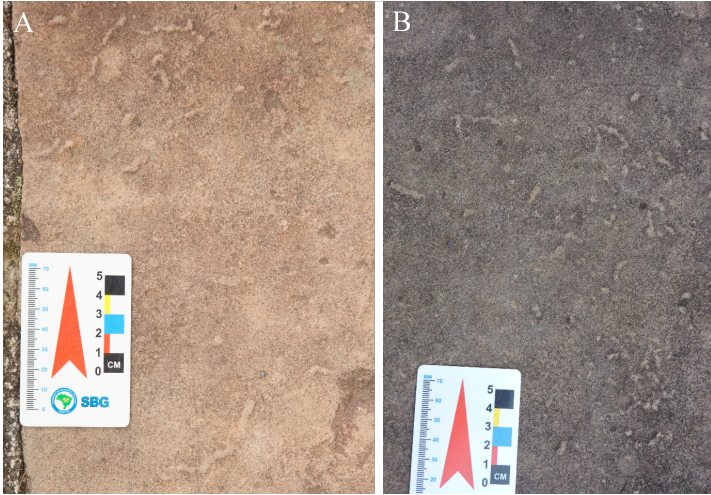


Figura 11. Trilha de invertebrados *Vagorichnus*. A-B. Este icnogênero é caracterizado pelas trilhas descontínuas e ondulante. Mureta da Fonte Luminosa

Tetrápodes

Brasilichnium elusivum Leonardi, 1981

Diagnose. Pegadas semiplantígradas e tetradáctilas, com eixo funcional ectaxônico (centrado nos dígitos IV e V). Contorno do pé elíptico, apresentando eixo maior quase transversal e eixo anteroposterior levemente direcionado para o interior da pista; dígitos curtos, geralmente com terminações arredondadas (Fig. 12). Exibe heteropodia, com diferenças morfológicas evidentes entre mãos e pés, sendo as impressões dos membros dianteiros (*manus*) frequentemente sobrepostas pelas dos posteriores (*pes*) durante a locomoção. Quando preservadas, as pegadas das mãos destacam-se por seu tamanho significativamente menor em comparação às dos pés (M. A. Fernandes & Carvalho, 2008).



Figura 12. Pista de *Brasilichnium*. Impressão dos autopódios traseiros em epirrelevo negativo com onze pegadas. Praça Getúlio Vargas

Pista de Lacertídeo

Diagnose. Pegadas fósseis assimétricas, semiplantígradas e pentadáctilas, alongadas, com dígitos espalhados e curvados (dígitos I e V opostos; II-IV direcionados para frente/lados). *Hypex* largo entre I-II; angulação da passada variável (94° – 148°), possivelmente com rotação do pé. Ausência de mãos ou sobreposição por pegadas do pé; eventuais marcas de cauda sinuosa (Buck et al., 2022).

Comentários. Esta pista está mal preservada e apresenta distintivos morfológicos pouco visíveis. Sua identificação como icnofóssil foi possível devido à semelhança com exemplares descritos no artigo *Lacertoid tracks from the Botucatu Formation (Lower Cretaceous) with different locomotor behaviors: A new trackmaker with novel paleoecological implications*, (Buck et al., 2022), encontrados na região de Araraquara, São Paulo. Além disso, um aspecto distintivo foi a presença de uma possível impressão de arrasto de cauda (Fig. 13, seta amarela), que corroborou a interpretação (Fig. 13).



Figura 13. Pista de possível lacertídeo. (A) Fotografia da pista preservada em hiporrelevo positivo. Note que os caracteres morfológicos estão pouco visíveis. (B) Fotografia com contorno preto para melhor visualização do padrão das pegadas. Seta amarela mostrando uma impressão sinuosa interpretada como arrasto da cauda do animal. Praça Getúlio Vargas

Aracoaraichnium Leonardi Buck et al., 2017

Diagnose. Pegadas semiplantígradas e tetradáctilas (tanto mãos quanto pés), com dígitos curtos, sendo os dígitos III e IV os mais proeminentes, indicando um padrão mesaxônico (eixo centralizado nos dígitos medianos). Forma geral mais larga que longa, típica de morfotipos mamaliformes. Apresenta heteropodia, com impressões distintas de mãos e pés, quando preservadas em condições favoráveis de ambiente ou locomoção. As *manus* são menores que os *pes*. O dígito III é o mais longo, seguido pelo IV, com diferença discreta entre eles, enquanto os dígitos II e V são menores e de comprimento semelhante (Buck, et al., 2017).

Comentários. Foram identificados dois exemplares desse icnogênero em estado de preservação precário. Apesar disso, é possível observar características gerais dos autopódios (membros locomotores), incluindo impressões que sugerem a morfologia de *manus* (membros anteriores) (Fig. 14).



Figura 14. (A) Pegadas com caracteres morfológicos pouco visíveis devido às condições de luz difusa durante o registro fotográfico. (B) Interpretação das pegadas com contorno em preto, destacando a sequência e o tamanho característicos do icnogênero *Aracoaraichnium*. Fonte Luminosa

Terópode

Diagnose. Os terópodes são tipicamente reconhecidos por apresentarem pés funcionalmente tridáctilos a tetradáctilos, com ausência do dígito V, seguindo a fórmula falangeal 2-3-4-5-0 (Thulborn, 1990). Suas pegadas exibem morfologia tridáctila predominante, com o dígito III sendo o mais longo e central, conferindo uma assimetria característica (Fig. 15). Os *hypices* (espaços interdigitais) possuem configuração em “V”, um traço distintivo em comparação com ornitópodes – igualmente tridáctilos – que apresentam *hypices* em “U” (Thulborn, 1990, Weishampel et al., 2004).

Ornitópode

Diagnose. Ornitópodes foram dinossauros herbívoros bípedes, sem armaduras e com dentição complexa, semelhante à de alguns hadrossauros (Weishampel et al., 2004). Segundo Thulborn (1990), pequenos ornitópodes apresentam, geralmente, pentadactilia nas

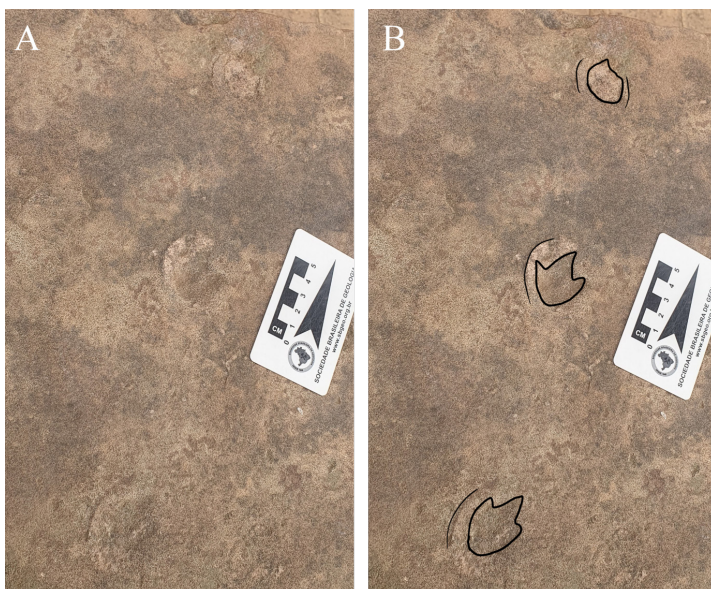


Figura 15. Pista de terópode de pequeno porte. (A) Sequência de três pegadas formando um *stride* completo. (B) Mesmo registro com contorno digital destacando os caracteres diagnósticos de terópode. Mureta da Fonte Luminosa

mãos com fórmula falangeal 2:3:4:3:1. Suas pegadas são geralmente tridáctilas (Fig. 16) com ocasionais impressões tetradáctilas. Os pés diferem dos terópodes por apresentar as garras com pontas mais arredondadas, como cascos, e o *hypex* em forma de U. A razão entre o comprimento e a largura das pegadas varia, com a largura oscilando de 90% a 115% do comprimento da pegada (Thulborn, 1990).

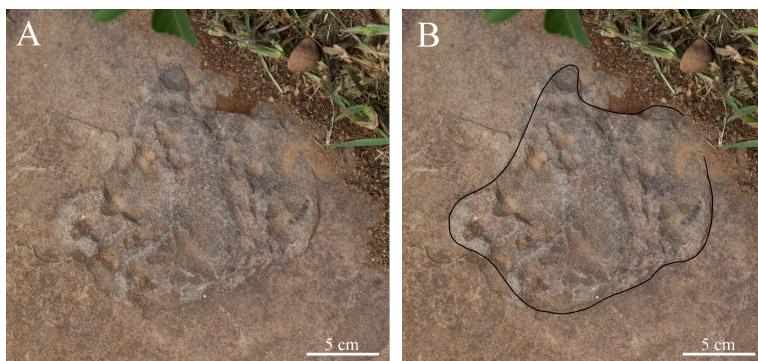


Figura 16. Pegada isolada de ornitópode. (A) Pegada mais larga que longa com extremidades arredondadas, características deste grupo. (B) Mesmo registro com contorno digital destacando os caracteres diagnósticos de ornitópode. Praça Getúlio Vargas

Discussão

A subida ao Morro do Cristo de Poços de Caldas por meio do teleférico tem embutida a contemplação de uma paisagem esculpida em rochas envolvidas por uma história de tempo profundo edificada por grandes marcos na história do Planeta. Tal história foi permeada por colisões de massas continentais em torno de 500 Ma que ajudaram a formar o Megacontinente Gondwana (~750 Ma a 500 Ma) que se juntou, em torno de 350 Ma, ao Supercontinente Pangea, que, por sua vez, começou a se quebrar há ~200 Ma, incluindo a fragmentação de seu ‘enclave’ gondwânico a partir de 170 Ma para a formação de novos oceanos, como o Atlântico e o Pacífico (Wang et al., 2021). Desta forma, o que hoje chamamos de América do Sul, África, Antártica, Índia e Austrália são pedaços dos antigos Gondwana/Pangea, e os dois primeiros guardam o registro do maior deserto que já existiu na história do planeta (cobrindo porções do Brasil, Uruguai, Paraguai, Argentina e

Namíbia). Em meio a essa agitação de se quebrar, esse imenso deserto se formou no centro-sul do Supercontinente Pangea, o paleodeserto Botucatu (ativo entre 149 e 110 Ma). Uma possível explicação é que a grande massa continental e um cinturão de montanhas do Pangea deixou seu ‘coração’ desprovido de massas úmidas advindas do oceano Panthalassa (Paleopacífico), ficando sujeito a ventos quentes vindos do Oeste (Del Mouro et al., 2023, Scherer & Lavina, 2006). Entre 139 e 131 Ma, o processo de quebra e o imenso deserto com sua fauna, cujos vestígios estão nas lajes dos monumentos aqui estudados, coexistiram com a grande manifestação vulcânica Paraná-Etendeka e a Terra experimentou mudanças no clima global, forçando adaptações da vida no planeta (Del Mouro et al., 2023, Scherer et al., 2023) (Fig. 17). Há cerca de 66 Ma, aproximadamente 6 Ma após a formação da Caldeira Vulcânica de Poços de Caldas, um asteroide mudaria drasticamente a rota da vida e sua evolução traçada, culminando com a 5ª Grande Extinção que marca o limite Cretáceo/Paleógeno (K/Pg) (Alvarez et al., 1980, Jacobsen et al., 1991). Tudo precisou se rearranjar diante do novo cenário geológico e ambiental.



Figura 17. Reconstituição paleoartística do ambiente do paleodeserto Botucatu no Cretáceo Inferior sofrendo os efeitos do vulcanismo da Província Ígnea Paraná-Etendeka, sob o olhar de um terópode solitário caminhando sobre gretas de contração nas areias desérticas. Ilustração em pastel a óleo: Ariel Milani Martine

Importante destacar que, não fosse o processo de quebra e formação do Atlântico Sul e o trabalho desde então dos rios, da chuva, da gravidade e da vida, não haveria a subida íngreme no teleférico e o ‘pedestal’ rochoso vulcânico alcalino sobre o qual se assentou o Cristo e seu parque de visitação. Além disso, é graças à maior resistência das rochas vulcânicas alcalinas que as pessoas no Parque José Affonso Junqueira podem viver a experiência noturna de olhar um Cristo iluminado ‘flutuando’ num céu escuro (Fig. 18). Mas o cardápio turístico da visita ao Cristo ou ao Complexo do Parque não inclui saborear o conhecimento da incrível história do lugar em tempo profundo. Um povo que desconhece as histórias do tempo profundo e recente de seu lugar fica desprovido de todas as ferramentas necessárias para se evitar que a vida no Planeta sofra o impacto de novamente os sistemas da Terra acionarem seus mecanismos de rearranjo, adaptando-se a um novo cenário de condições de contorno em que talvez não caibam a espécie humana e outras espécies de vida.

Resolver essa lacuna não é difícil em Poços de Caldas, já que a vocação para o turismo, para o encontro com o outro, está consolidada no ‘DNA’ do município e na história da cidade, e uma camada relevante,



Figura 18. Visão noturna do Cristo a partir das cercanias do Parque José Affonso Junqueira em Poços de Caldas (MG)

a partir deste estudo dos icnofósseis, passa a ser adicionada à história do lugar e à sua geodiversidade. Estratégias de curto, médio e longo prazo e de custo baixo a moderado podem desencadear um processo de fortalecimento do turismo sustentável e da economia local e regional por meio de propostas voltadas para o geoturismo e o letramento científico, envolvendo os icnofósseis presentes nos monumentos aqui estudados, além de outros aspectos de geodiversidade.

Estratégias sugeridas para geoturismo e ensino

Criação de um Centro de Referência em Geoconservação

Para a criação de um Centro de Referência em Geoconservação, deverá ser buscada uma parceria entre a Prefeitura da cidade, em conjunto com o Museu Histórico e Geográfico de Poços de Caldas e a Secretaria do Turismo, com o objetivo principal de promover a conservação e a proteção do patrimônio das placas e dos icnofósseis nos respectivos monumentos, além da divulgação científica e acadêmica à comunidade e aos turistas da região. O intuito é criar um espaço onde os turistas e a comunidade poderão se informar, observar exemplares e receber orientações de como se aprofundar na história geológica e paleontológica dos fósseis, do Paleodeserto Botucatu e do Gondwana.

Sugere-se que as trilhas a céu aberto sejam ilustradas em um painel estrategicamente posicionado no Parque José Affonso Junqueira e diferenciadas por cores, contendo os percursos com pontos de visualização dos icnofósseis identificados por códigos e QRcode para mais informações sobre os icnofósseis, o deserto Botucatu e o Gondwana. Tais códigos poderão ser fixados pela prefeitura em pequenas placas metálicas nas lajes areníticas selecionadas, acompanhados de um pequeno círculo com a cor correspondente da trilha, permitindo facilmente a identificação pelo público.

Trilha da Paleoeologia

Como o atual Saara, o paleodeserto de Botucatu era um ambiente hostil a organismos que não estavam aptos a viver sobre as dunas, em severas condições de aridez. Ainda assim, esse deserto estava longe de ser inabitado. Diversos organismos, ao longo da evolução, se adaptaram aos rigores do Botucatu e formaram um antigo ecossistema singular.

Sabemos que, em uma cadeia alimentar terrestre, os vegetais formam a base da pirâmide, sendo o primeiro nível trófico e os principais produtores. É nessa questão que esse pretérito ambiente era tão diferenciado. A vegetação do paleodeserto era constituída principalmente por coníferas, árvores semelhantes às araucárias. Entretanto, essas árvores ocorriam apenas nas regiões de borda do deserto e, em toda a extensão dos mares de areia e dunas do Botucatu, a vegetação, aparentemente, era inexistente. Então, como a vida se mantinha sem a base da cadeia? A resposta pode estar nos oásis e corpos d'água que havia entre as dunas. Nesses pequenos lagos, cresciam esteiras de algas, que faziam a fotossíntese e tornavam-se produtores abundantes. Pequenos invertebrados, que viviam próximos a esses lagos, deveriam se alimentar dessas algas, tornando-se os consumidores primários. Outros invertebrados, como os escorpiões, presentes até hoje nos desertos, alimentavam-se dos primeiros, criando outros níveis tróficos. Os dinossauros herbívoros, bípedes e pertencentes a um grupo chamado ornitópodes, deveriam viver transitando próximos às regiões das bordas do deserto e nunca se afastavam demasiadamente das coníferas e dos arbustos. Nas zonas mais áridas, lagartos e pequenos mamíferos, como os que geraram o icnogênero *Brasilichnium*, consumiam todos os invertebrados. Diversas espécies de dinossauros carnívoros viviam no interior do paleodeserto e, devido à escassez de recursos, tinham um porte corporal reduzido, não ultrapassando três metros de comprimento. Os dinossauros carnívoros alimentavam-se dos mamíferos e de lagartos, ou mesmo de dinossauros menores, e eram os predadores do topo da cadeia. Por fim, besouros necrófagos comiam as carcaças e os dejetos dos dinossauros.

Nesse rigoroso ambiente, nenhum nutriente era desperdiçado; as larvas dos besouros podem ter gerado as marcas conhecidas como *Taenidium*. Curiosamente, esses besouros e suas larvas, que coroavam a cadeia alimentar, também poderiam ser devorados por mamíferos, voltando para a base da cadeia, reiniciando o ciclo. Assim, mesmo no maior deserto já conhecido, a vida era pujante e deixou suas marcas nas areias que mais tarde tornaram-se rochas. Nos dias de hoje, ao observar esses arenitos, é possível interpretar e ver como as complexas relações ecológicas são fundamentais para a manutenção das espécies em seu ambiente e como todo o complexo pode facilmente ruir se um elo dessa corrente for quebrado. Herdamos um mundo rico em biodiversidade que se mantém graças às mesmas relações ecológicas do passado, embora, atualmente, com cenários e atores diferentes. Assim

como no passado, as alterações nas populações e comunidades podem gerar danos irreparáveis aos biomas. Devido à atividade consumista e insustentável de nossa espécie, o mundo passa hoje por alterações ambientais e climáticas perigosas, e é profundamente lamentável que o *Homo sapiens* possa se tornar um agente de extinção, disputando com vulcanismo, epidemias, glaciações e meteoros o título de flagelo dos ecossistemas. Dessa forma, as lajotas de arenitos com icnofósseis se revelam preciosas e acessíveis ferramentas para discussões sobre relações ecológicas, extinções e educação ambiental. É uma trilha de linha do tempo interpretativa que aproveita as lajes com icnofósseis sinalizadas na mureta e calçamento do entorno da Fonte Luminosa conforme painel explicativo estrategicamente posicionado para guiar os visitantes a refletir, explorar e entender a magnitude do Tempo Geológico e as histórias codificadas pelos produtores dos vestígios. A trilha destaca a origem dos invertebrados, o surgimento dos vertebrados e sua evolução até os dinossauros e a 5ª Grande Extinção pelas consequências do Impacto de Chicxulub no México (Alvarez et al., 1980, Jacobsen et al., 1991) e a posterior diversificação das aves e mamíferos. A trilha da Paleoecologia tem como alvo vários níveis cognitivos e sensoriais com conteúdo preciso, investigação e interpretação ativas em Geociências e integração cultural baseada no local.

Trilha “Começou a dar ruim”

A trilha pode ser implantada tanto na Praça Getúlio Vargas quanto no entorno da Fonte Luminosa, ou ainda em um percurso conectando ambos os monumentos. A proposta da trilha é mostrar como as comunidades de dinossauros (Figs. 15 e 16) e mamaliformes (Figs. 12 e 14) dominaram a superfície da Terra. Ambos os grupos podem ser diferenciados pelos formatos dos seus pés e por seus hábitos distintos de locomoção (saltando ou por passadas). A seguir a trilha mostra as evidências das consequências da grande manifestação vulcânica que perdurou por cerca de 9 Ma e a 5ª Grande Extinção pelo Impacto de Chicxulub no México e a posterior diversificação das aves, mamíferos e das angiospermas. Essa trilha envolve, além da seleção de lajes com icnofósseis representativas selecionadas, painéis explicativos dos processos enfatizados ao longo do percurso que poderão ser fixados e/ou acessados por QRcode no painel das trilhas.

Trilha ‘Corpo mole na duna, tanto escava até que dura’

Trilha interpretativa de uma caminhada de cerca de 200 m de extensão no entorno da Fonte Luminosa ou na Praça Getúlio Vargas, utilizando as lajes com icnofósseis de invertebrados (p.ex. *Taenidium*, *Palaeophycus*, *Vágorichnus*), devidamente sinalizadas conforme painel explicativo para auxiliar os visitantes a compreenderem os hábitos dos invertebrados e o paleoambiente do paleodeserto Botucatu. A trilha destaca o efeito do vento nas areias das dunas, os indícios de umidade no paleoambiente, os vestígios de gotas de chuva (Fig. 19) na superfície das paleodunas e os diferentes icnogêneros de invertebrados e seus comportamentos de escavação (Figs. 8 a 11).

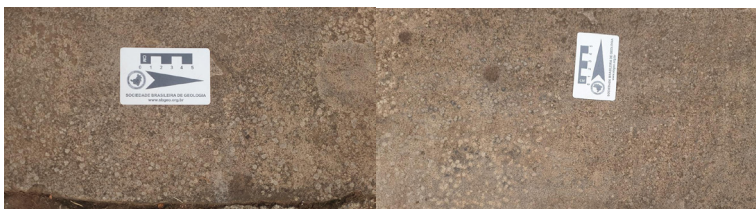


Figura 19. Vestígios de gotas de chuva nas dunas do paleodeserto Botucatu identificadas em lajes de arenito no entorno da Fonte Luminosa do Parque José Affonso Junqueira (Poços de Caldas, MG)

Interdisciplinaridade: Trilha da Linha do Tempo – Da união de continentes à guerra entre nações

A Trilha é feita na Praça Getúlio Vargas e traz um painel explicativo com uma linha do tempo para se apreender a dimensão do tempo profundo e do tempo histórico, percorrendo os icnofósseis da paleofauna ligada ao Gondwana/Pangea até o monumento dos Pracinhas da II Guerra Mundial; pode-se articular também com exposições fotográficas e painéis explicativos na Biblioteca Municipal do Complexo da Urca em frente à Praça e/ou no Museu Histórico Geográfico de Poços de Caldas ao lado.

Conclusão

Este Capítulo registra o primeiro estudo de icnofósseis do paleodeserto Botucatu em calçamentos de uma cidade assentada sobre rochas de idade cretácea, encravada no embasamento mais antigo. O trabalho oferece um exemplo de abordagem científica que pode ser implementada em outras cidades, ao resgatar vestígios importantes de uma história

muito mais antiga que a história das sociedades humanas. Cabe destacar que, não fosse a comercialização de lajes do arenito Botucatu, jamais seriam encontrados fósseis em Poços de Caldas, já que seu contexto geológico de rochas ígneas e metamórficas não o permitiria. O espaço/tempo em Poços de Caldas parece assumir uma dinâmica distinta da maioria das cidades, em que dois ponteiros do relógio não são suficientes para contar o tempo curto e profundo amalgamado em suas praças, e o espaço, concomitantemente, se contraindo e se expandindo à medida que múltiplas funções se fundem: o público e o privado; o antigo e o moderno; o artesanal e o industrializado; a cultura local e a estrangeira. Poços generosos que mais dão do que recebem, com suas montanhas, suas águas quentes medicinais, seu alumínio e, agora, suas terras raras em abundância.

Os monumentos construídos em 1930 resistiram ao tempo, assim como os vestígios fósseis de suas lajes de arenito trazidas provavelmente de Araraquara (SP). Esta proposta de disseminação das Geociências pretende contribuir para divulgar aspectos relevantes da história do planeta, da Geodiversidade Brasileira e da região de Poços de Caldas. Os calçamentos areníticos da Praça Getúlio Vargas e do Parque José Affonso Junqueira precisam ser mais bem conservados e cuidados para evitar sua degradação e destruição. As atividades de geoturismo e ensino aqui propostas podem contribuir nesse sentido, já que permitem o entendimento de seu significado e sua valorização pelo público em geral e, especialmente, pelo poder público e pelas instituições educacionais, culturais e turísticas regionais.

Referências

- Alvarez, L. W., Alvarez, W., Asaro, F., & Michel, H. V. (1980). Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*, 208(4448), 1095-1108. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.208.4448.1095>.
- Assine, M. L., Piranha, J. M., & Carneiro, C. D. R. (2004). Os paleodesertos Pirambóia e Botucatu. In: Mantesso Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C. D. R., Brito-Neves, B. B. de. (Orgs.) (2004). *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Ed. Beca. p. 77-92.
- Bacha, A. L. R., Sardinha, D. S., Godoy, L. H., & Ancelmi, M. F. (2020). Geoquímica de piroclastos intemperizados da Caldeira Vulcânica de Poços de Caldas, Minas Gerais. *Geologia USP. Série Científica*, 20(3), 63-80 DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v20-160771>.

- Brilha, J. (2005). *Patrimônio geológico e geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica*. Braga: Palimage Ed. ISBN: 972-8575-90-4
- Brilha, J. (2016). Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. *Geoheritage*, 8(2), 119-134. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0139-3>.
- Buck, P. V., Ghilardi, A. M., Peixoto, B. C. P. M., B., Fernandes, L. B. R., & Fernandes, M. A. (2017). A new tetrapod ichnotaxon from Botucatu Formation, Lower Cretaceous (Neocomian), Brazil, with comments on fossil track preservation on inclined planes and local paleoecology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 466, 21-37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.11.009>.
- Buck, P. V., Ghilardi, A. M., Peixoto, B. C. P. M., Aureliano, T., & Fernandes, M. A. (2022). Lacertoid tracks from the Botucatu Formation (Lower Cretaceous) with different locomotor behaviors: a new trackmaker with novel paleoecological implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 116, 103825. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103825>.
- Buck, P. V., Ghilardi, A. M., Fernandes, L. B. dos R., & Fernandes, M. A. (2017). A new ichnotaxon classification of large mammaliform trackways from the Lower Cretaceous Botucatu Formation, Paraná Basin, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 485, 377-388. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.06.027>.
- Carmo, D. A., & Carvalho, I. S. (2004). Jazigos fossilíferos do Brasil. In: Carvalho, I. S. (Org.). (2004). *Paleontologia*. 2 ed. Rio de Janeiro: Ed. Interciência. v. 2, p. 03-15.
- Carneiro, C. D. R., & Almeida, F. F. M. de (obra póstuma). (2023). História geológica da Bacia do Paraná no Brasil. In: Carneiro, C. D. R. (Org.), & Santos, G. C. (Ed. Técnico). (2023). *Explorando a Terra na Educação Básica*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas. v. 1, pp. 165-208. (Série Ciências da Terra na Educação Básica, Progr. Pós-Grad. Ensino e História de Ciências da Terra). DOI: <https://doi.org/10.20396/ISBN978699482908>.
- Carvalho, I. S., & Fernandes, A. C. S. (2004). Icnofósseis. In: Carvalho, I. S. (Org.). (2004). *Paleontologia*. 2 ed. Rio de Janeiro: Ed. Interciência. v. 2, p. 143-169.
- Carvalho, I. S., Henriques, M. H., Castro, A. R. S. F., & Félix, Y. R. (2020). Promotion of the Geological Heritage of Araripe UNESCO Global Geopark, Brazil: the Casa da Pedra Reference Center. *Geoheritage*, 12(1), 17. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00452-9>.
- Conceição, J. M. da, Rocha, G. C., & Sousa, R. D. S. (2023). Levantamento bibliométrico da produção científica sobre geodiversidade e temas correlatos no período de 1998 a 2022. *Revista Equador*, 12(1), 156-172. DOI: <https://doi.org/10.26694/equador.v12i1.14024>.
- Del Mouro, L., Becker-Kerber, B., Janasi, V. A., Carvalho, M. A., Waichel, B. L., Lima, E. F., Rossetti, L. M. M.,, & Ortega-Hernández, J. (2023). Organic walled microfossils in wet peperites from the early Cretaceous Paraná-Etendeka volcanism of Brazil. *Scientific Reports*, 13(1), 15362. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42483-6>.

- D'Orazi Porchetti, S., Bertini, R. J., & Langer, M. C. (2017). Walking, running, hopping: analysis of gait variability and locomotor skills in *Brasilichnium elusivum* Leonardi, with inferences on trackmaker identification. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 465, 14-29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.10.009>.
- Ellert, R. (1959). Contribuição à geologia do Maciço Alcalino de Poços de Caldas. *Bol. Fac. Fil. Ciên. Letras USP*, 237(18), 5-63.
- Fernandes, A. C. S., Carvalho, I. S., & Netto, R. (1990). Icnofósseis de invertebrados da Formação Botucatu, São Paulo (Brasil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 62(1), 45-49.
- Fernandes, M. A. (2005). *Paleoicnologia em ambientes desérticos: análise da icnogenese de vertebrados da pedreira São Bento (Formação Botucatu, Jurássico Superior - Cretáceo Inferior, Bacia do Paraná) Araraquara, SP*: Rio de Janeiro, Brasil: Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. (Tese Dout.).
- Fernandes, M. A., & Carvalho, I. S. (2005). Paleoicnologia em ambientes desérticos: análise da icnogenese de vertebrados da pedreira São Bento (Formação Botucatu, Jurássico Superior - Cretáceo Inferior, Bacia do Paraná), Araraquara, SP. *Anuário do Instituto de Geociências* (UFRJ. Impresso), 28, 184-185.
- Fernandes, M. A., & Carvalho, I. S. (2008). Revisão diagnóstica para a icnoespécie de tetrápode Mesozóico *Brasilichnium elusivum* (Leonardi, 1981) (Mammalia) da Formação Botucatu, Bacia do Paraná, Brasil. *Rev. Assoc. Paleontol. Argent.*, 45(1), 167-173.
- Fernandes, M. A., Ghilardi, A. M., & Leonardi, G. (2010). Pegadas de dinossauros Theropoda do Paleodeserto Botucatu (Jurássico Superior-Cretáceo Inferior) da Bacia do Paraná. In: Carvalho, I. S. (Org.), *Paleontologia: Cenários de Vida*. Rio de Janeiro: Interciência. v. 4, pp. 609-621. URL: <https://www.researchgate.net/publication/236234027>. Acesso 10.07.2025.
- Francischini, H., Fernandes, M. A., Kunzler, J., Rodrigues, R., Leonardi, G., & Carvalho, I. S. (2020). The ichnological record of Araraquara sidewalks: History, conservation, and perspectives from this urban paleontological heritage of Southeastern Brazil. *Geoheritage*, 12(3). DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00472-5>.
- Gonçalves, S. E. C., Alvim, A. M. M., & Carvalho, P. F. B. (2023). Geodiversidade paisagística para o geoturismo: mapeamento quantitativo indireto da geodiversidade. *Revista Verde Grande: Geografia e Interdisciplinaridade*, 5(01), 205-225. DOI: <https://doi.org/10.46551/rvg2675239520231205225>.
- Gray, M. (2008). Geodiversity: developing the paradigm. *Proceedings of the Geologists' Association*, 119(3-4), 287-298. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7878\(08\)80307-0](https://doi.org/10.1016/S0016-7878(08)80307-0).
- Gray, M. (2011). Other nature: geodiversity and geosystem services. *Environmental Conservation*, 38(3), 271-274. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0376892911000117>.
- Guarino, V., Lustrino, M., Zanetti, A., Tassinari, C. C. G., Ruberti, E., de' Gennaro, R., & Melluso, L. (2021). Mineralogy and geochemistry of a giant apatitic magma reservoir: The Late Cretaceous Poços de Caldas

- potassic alkaline complex (SE Brazil). *Lithos*, 398-399, 106330. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2021.106330>.
- Jacobsen, S. B., Penfield, G. T., Kring, D. A., Pilkington, M., Antonio, C. Z., & Boynton, W. V. (1991). Chicxulub crater: a possible Cretaceous/Tertiary boundary impact crater on the Yucatan Peninsula, Mexico. *Geology*, 19(9), 867-871. DOI: [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1991\)019<0867:CCAPCT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1991)019<0867:CCAPCT>2.3.CO;2).
- Leonardi, G., & Carvalho, I. S. (1999). SIGEP. Sítio 079. Jazigo Icnofossilífero do Ouro. Araraquara (SP). In: Schobbenhaus, C., Campos, D. A., Queiroz, E. T., Winge, M., & Berbert-Born, M. (Orgs.) (1999). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM)/Serviço Geológico do Brasil (CPRM)/Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP). pp. 1-14. URL: https://sigep.eco.br/SIGEP_Vol_1.pdf. Acesso 13.11.2025.
- Leonardi, G., Fernandes, M. A., Carvalho, I. S., Schutzer, J. B., & Silva, R. C. da. (2024). *Farlowichnus rapidus* new ichnogen., new ichnosp.: A speedy and small theropod in the Early Cretaceous Botucatu Paleodesert (Paraná Basin), Brazil. *Cretaceous Research*, 153, 105720. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2023.105720>.
- Manes, M. I. L. de, Silva, R. C. da, & Scheffler, S. M. (2021). Dinosaurs and rivers on the edge of a desert: A first recognition of fluvial deposits associated to the Botucatu Formation (Jurassic/Cretaceous), Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 110, 103339. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103339>.
- Matthes, A. (2005). *Arquitetura e permanências: o projeto urbano na constituição da esfera pública*. Campinas: Pontifícia Universidade Católica de Campinas. (Dissert. Mestrado).
- Megale, N. B. (2002). *Memórias Históricas de Poços de Caldas*. 2 ed., rev. e ampl. Poços de Caldas, MG: Sulminas.
- Milani, E. J., Melo, J. H. G. de, Souza, P. A., Fernandes, L. A., & França, A. B. (2007). Bacia do Paraná. *B. Geoci. Petrobras*, 15(2), 265-287. URL: <https://www.researchgate.net/publication/265291564>.
- Peixoto, B. C. P. M., Mángano, M. G., Minter, N. J., dos Reis Fernandes, L. B., & Fernandes, M. A. (2020). A new insect trackway from the Upper Jurassic-Lower Cretaceous eolian sandstones of São Paulo State, Brazil: implications for reconstructing desert paleoecology. *Peer J.*, 8(5), e8880. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.8880>.
- Peixoto, B. C. P. M., Sedorko, D., Barros, G. E. B. de, Francischini, H., Ghilardi, R. P., & Fernandes, M. A. (2025). Pulses of life: wet events in Botucatu Paleodesert evidenced by trace fossils analysis (earliest Cretaceous, Paraná Basin, Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 658, 112608. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2024.112608>.
- Pemberton, S. G., & Frey, R.W. (1982). Trace Fossil Nomenclature and the Planolites-Palaeophycus Dilemma Source: *Journal of Paleontology*. [S. l.: s. n.]. URL: <https://about.jstor.org/terms>.
- Ribeiro, L. C. borges, Trevisol, A., Carvalho, I. S., Macedo Neto, F., Martins, L. A., & Teixeira, V. de P. A. (2012). Geoparque Uberaba-Terra dos

- dinossauros do Brasil (MG): proposta. In: Schobbenhaus, C. & Silva, C. R. da (Orgs.) (2012). *Geoparques do Brasil: propostas*. Rio de Janeiro: CPRM. v. 1, p. 583-616. URL: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/1209>.
- Scherer, C. M. S. (2000). Eolian dunes of the Botucatu Formation (Cretaceous) in southernmost Brazil: morphology and origin. *Sedimentary Geology*, 137, 63-84. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(00\)00135-4](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(00)00135-4).
- Scherer, C. M. S., & Goldberg, K. (2007). Palaeowind patterns during the latest Jurassic-earliest Cretaceous in Gondwana: Evidence from aeolian cross-strata of the Botucatu Formation, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 250(1-4), 89-100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.02.018>.
- Scherer, C. M. S., & Lavina, E. L. C. (2006). Stratigraphic evolution of a fluvial-eolian succession: The example of the Upper Jurassic-Lower Cretaceous Guará and Botucatu formations, Paraná Basin, Southernmost Brazil. *Gondwana Research*, 9(4), 475-484. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gr.2005.12.002>.
- Scherer, C. M. S., Reis, A. D., Horn, B. L. D., Bertolini, G., Lavina, E. L. C., Kifumbi, C., & Goso Aguilar, C. (2023). The stratigraphic puzzle of the Permo-Mesozoic Southwestern Gondwana: The Paraná Basin record in geotectonic and palaeoclimatic context. *Earth-Science Reviews*, 240, 104397. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104397>.
- Thulborn, Tony. (1990). *Dinosaur tracks*. London: Chapman and Hall.
- Torsvik, T. H., & Cocks, L. R. M. (2013). Gondwana from top to base in space and time. *Gondwana Research*, 24(3-4), 999-1030. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gr.2013.06.012>.
- Ulbrich, H. H. G. J., Vlach, S. R. F., Ulbrich, M. N. C., & Kawashita, K. (2002). Penecontemporaneous syenitic-phonolitic and basic-ultrabasic-carbonatitic rocks at the Poços de Caldas alkaline massif, SE Brazil: geologic and geochronologic evidence. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(1), 15-26. DOI: <https://doi.org/10.25249/0375-7536.20023211526>.
- Wang, C., Mitchell, R. N., Murphy, J. B., Peng, P., & Spencer, C. J. (2021). The role of megacontinents in the supercontinent cycle. *Geology*, 49(4), 402-406. DOI: <https://doi.org/10.1130/G47988.1>.
- Weishampel, D. B., Dodson, P., & Osmólszka, H. (2004). *The Dinosauria*. 2 ed. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.
- Zalán, P. V., Wolff, S., Conceição, J. C. J., Marques, A., Astolfi, M. A. M., Vieira, I. S., Appi, V. T., & Zanotto, O. A. (1990). Bacia do Paraná. In: Gabaglia, G. P. R., & Milani, E. J. (Orgs.). (1990). *Origem e evolução das bacias sedimentares*. 2 ed. Rio de Janeiro: Gávea/Petrobrás. v. 1, p. 135-168.

Formação Botucatu e seus icnofósseis: guia de ensino para a cidade de Jacarezinho, Estado do Paraná

Pábulo Matheus Domiciano

Ariel Milani Martine

Fresia Ricardi-Branco

Bruno Belila Rusinelli

Introdução

Os icnofósseis são estruturas produzidas pela ação de organismos que registram suas atividades comportamentais e/ou metabólicas num substrato consolidado (p.ex. furos em rochas) ou não (p.ex. pegadas feitas em sedimentos inconsolidados), e que vêm a ser preservadas nas rochas ao longo do Tempo Geológico. Assim, pegadas, pistas, trilhas, escavações, galerias, túneis, ninhos, entre outros, são o resultado das ações de organismos vivos em resposta às pressões do meio que os rodeia (p.ex. calor, insolação, frio, vento etc.) e ecológicas (como a competição, falta de alimento, predação etc.). A interação organismo-substrato pode mostrar informações diferentes daquelas que os fósseis corporais fornecem. Dessa forma, os icnofósseis nos permitem conhecer os comportamentos e os estilos de vida de organismos extintos há muito tempo, além de permitir a elucidação da ecologia e dos ambientes pretéritos (Sedorko & Francischini, 2020).

Os icnofósseis têm a grande vantagem em relação aos somatofósseis (partes do corpo, como os ossos), pois, continuamente, os seres vivos estão produzindo traços e vestígios com certo potencial de fossilização. Essas evidências podem ser fezes, pegadas, ninhos, ovos etc., e podem ser produzidas no local sem sofrer transporte (autóctones) ou um curto transporte (parautóctones). No caso dos vertebrados, também podem ser preservadas impressões de peles além das pegadas. Dessa forma, são muito utilizados para se conhecer como foram os ambientes do passado, permitindo ter acesso *in loco* ao comportamento dos organismos associados às estruturas sedimentares características de um dado ambiente (Sedorko & Francischini, 2020).

A Formação Botucatu é reconhecida ao redor do mundo pela diversidade dos seus icnofósseis preservados nos arenitos, que os exibem frequentemente nas lajes das calçadas de cidades dos estados do Sudeste e Sul do Brasil. Os fósseis da formação correspondem na maioria a estruturas de bioturbação com escassos fósseis corporais descritos, como os lenhos fósseis de gimnospermas coletados no estado de Minas Gerais (Pires et al., 2011).

O conjunto de icnofósseis preservado nos arenitos da Formação Botucatu é o mais importante para o período Cretáceo da América do Sul (Leonardi & Carvalho, 2002). Os icnofósseis mais comuns de invertebrados da Formação Botucatu são trilhas e escavações que recebem o nome de *Arenicolites* Salter, 1857 (produzidos por anelídeos e larvas de insetos), *Taenidium* Heer, 1877 (produzidos por anelídeos e larvas de insetos), *Octopodichnus* Gilmore, 1927 (produzidos por anelídeos e larvas de insetos), *Paleohelcura* Gilmore, 1926 (relacionados a escorpiões), *Cochlichnus* Hitchcock, 1858 (relacionados a larvas de insetos, nematódeos e anelídeos aquáticos), *Beaconites* Vialov, 1962 (relacionados a artrópodes) entre outros (Fernandes et al., 1990, Fernandes & Carvalho, 2005, Peixoto et al., 2020, Francischini et al., 2020).

Com relação aos vertebrados, são reportadas pistas, pegadas isoladas e estruturas que podem ser associadas com tocas de mamíferos primitivos (Mammaliaformes). As formas associadas a mamíferos são denominadas como: *Brasilichnium elusivum* Leonardi, 1981, *Brasilichnium saltatorium* Buck et al., 2016, *Brasilichnium anaiti* Porchetti et al., 2017, *Aracoaraichnium leonardii* Buck et al., 2017. As formas que representam os demais vertebrados (Fernandes, 2005, Fernandes & Carvalho, 2008, Fernandes et al., 2010, Buck et al., 2017a, 2017b, Porchetti, 2017, Manes et al., 2021, Buck et al., 2022) são atribuídas a:

- I. lepidossauros;
- II. diversos tipos de dinossauros bípedes e carnívoros (terópodes);
- III. dinossauros herbívoros (ornitópodes, que inclui o maior indivíduo do paleodeserto Botucatu), e
- IV. uma possível pegada de ave.

Apesar de já terem sido mencionados na literatura (Leonardi, 1994), os icnofósseis da região de Jacarezinho, no Paraná, não foram detalhadamente investigados até o momento. Neste guia, são apresentadas lajes com registros de icnofósseis, prospectadas no calçamento e nas escada-

rias da Igreja Matriz da cidade de Jacarezinho, assim como no Colégio Elo. O material fornece informações importantes para a interpretação do paleoambiente da região durante o Cretáceo Inferior (aproximadamente 130 milhões de anos atrás). Com base nas informações obtidas a partir do estudo dos icnofósseis, são elaboradas sugestões de aulas de Ciências, utilizando as lajes como instrumento de ensino e abordando a interdisciplinaridade da temática.

Contexto Geológico

Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná foi uma grande área de sedimentação intracontinental com eixo maior N-S, com uma área no Brasil de 1,5 milhão de quilômetros quadrados. Essa Bacia também abarcou o nordeste da Argentina e o norte do Uruguai (Milani et al., 2007, Carneiro & Almeida, 2023). Sua história geológica se estende desde o período Ordoviciano na Era Paleozoica até o período Cretáceo na Era Mesozoica. Durante grande parte da Era Mesozoica, a história da bacia passa a ser continental e marcada também por derrames e intrusões vulcânicas. Assim, no transcurso dessa Era e por causa da aridez imperante e da abrasão eólica, formou-se um extenso mar de dunas (erg) no interior de Gondwana, que deu origem ao extenso paleodeserto Botucatu, na chamada “Megadesertificação Mesozoica” (Almeida et al., 2012a, Carneiro, Barbosa & Basilici, 2023). As etapas finais de evolução do paleodeserto foram marcadas pelos numerosos derrames basálticos que prenunciaram a separação da África da América do Sul e a formação do Oceano Atlântico Sul no início do Cretáceo (Carneiro, 2007, ver Martins & Carneiro, 2023). O evento culminou na fragmentação do Paleocontinente Gondwana. As rochas ígneas resultantes do evento são incluídas na Formação Serra Geral (Scherer, 2000, Milani et al., 2007, Scherer & Goldberg, 2007).

A Formação Botucatu

A Formação Botucatu (Fig. 1) engloba rochas depositadas pela ação dos ventos (atividade eólica), sendo formada quase inteiramente por arenitos de granulometria média a fina muito bem selecionados, de cores que variam entre avermelhada, amarelada e esbranquiçada de aspecto fosco e estratificações cruzadas de médio a grande porte (Carneiro, 2007,

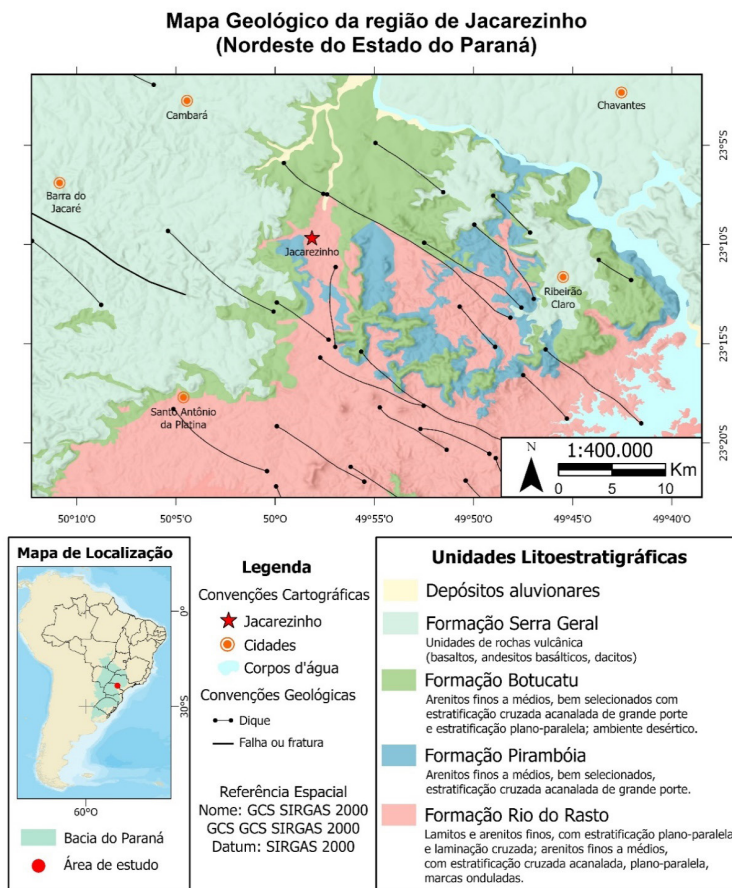


Figura 1. Mapa geológico da região próxima à cidade de Jacarezinho, onde afloram rochas que se estendem desde o Paleozoico (Formação Rio do Rasto) ao Mesozoico (formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral)

Fernandes et al., 2010, Milani et al., 2007). As características configuram a Formação Botucatu como um enorme *erg*, composto por dunas do tipo crescentes e lineares complexas (Scherer, 2000) e que se estendeu por quase toda a extensão da Bacia do Paraná e domínios adjacentes. O paleodeserto cobria mais de 1,5 milhão de quilômetros quadrados, abrangendo os estados brasileiros de Minas Gerais ao Rio Grande do Sul, com áreas de idade semelhante e correlatas no Uruguai, Paraguai e Namíbia, por ainda estarem unidos no paleocontinente de Gondwana a América do Sul e a África (Leonardi & Carvalho, 2002, Milani et al.,

2007, Scherer & Goldberg, 2008).

Durante o tempo de domínio do paleodeserto Botucatu, a Placa Sul-Americana sofreu dois eventos de ruptura continental que provocaram o desaparecimento do supercontinente Gondwana (Almeida et al., 2012b) e que trouxeram como consequência, respectivamente, a abertura dos oceanos Atlântico Central e Sul (Tamrat & Ernesto, 2006). Precedendo a derradeira separação, no Cretáceo Inferior, ocorreu um episódio de vulcanismo fissural que é considerado a maior manifestação ígnea continental do Fanerozoico (Milani et al., 2007).

Metodologia

Esta pesquisa investigou as lajes de arenito utilizadas para pavimentação pública e na igreja matriz na cidade de Jacarezinho no estado do Paraná. O objetivo foi localizar lajes que contivessem icnofósseis e outras estruturas sedimentares preservadas da Formação Botucatu. No transcurso do período de três anos (2020-2023), foram catalogadas e fotografadas pelo menos 100 amostras.

A cidade de Jacarezinho possui uma grande área pavimentada por lajes de arenito Botucatu. Porém, nas últimas décadas, as lajes vêm sendo substituídas por concreto, formando mosaicos entre calçadas de concreto e arenito. Desta forma, o perímetro urbano central de Jacarezinho foi investigado e as lajes com as feições prospectadas foram georreferenciadas e os endereços registrados, algumas lajes foram removidas e hoje em dia formam parte do Acervo de paleontologia da Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP), Jacarezinho.

Com esses dados, foi elaborado um mapa da Catedral Imaculada Conceição e do Colégio Elo, indicando a localização aproximada dos diversos icnofósseis encontrados, a fim de facilitar a identificação dos icnofósseis por professores e alunos que utilizarem este material. Fotografias dos principais icnofósseis e suas características estão incluídas no corpo do texto para auxiliar no reconhecimento dos espécimes, junto com um breve manual sobre como identificar uma pegada fóssil verdadeira.

Resultados

Durante as investigações, foram encontrados icnofósseis de três grandes grupos de animais nas calçadas: dinossauros, mamíferos e invertebrados. Dentro do grupo dos dinossauros, foram identificadas

pegadas pertencentes ao táxon Theropoda (cujo nome significa “pés de besta”), cujas pegadas tendem a ser digitígradas (somente os dedos tocam o solo, não as plantas dos pés), predominantemente tridáctilas, ocasionalmente tetradáctilas, sendo o dígito III maior que os demais. As pegadas características de terópodes apresentam *hypex* (ângulo entre os dedos) em formato de V (Thulborn, 1990, Weishampel et al., 2004).

Dentro do grupo Mammaliaformes, cujas pegadas tendem a ser ovaladas em sua forma geral, mais largas que longas, e apresentar impressões de quatro ou cinco dígitos. Nesse grupo foram identificadas duas icnoespécies, conhecidas como *Aracoaraichnium leonardii* e *Brasilichnium elusivum*. É importante ressaltar que os nomes adotados se referem às pegadas e não ao animal produtor, pois em Icnologia (ramo da ciência que estuda os traços fósseis) é complexo identificar qual espécie produziu o traço, salvo em caso que o fóssil do organismo esteja preservado junto às pegadas.

A morfologia geral das pegadas de *B. elusivum* e *A. leonardii* são bastante semelhantes: ambas são ovaladas, mais largas que compridas, semiplantígradas (ou seja, intermediárias entre digitígradas e plantígradas) e apresentam impressão de quatro dígitos. A maior distinção se dá em relação ao tamanho e à distância entre a impressão dos pés durante a passada (*passo oblíquo*), sendo *Aracoaraichnium* maior e com passadas mais curtas (Carvalho & Fernandes, 2008, Buck et al., 2017a, Buck et al., 2017b).

O terceiro grupo identificado nas calçadas é o mais abundante: os Invertebrados. Eles são geralmente representados por trilhas contínuas em formato serpentiforme, muitas das quais apresentam arcos (chamados de meniscos) ao longo de sua estrutura, evidenciando o deslocamento do organismo. A identidade dos possíveis produtores é difícil de atestar, pois uma variedade de organismos pode produzir traços semelhantes. Assim, é fundamental considerar o ambiente em que as trilhas foram formadas e investigar quais organismos contemporâneos habitam condições semelhantes, o que pode ajudar a esclarecer o possível produtor dessas trilhas no contexto paleontológico.

Reconhecer uma pegada fóssil envolve observar vários aspectos. O primeiro deles é o formato: cada grupo de organismos deixa pistas e trilhas distintas, portanto, é essencial analisar o contorno geral das impressões. Além disso, a disposição das pegadas deve ser considerada. Por exemplo, animais pequenos, como o *Brasilichnium*, geralmente deixam

pegadas em série, enquanto dinossauros, por terem uma passada mais larga, podem ser encontrados com pegadas isoladas. Um fator que pode ajudar a evitar equívocos na identificação é a análise do deslocamento de sedimento ao redor das pegadas (Fig. 2). Em ambientes dominados por dunas, como os que originaram as lajes de arenito, o movimento do animal pode gerar deslizamentos de sedimento na direção oposta ao seu deslocamento. Essa meia-lua de deslocamento torna-se um importante aliado na identificação correta das pegadas. Entretanto, nem sempre a pegada vai deixar o montículo de deslocamento, a depender da consistência do substrato e do peso do animal, ou mesmo por se tratar de uma subpegada (impressão da deformação da camada superior nas camadas subjacentes da estratificação). Ao integrar as observações — formato, disposição e sedimentos — é possível obter uma identificação mais precisa das pegadas fósseis.

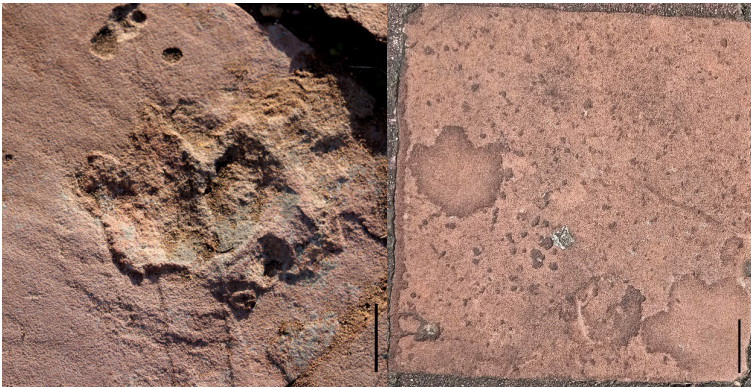


Figura 2. Comparação entre uma pegada verdadeira e uma pseudopegada. A) Marca muito semelhante a uma pegada de ornitópode, porém, não apresenta os caracteres distintivos como deformação do substrato nem a meia-lua de deslocamento. B) Pegada verdadeira, possivelmente de um ornitópode. Observa-se uma deformação do substrato exercido pelo peso do animal, além do deslocamento de areia ao redor da pegada, indicando a trajetória do animal em relação à duna.

Escala: 5 cm

Catedral Imaculada Conceição

A Igreja matriz de Jacarezinho representa um importante acervo de icnofósseis para a região de Jacarezinho. Icnogêneros como *Taenidium*, *Brasilichnium* e *Aracoaraichnium* são bastante abundantes, sendo uma das únicas localidades com essa confluência de diversidade (Fig. 3).

Distribuição dos icnofósseis nas lajes da escadaria da Catedral Imaculada Conceição (Jacarezinho-PR)

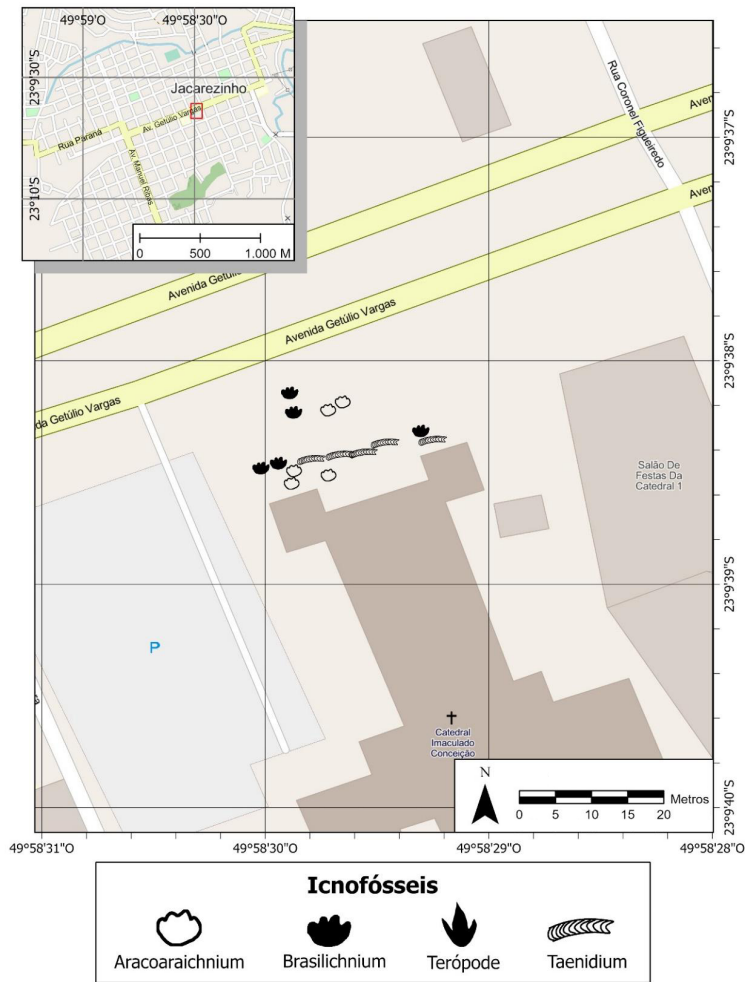


Figura 3. Localização aproximada dos principais icnofósseis encontrados na escadaria da igreja

Brasilichnium

Diagnose de *Brasilichnium* (Figs. 4-8 e 18). Pegadas semiplantígradas, tetradáctilas, com os dígitos IV e V sendo o seu eixo, caracterizando a condição ectaxônica (eixo da pegada são os dígitos externos). Pé de contorno elíptico, com eixo maior quase transversal e eixo anteroposterior levemente dirigido para dentro da pista; dígitos curtos, geralmente arredondados. Apresenta heteropodia (com diferentes características morfológicas entre mãos e pés), porém, na maioria dos casos, a impressão dos autopódios dianteiros são sobrepostos pelos traseiros no deslocamento. Quando a impressão das *manus* está presente, nota-se a grande diferença de tamanho, sendo estas muito menores que os *pes* (Fernandes & Carvalho, 2008)

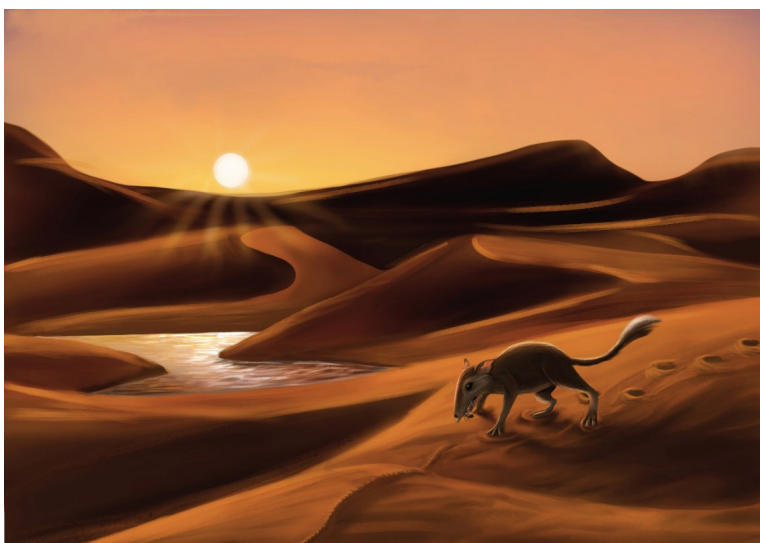


Figura 4. Representação artística do produtor da pegada *Brasilichnium* isp.
Ilustração: Pábulo Domiciano

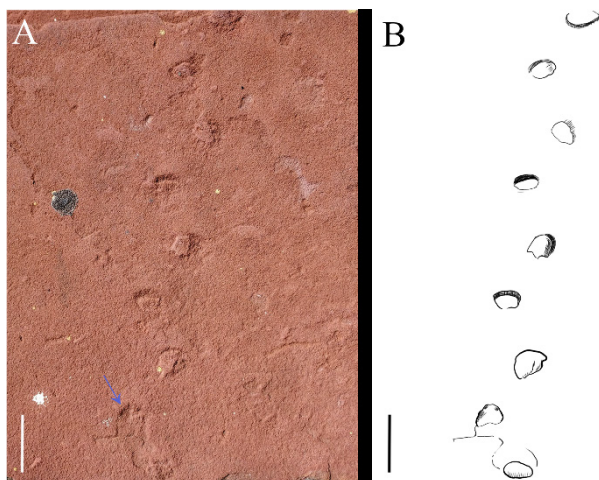


Figura 5. Icnofóssil 1. Conjunto de nove pegadas de *Brasiliichnium*. A) Pegadas preservadas em sua maioria em epirrelevo positivo (contramolde incrustado nas pegadas), salvo uma pegada mostrada pela seta azul. B) Representação gráfica das pegadas. Escala: 5 cm. Endereço: Catedral - Av. Getúlio Vargas, 771. Coordenadas geográficas: -23.160738, -49.9749185

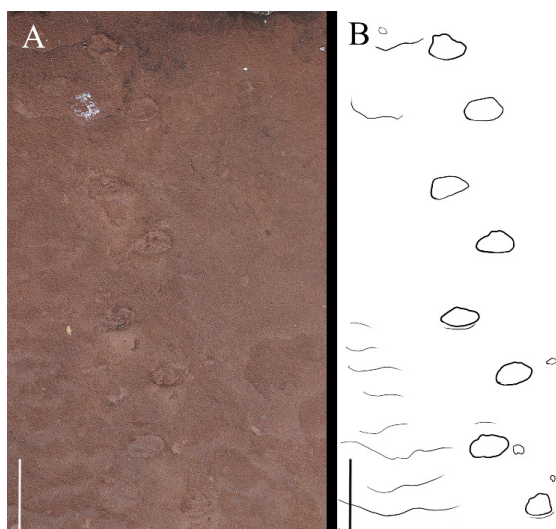


Figura 6. Icnofóssil 2. Conjunto de oito pegadas de *Brasiliichnium*. (A – B) Fotografia e representação gráfica das pegadas, notar marcas onduladas ao lado da pista. Escala: 5 cm. Endereço: Catedral - Av. Getúlio Vargas, 771. Coordenadas geográficas: -23.160637, -49.974719

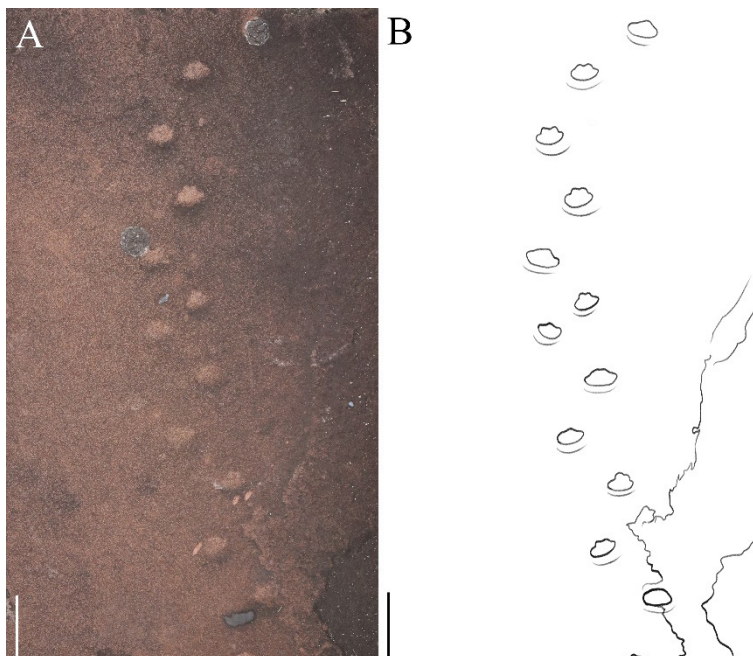


Figura 7. Icnofóssil 3. Conjunto de treze pegadas de *Brasilichnium*. (A – B) Fotografia e representação gráfica das pegadas. Escala: 5 cm. Endereço: Catedral - Av. Getúlio Vargas, 771. Coordenadas geográficas: -23.160642, -49.974948

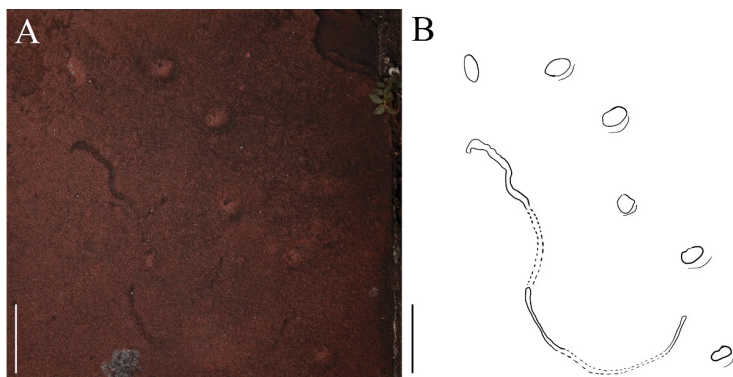


Figura 8. Icnofóssil 4. Conjunto de seis pegadas de *Brasilichnium* associada com uma trilha de invertebrado. (A – B) Fotografia e representação gráfica das pegadas. Escala: 5 cm. Endereço: Catedral - Av. Getúlio Vargas, 771, Jacarezinho, PR. Coordenadas geográficas: -23.160608, -49.974929

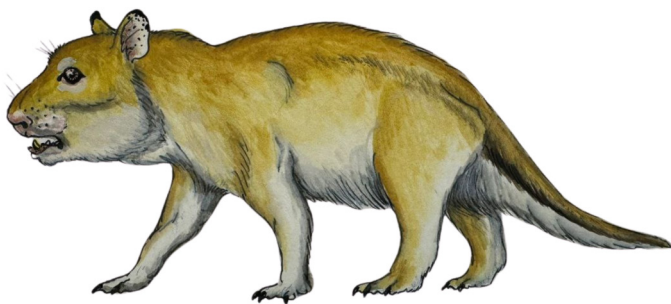


Figura 9. Representação artística do produtor da pegada *Aracoaraichnium* isp. Ilustração: Ariel Milani Martine.

Aracoaraichnium

Diagnose de *Aracoaraichnium*. Pegadas semiplantígradas, tetradáctilas com dígitos curtos (*manus* e *pes*), dígitos III e IV mais proeminentes caracterizando impressões mesaxônicas (o eixo da pegada são os dígitos centrais); mais largas que longas, características de mamífero. Heterópode, com impressões dos *pes* e *manus*, quando a situação do ambiente e/ou o tipo de deslocamento do animal permite. Há diferenças de tamanho entre *manus* e *pes*, sendo os autopódios dianteiros menores que os traseiros. Dígitos III é o mais longo seguido pelo IV, sendo esta diferença pequena. Os dígitos II e V são menores e de tamanhos semelhantes (Buck et al., 2017).

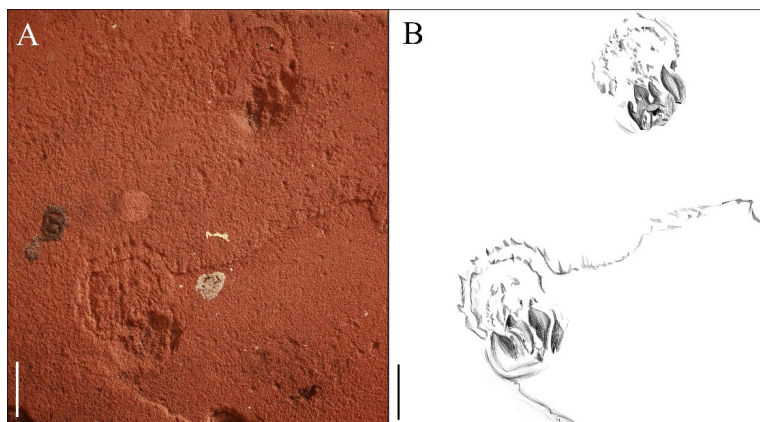


Figura 10. Icnofóssil 5. Passo oblíquo da pata traseira de *Aracoaraichnium* (A – B) Fotografia e representação gráfica das pegadas. Nete a impressão das garras, como é comum em mamíferos, quatro dígitos encostam no chão. Escala: 5 cm. Endereço: Catedral - Av. Getúlio Vargas, 771. Coordenadas geográficas: -23.1607342, -49.9748765

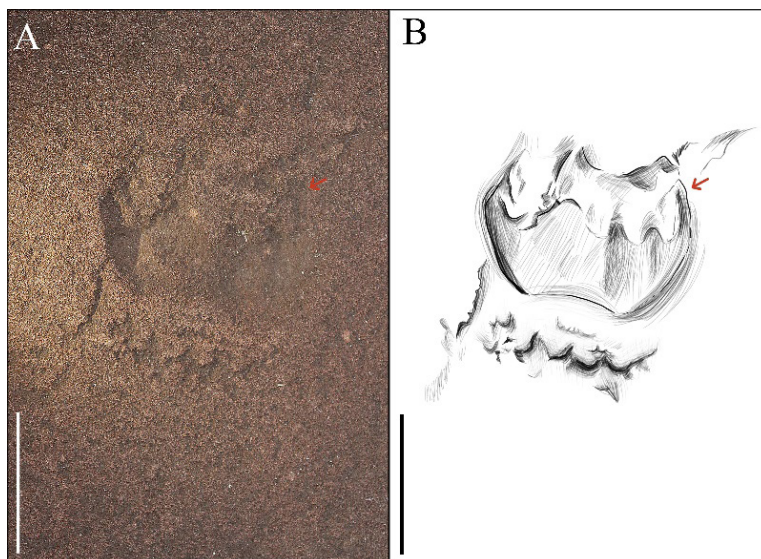


Figura 11. Icnofóssil 6. Pegada isolada de *Aracoaraichnium* (A – B) Fotografia e representação gráfica das pegadas. Seta vermelha indica um *overtrack*, que são acúmulos de sedimento por cima da pegada. Escala: 5 cm. Endereço: Catedral - Av. Getúlio Vargas, 771. Coordenadas geográficas: -23.160611, -49.974834



Figura 12. Icnofóssil 7. Pegada isolada de *Aracoaraichnium* (A – B) Fotografia e representação gráfica das pegadas. Escala: 5 cm. Endereço: Catedral - Av. Getúlio Vargas, 771. Coordenadas geográficas: -23.160714, -49.974916

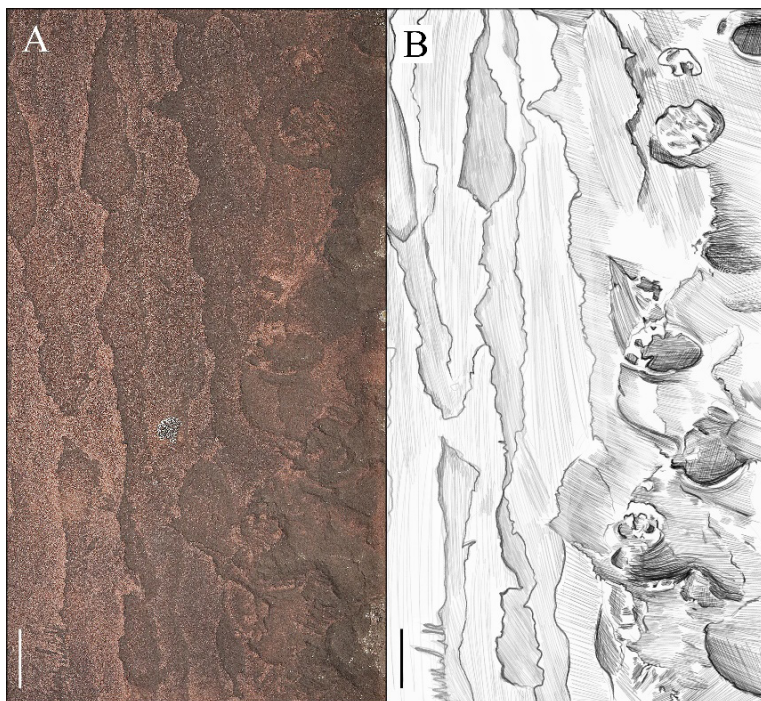


Figura 13. Icnofóssil 8. Pista de *Aracoaraichnium* (A – B) Fotografia e representação gráfica das pegadas, evidenciando a diferença de tamanho entre a pegada traseira e dianteira (seta vermelha). Escala: 5 cm. Endereço: Catedral - Av. Getúlio Vargas, 771. Coordenadas geográficas: -23.160601, -49.974816

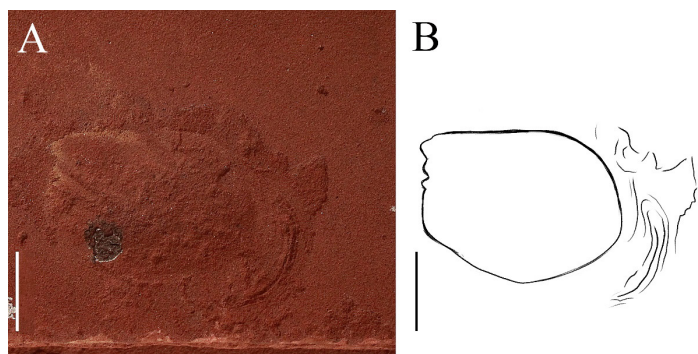


Figura 14. Icnofóssil 9. *Undertrack* de *Aracoaraichnium* (A – B) Fotografia e representação gráfica para melhor visualização. Escala: 5 cm. Endereço: Catedral - Av. Getúlio Vargas, 771. Coordenadas geográficas: -23.1606979, -49.9749032

Invertebrados

Taenidium

Diagnose de *Taenidium*. Escavações serpentiformes (Figs. 15, 16 e 17), não alinhadas e não ramificadas ou com ramificações secundárias, com preenchimento de meniscos uniformemente espaçados, uniformemente espessos e fracamente arqueados; distância entre os meniscos aproximadamente igual ou um pouco menor que a largura da escavação (Fernandes et al., 1990).



Figura 15. Possível produtor de *Taenidium* no paleodeserto Botucatu. Ilustração: Ariel Milani Martine.

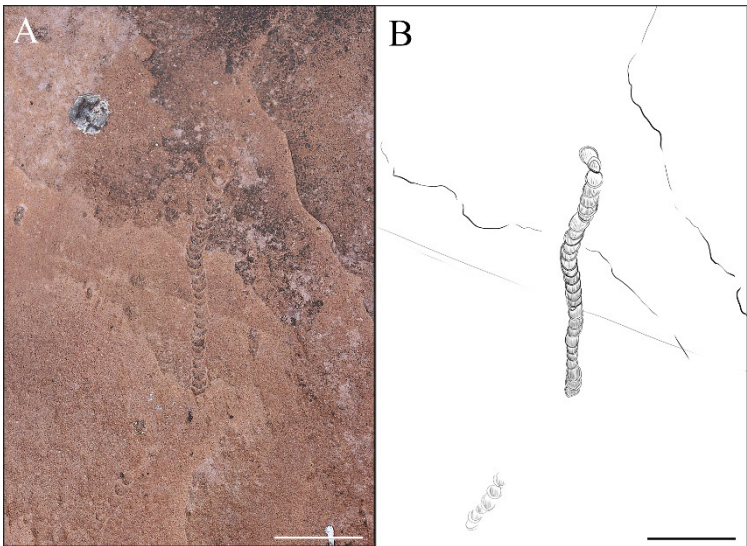


Figura 16. Icnofóssil 10. Trilha de *Taenidium* A – B) Fotografia e representação gráfica para melhor visualização. Escala: 5 cm. Endereço: Catedral - Av. Getúlio Vargas, 771. Coordenadas geográficas: -23.1606674, -49.9748536

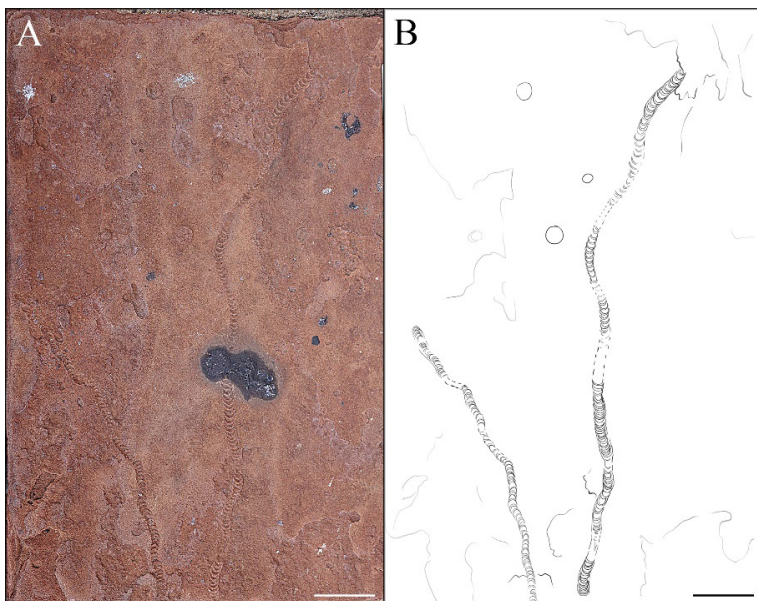


Figura 17. Icnofóssil 11. Trilha de *Taenidium* A – B) Fotografia e representação gráfica para melhor visualização. Escala: 5 cm. Endereço: Catedral - Av. Getúlio Vargas, 771. Coordenadas geográficas: -23.1606292, -49.9748002

Colégio Elo

O Colégio Elo (Fig. 20), localizado ao lado da Catedral de Jacarezinho, apresenta pegadas de terópodes, um grupo que não foi encontrado na escadaria da igreja. Por isso, ele foi escolhido como um dos focos deste capítulo.

Terópode

Os terópodes (Figs. 18, 19, 20 e 21) são caracterizados por possuírem *pes* com quatro dígitos (I, II, III e IV), seguindo a fórmula falangeal 2:3:4:5:0, (Thulborn, 1990). As suas pegadas são predominantemente tridáctilas, ocasionalmente tetradáctilas, sendo o dígito III maior que os demais. As pegadas características de terópodes apresentam *hypices* em formato de V, diferentemente dos Ornithopoda, também animais tridáctilos, que apresentam *hypices* em U (Thulborn, 1990, Weishampel et al., 2004).



Figura 18. Representação de terópode da Formação Botucatu. Ilustração: Ariel Milani Martine



Figura 19. Icnofóssil 12. Pegada isolada de terópodes. (A-B) Fotografia e representação gráfica para melhor visualização. Pegada impressa em ambiente úmido, note as gretas de contração, que correspondem às estruturas com padrão de fraturamento poligonal sob a pegada. Escala: 5 cm. Endereço: Colégio Elo - Av. Getúlio Vargas, 670. Coordenadas geográficas: -23.161165, -49.975516

Distribuição dos icnofósseis nas lajes do Colégio Elo (Jacarezinho-PR)

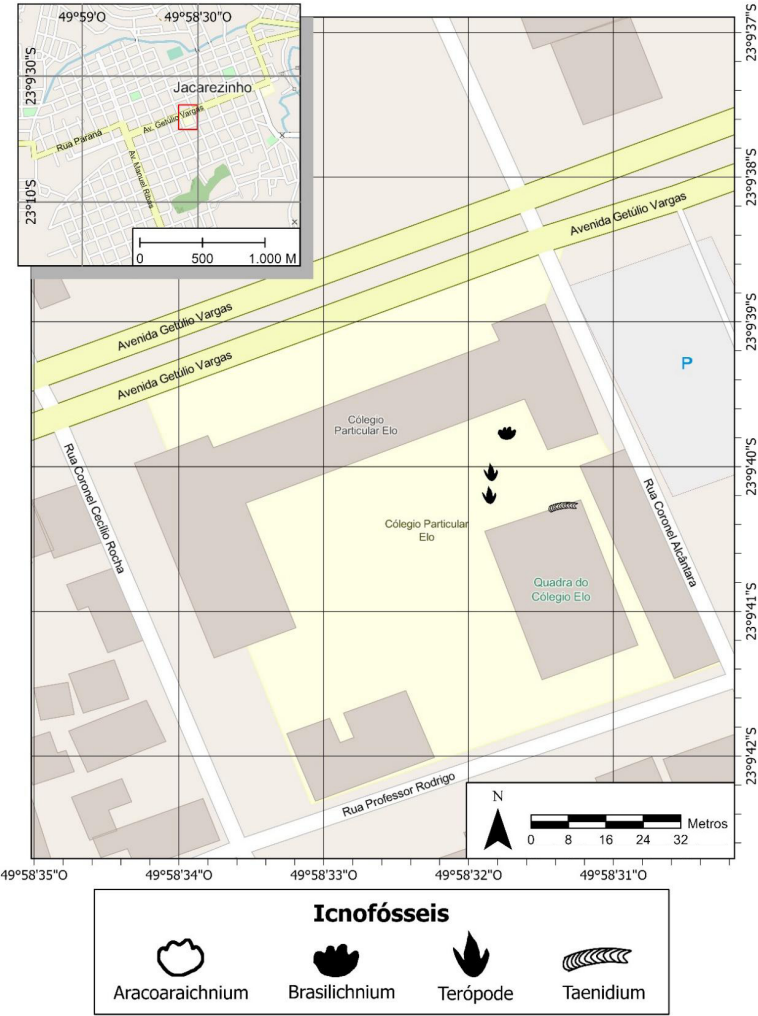


Figura 20. Localização aproximada dos principais icnofósseis encontrados no pátio do Colégio Elo

Brasilichnium

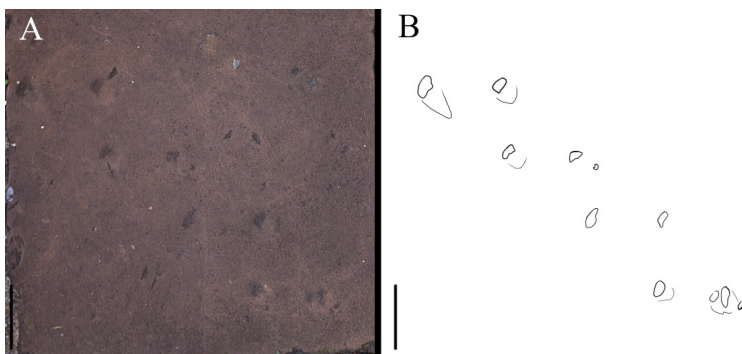


Figura 21. Icnofóssil 13. Pista de *Brasilichnium* (A – B) Fotografia e representação gráfica para melhor visualização. Escala: 5 cm. Endereço: Colégio Elo - Av. Getúlio Vargas, 670. Coordenadas geográficas: -23.161121, -49.975513

Discussão

As pegadas impressas nas lajes do calçamento da cidade podem ser excelentes aliadas para o engajamento estudantil na aprendizagem de Ciências da Natureza. As lajes são produtos do processo de litificação de sedimento que trazem consigo a história geológica da Terra, a história e a cultura locais. Assim sendo, os professores podem utilizar a versatilidade dessas peças, conduzindo excursões pelos pontos marcados no mapa e explorando diversos temas do conhecimento humano. Como os aspectos históricos da exploração das lajes, conteúdo icnofossilífero, processo de fossilização, erosão e ciclo das rochas, dentre outros.

Para Saviani (2011, 2012), o estudante não é uma “tábula rasa”, como a pedagogia tradicional enxerga, que chega à escola e recebe todo o conhecimento dos professores. O aluno possui vivências e experiências que não devem ser negligenciadas, as quais lhe conferem um conhecimento prévio, que é, portanto, sincrético — um neologismo erigido por Saviani para se referir ao conhecimento difuso e caótico que os alunos apresentam antes do processo educativo — da realidade material. O papel do professor no ato educativo é instrumentalizar os estudantes com conhecimento artístico, científico e filosófico elaborado pelo conjunto da humanidade (Saviani, 2011). Assim, partindo da prática social do aluno, o professor, que detém a síntese precária do conhecimento — precário, pois o professor, no início

do processo educativo, não compreende a vivência dos estudantes e, ao final, aprende com os estudantes em um processo dialético de troca de experiências –, pode desvelar a complexidade contraditória intrínseca a objetos cotidianos que passam despercebidos.

Sugestões de uso do material

Com a implementação da Base Nacional Comum Curricular (BNCC, Brasil, 2018), foi adotada a Pedagogia das Competências como fundamento para elaboração dos referenciais curriculares das instituições de ensino. Este documento elabora dez competências gerais que devem ser abordadas ao longo da Educação Básica. Reconhecemos que esse conceito está vinculado à política de individualização neoliberal, que busca promover uma formação acrítica dos estudantes. Neste texto, propomos formas de utilizar esse material em aulas críticas, com o objetivo de fomentar a emancipação humana.

As lajes usadas para a pavimentação da cidade podem ser empregadas no ensino de Ciências nas Unidades Temáticas *Terra e Movimento* e *Vida e evolução*. De acordo com as habilidades definidas pela BNCC, os anos e habilidades específicas passíveis de se abordar são:

- 6º ano - Terra e Movimento: (EF06CI12) identificar diferentes tipos de rocha, relacionando a formação de fósseis a rochas sedimentares em diferentes períodos geológicos.
- 7º ano - Terra e Movimento: (EF07CI16) placas tectônicas e deriva continental.
- 9º ano – Vida e Evolução: (EF09CI11) Discutir a evolução e a diversidade das espécies com base na atuação da seleção natural sobre as variantes de uma mesma espécie, resultantes de processo reprodutivo; usar as pegadas fósseis e compreender o ambiente pretérito e comparar ambientes e pegadas atuais e discutir a convergência evolutiva.

Aula para o 6º ano - Terra e Movimento (EF06CI12)

As lajotas de arenito de Jacarezinho são rochas sedimentares formadas pela litificação da areia de um antigo deserto. Nesse contexto, o professor pode iniciar uma discussão sobre como sedimentos inconsolidados, soltos e plásticos se transformaram em rochas sólidas. Durante essa explicação, é importante destacar que as lajes, frequentemente

ignoradas, são produtos de um processo de litificação e formação de rocha sedimentar. O professor pode aprofundar a temática ao explorar a dinâmica de um deserto, abordando sua ecologia e sua fauna. A abordagem visualiza o ambiente desértico, proporcionando aos estudantes uma compreensão mais profunda do cenário em que essas rochas se formaram. Em seguida, o tema dos icnofósseis e o processo de fossilização pode ser introduzido. Com um mapa das localizações de pegadas, pistas e trilhas em mãos, juntamente com informações sobre os animais que as produziram e fotografias dos traços, o professor pode ilustrar como era a dinâmica do paleodeserto Botucatu em Jacarezinho. Nesse momento, é fundamental explicar como as pegadas se preservaram no registro geológico, detalhando os passos necessários para que esse processo ocorra. A preservação das pegadas envolve uma série de condições, como a rápida sedimentação, a composição do sedimento e a pressão exercida sobre os sedimentos, fatores que contribuíram para a fossilização.

Outro aspecto a ser discutido é a importância cultural do uso do arenito para pavimentação. Esse material tem sido explorado na região há, pelo menos, cem anos. Inicialmente, o trabalho era realizado de forma artesanal, com trabalhadores talhando as rochas, abrindo-as e formatando-as para comercialização. Com o passar do tempo, a modernização trouxe máquinas que facilitaram esse trabalho, refletindo uma evolução nas técnicas de extração e transformação do arenito. Essa contextualização é importante para demonstrar aos estudantes todo o percurso das lajotas, evidenciando a valorização do trabalho humano e o que está por trás de objetos comuns do dia a dia. Além disso, é importante refletir sobre as perdas paleontológicas que podem ocorrer devido à substituição do arenito por blocos de concreto, uma prática que vem se tornando cada vez mais comum. Assim, o professor não apenas ensina sobre a geologia local, mas também instiga uma reflexão crítica sobre a interação entre natureza, cultura e tecnologia, promovendo o debate sobre a importância da preservação do patrimônio geológico da cidade.

Aula para o 7º ano - Terra e Movimento (EF07CI16)

Nesta aula serão abordados os temas de placas tectônicas e deriva continental. Uma sugestão de uso do material da Catedral é a exploração do vasto paleodeserto Botucatu, que se estendia por grande parte do território brasileiro, configurando-se como um dos maiores desertos já existentes. Durante o período de deposição desse paleode-

serto, a América do Sul e a África estavam unidas, e suas características desérticas se manifestam também em formações geológicas de outros países sul-americanos e na África. Essa continuidade de características desérticas, preservadas nas rochas, e a presença de icnofósseis semelhantes na Formação Twyfelfoltein (Porchetti & Wagensommer, 2015), na Namíbia, e na Formação Botucatu no Brasil, evidenciam a união dos continentes em tempos remotos. Essa relação não apenas ilustra a teoria da deriva continental, mas também oferece uma oportunidade para discutir a dinâmica da Terra e sua evolução ao longo do tempo geológico.

Aula para o 9º ano - Vida e Evolução (EF09CI11)

Nesta aula, o professor poderá explorar o conceito de *convergência evolutiva*. Inicialmente, uma explicação sobre esse conceito permitirá que os estudantes observem as pegadas fósseis de tetrápodes presentes na escadaria e as associem a ambientes análogos atuais. A atividade incluirá a pesquisa sobre animais que habitam desertos contemporâneos e que apresentam pegadas semelhantes, além da comparação com pegadas fósseis de mamíferos de desertos de diferentes continentes, demonstrando como, em grupos distintos de organismos, desenvolveram-se características semelhantes. Um exemplo prático é o comportamento dos pequenos mamíferos modernos, como os roedores, que tendem a ser mais ativos à noite, utilizando tocas como abrigo durante o dia (Bennett et al., 2024, Ezcurra & Mellink, 2006). As pressões seletivas em desertos quentes contemporâneos favorecem organismos que desenvolvem estratégias de sobrevivência análogas, resultando em características morfológicas e comportamentais semelhantes, mesmo entre espécies com diferentes ancestrais. Ezcurra & Mellink (2006) documentaram essa convergência em quatro desertos quentes atuais — América do Norte, Austrália, Norte da África e Sul da África —, revelando que, apesar das distintas linhagens evolutivas, muitos desses animais compartilham adaptações semelhantes. Um exemplo é a semelhança entre *Onychomys* sp., encontrado na América do Norte, e *Elephantulus* sp., do Sul da África. Apesar de suas raízes evolutivas distintas, ambos exibem adaptações que facilitam sua sobrevivência em ambientes desérticos. Este fenômeno é uma ilustração de como a evolução pode moldar características semelhantes em organismos que enfrentam desafios ambientais comparáveis. No con-

texto das pegadas fósseis, poderá utilizar o icnogênero *Brasilichnium* como exemplo, mostrando que em diferentes partes do mundo, em ambientes desérticos pretéritos, existe a ocorrência desse icnogênero, mesmo pertencendo a animais diferentes e tão distantes geográfica e temporalmente (Good & Ekdale, 2024, Leonardi & Carvalho, 2021).

Todas as sugestões de aulas podem ser adaptadas para atender às realidades e às disponibilidades das escolas e dos professores. Este material é versátil e pode ser utilizado em diversas disciplinas, como geografia, história e sociologia, destacando o aspecto cultural, geológico e histórico do calçamento de arenito. Essa flexibilidade permite que os educadores integrem diferentes enfoques e contextos, proporcionando uma aprendizagem interdisciplinar.

Conclusão

As lajes de arenito utilizadas na pavimentação de Jacarezinho são uma parte da cultura, da história e da geologia locais. Muitas vezes, passam despercebidas pela população, que, por sua familiaridade, não percebe a riqueza histórica e natural que essas peças representam. Este trabalho buscou destacar tais aspectos, promovendo a identificação e a valorização desse patrimônio cultural e geológico. Com os desafios modernos, como a urbanização acelerada, enfrentamos a massificação de alternativas de pavimentação que ameaçam a tradição, substituindo as lajes de arenito por blocos de concreto. A transição resulta na perda de informações sobre o passado de Jacarezinho, comprometendo a preservação da identidade local.

Além de abordar o conteúdo científico, este estudo visa desvelar as inter-relações entre cultura, história e ciência de maneira dialética, enriquecendo o conhecimento dos estudantes sobre seu cotidiano. Tal conexão é fundamental para a formação de cidadãos críticos e atuantes.

Referências

- Almeida, F. F. M. de, Assine, M. L., Carneiro, C. D. R. (2012a). A megadesertificação mesozoica. In: Hasui, Y., Carneiro, C. D. R., Almeida, F. F. M. de, & Bartorelli, A. (Eds.) (2012). *Geologia do Brasil*. São Paulo: Ed. Beca. p. 419-428. (Cap. 17).
- Almeida, F. F. M. de, Carneiro, C. D. R., Hasui, Y., Zalán, P. W., Teixeira, J. B. G. (2012b). Estágios evolutivos do Brasil no Fanerozoico. In: Hasui, Y., Carneiro, C. D. R., Almeida, F. F. M. de, & Bartorelli, A. (Eds.) (2012). *Geologia do Brasil*. São Paulo: Ed. Beca. p. 131-136. (Cap. 9).

- Brasil. Ministério da Educação. (2018). *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: MEC, Consed, Undime. 651p. URL: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518-versaofinal_site.pdf. Acesso 19.10.2024.
- Buck, P. V., Ghilardi, A. M., Fernandes, L. B. Dos R., & Fernandes, M. A. (2017a). A new ichnotaxon classification of large mammaliform trackways from the Lower Cretaceous Botucatu Formation, Paraná Basin, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 485(1), 377-388. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.06.027>.
- Buck, P. V., Ghilardi, A. M., Peixoto, B., Aureliano, N., & Fernandes, M. A. (2022). Lacertoid tracks from the Botucatu Formation (Lower Cretaceous) with different locomotor behaviors: A new trackmaker with novel paleoecological implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 116, 103812. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103825>
- Buck, P. V., Ghilardi, A. M., Peixoto, B., Fernandes, L. B. R., & Fernandes, M. A. (2017b). A new tetrapod ichnotaxon from Botucatu Formation, Lower Cretaceous (Neocomian), Brazil, with comments on fossil track preservation on inclined planes and local paleoecology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 466(15), 21-37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.11.009>.
- Carneiro, C. D. R. (2007). Viagem virtual ao Aquífero Guarani em Botucatu (SP): Formações Pirambóia e Botucatu, Bacia do Paraná. *Terra Didática*, 3(1), 50-73. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v3i1.8637476>.
- Carneiro, C. D. R., & Almeida, F. F. M. de (obra póstuma). (2023). História geológica da Bacia do Paraná no Brasil. In: Carneiro, C. D. R. (Org.) (2023). *Explorando a Terra na Educação Básica*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas. p. 165-208. (Série Ciências da Terra na Educação Básica, v. 1, Progr. Pós-Grad. Ensino e História de Ciências da Terra). URL: <https://econtents.bc.unicamp.br/omp/index.php/ebooks/catalog/book/166>. Acesso 19.10.2024.
- Carneiro, C. D. R., Barbosa, I. N. B. C., & Basilici, G. (2023). Os Paleodesertos Botucatu e Pirambóia e a origem do Sistema Aquífero Guarani. In: Carneiro, C. D. R. (Org.) (2023). *Explorando a Terra na Educação Básica*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas. p. 208-238. (Série Ciências da Terra na Educação Básica, v. 1, Progr. Pós-Grad. Ensino e História de Ciências da Terra). URL: <https://econtents.bc.unicamp.br/omp/index.php/ebooks/catalog/book/166>. Acesso 19.10.2024.
- Ezcurra, E., & Mellink, E. (2006). Hot Deserts. In: *Encyclopedia of Life Sciences*. Wiley. DOI: <https://doi.org/10.1038/ngp.els.0003178>
- Fernandes, A. C. S., Carvalho, I. S., Netto, R. G. (1990). Icnofósseis de invertebrados da Formação Botucatu, São Paulo (Brasil). Rio de Janeiro, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 62(1), 45-49.
- Fernandes, M. A. & Carvalho, I. D. S. (2008). Revisão diagnóstica para a icnoespécie de tetrápode Mesozóico *Brasilichnium elusivum* (Leonardi, 1981) (Mammalia) da Formação Botucatu, Bacia do Paraná, Brasil. *Ameghiniana*, 45(1), 167-173.

- Fernandes, M. A. (2005). *Paleoicnologia em ambientes desérticos: análise da icnocenose de vertebrados da pedreira São Bento (Formação Botucatu, Jurássico Superior - Cretáceo Inferior, Bacia do Paraná)* Araraquara, SP. Rio de Janeiro: Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 198p. (Tese Dout. Geologia).
- Fernandes, M. A. Ghilardi, A. M. Souza Carvalho, I. de. Leonardi, G. (2010). Pegadas de dinossauros Theropoda do Paleodeserto Botucatu (Jurássico Superior-Cretáceo Inferior) da Bacia do Paraná. In: Carvalho, I. S. (2010). *Paleontologia: Cenários de Vida. Paleoclimas*. Rio de Janeiro: Interciência. p. 609-621.
- Fernandes, M. A., & Carvalho, I. D. S. (2005). Paleoicnologia em ambientes desérticos: análise da icnocenose de vertebrados da pedreira São Bento (formação Botucatu, Jurássico Superior - Cretáceo Inferior, Bacia do Paraná), Araraquara, SP. *Anuário do Instituto de Geociências* (UFRJ. Impresso), 28, 184-185.
- Francischini, H. Fernandes, M. A. Kunzler, J., Rodrigues, R., Leonardi, G., & Carvalho, I. S. (2020). The ichnological record of Araraquara Sidewalks: history, conservation, and perspectives from this urban paleontological heritage of Southeastern Brazil. *Geoheritage*, 12(3), 50. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00472-5>.
- Good, T. R., & Ekdale, A. A. (2014). Paleocology and taphonomy of trace fossils in the colian upper triassic/lower jurassic nugget sandstone, Northeastern Utah. *Palaos*, 29(8), 401-413. DOI: <https://doi.org/10.2110/palo.2014.013>.
- Leonardi, G. (1994). *Annotated Atlas of South America Tetrapod Footprints (Devonian to Holocene) with an Appendix on Mexico and Central America*. Brasília: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). 248p.
- Leonardi, G., & Carvalho, I. S. (2002). Jazigo Icnofossilífero do Ouro (Araraquara), SP. Ricas pistas de tetrápodes do Jurássico. In: Schobbenhaus, C., Campos, D. A., Queiroz, E. T., Winge, M., & Berbert-Born, M. (Orgs.) (1999). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM)/Serviço Geológico do Brasil (CPRM)/Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP). p. 39-48. URL: https://sigep.eco.br/SIGEP_Vol_I.pdf. Acesso 13.11.2025.
- Leonardi, G., & Oliveira, F. H. A. (1990). Revision of the Triassic and Jurassic tetrapod footprints of Argentina and a new approach on the age and meaning of the Botucatu Formation Footprints (Brazil). *Revista Brasileira de Geociências*, 20(1), 216-229. DOI: <https://doi.org/10.25249/0375-7536.1990216229>.
- Leonardi, G., & Souza Carvalho, I. de. (2021). Vertebrate trace fossils: The Congo's Brasilichnium mammaloid fossil footprints. *Italian Journal of Geosciences*, 140(1), 141-154. DOI: <https://doi.org/10.3301/IJG.2020.24>.
- Manes, M. I. L. de, Silva, R. C. da, & Scheffler, S. M. (2021). Dinosaurs and rivers on the edge of a desert: A first recognition of fluvial deposits associated to the Botucatu Formation (Jurassic/Cretaceous), Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 110, 103339. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103339>.

- Martins, J. R. S., & Carneiro, C. D. R. (2023). Como conceber os imensos intervalos do Tempo Geológico? Desvendando a história da Terra. In: Carneiro, C. D. R. (Org.), & Santos, G. C. (Ed. Técnico). (2023). Explorando a Terra na educação básica, v. 1. Campinas: Universidade Estadual de Campinas. p. 1-32. (Série Ciências da Terra na educação básica, Progr. Pós-Grad. Ensino e História de Ciências da Terra). ISBN: 978-65-994829-0-8. DOI: <https://doi.org/10.20396/ISBN9786599482908>.
- Minter, N. J., Braddy, S. J., & Davis, R. B. (2007). Between a rock and a hard place: Arthropod trackways and ichnotaxonomy. *Lethaia*, 40(4), 365-375. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1502-3931.2007.00035.x>.
- Peixoto, B. C. P. E. M., Mángano, G., Minter, N. J., Fernandes, L. B. R., & Fernandes, M. A. (2020). A new insect trackway from the Upper Jurassic—Lower Cretaceous eolian sandstones of São Paulo State, Brazil: Implications for reconstructing desert paleoecology. *PeerJ*. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.8880>.
- Pires, E. F., Guerra-Sommer, M., Scherer, C. M. S., Santos, A. R., & Cardoso, E. (2011). Early Cretaceous coniferous woods from a paleoerg (Paraná Basin, Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, 32(1), 96-109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2011.04.001>.
- Porchetti, S. D., & Wagensommer, A. A. (2015). vertebrate trackway from the Twyfelfontein Formation (Lower Cretaceous), Damaraland, Namibia. *Palaontologische Zeitschrift*, 89(4), 807-814. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12542-015-0264-6>.
- Porchetti, S., Bertini, R. J., & Langer, M. C. (2017). Walking, running, hopping: Analysis of gait variability and locomotor skills in *Brasilichnium elusivum* Leonardi, with inferences on trackmaker identification. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 465(1), 14-29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaco.2016.10.009>.
- Saviani, D. (2011). *A pedagogia histórico-crítica: primeiras aproximações*. 11. ed. Campinas: Autores Associados.
- Saviani, D. (2012). *Escola e democracia*. 42 ed. Campinas: Autores Associados.
- Scherer, C. M. S. (2002). Preservation of aeolian genetic units by lava flows in the Lower Cretaceous of the Paraná Basin, southern Brazil. *Sedimentology*, 49(1), 97-116. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.2002.00434.x>.
- Scherer, C. M. S., & Goldberg, K. (2007). Palaeowind patterns during the latest Jurassic-earliest Cretaceous in Gondwana: Evidence from aeolian cross-strata of the Botucatu Formation, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 250(1-4), 89-100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaco.2007.02.018>.
- Sedorko, D., & Francischini, H. (2020). Conceitos, princípios e classificações icnológicas. In: Sedorko, D., & Francischini, H. (Orgs.). (2020). *Icnologia: interações entre organismos e substratos*. Curitiba: Ed. CRV. 672p.
- Tamrat, E., & Ernesto, M. (2006). Paleomagnetic constraints on the age of the Botucatu Formation in Rio Grande do Sul, Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78(3), 591-605. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0001-37652006000300016>

Educação para os riscos climáticos: uma experiência de aprendizagem na geografia escolar

Darlan da Conceição Neves

Introdução

Nos últimos anos, as mudanças climáticas têm sido um tema muito discutido, tanto nos veículos de mídia quanto no âmbito dos agentes políticos. Muito se deve, provavelmente, ao aumento dos extremos climáticos que têm ocorrido em volta do globo e principalmente no Brasil. É notório o aumento de manchetes, reportagens, postagens em redes sociais sobre incêndios florestais, ondas de calor, tempestades severas, secas intensas e inundações. Em reuniões e conferências entre países e grupos de países, as alterações dos climas global e local geram pautas de discussão. Do ponto de vista geográfico, é pertinente incluir no debate a produção do espaço geográfico em um contexto capitalista, que é desigual e combinado, e resulta na produção de territórios e comunidades ambientalmente frágeis. Ademais, as atividades econômicas e as mudanças do uso da terra lançarão na atmosfera, anualmente, milhões de toneladas de gases poluentes.

As alterações do clima ampliam ou tornam preponderantes os riscos climáticos, de acordo com as características geográficas dos territórios e suas respectivas populações, na medida em que tais riscos referem-se à possibilidade de ocorrência de dano a uma comunidade, associados a algum evento climático extremo, tais como ondas de calor e/ou frio, seca, chuvas intensas, inundações etc. As mudanças climáticas aumentaram muito a frequência e a possibilidade de ocorrência de eventos extremos, o que requer, com urgência, repensar e agir sobre a forma como os sistemas naturais estão sendo mobilizados em atividades econômicas e produtivas.

Áreas periféricas como as da cidade de São Paulo, que cresceram com muito pouco planejamento por parte do poder público, somam diferentes vulnerabilidades socioambientais. A infraestrutura urbana deficitária associa-se, muitas vezes, à sua localização em áreas de

risco. Assim, os territórios estarão cada vez mais expostos aos efeitos das mudanças climáticas, ou seja, ao risco. Em consequência disso, a educação para os riscos climáticos desempenha um papel crucial na construção de comunidades resilientes, especialmente em áreas urbanas periféricas, onde são mais evidentes as vulnerabilidades socioambientais. Ao capacitar os estudantes para identificar e agir sobre as ameaças climáticas, o processo educativo contribui para estratégias locais de adaptação às mudanças do clima, promovendo a cidadania ambiental. Recorde-se também que populações racializadas (negras e indígenas) tendem a sofrer maiores impactos ambientais, pois são as mais vulneráveis do ponto de vista socioeconômico e ambiental.

O tema requer um debate sério e urgente por parte dos governantes e da iniciativa privada, sobretudo quando se trata de promover melhores condições de vida nos territórios.

Com relação à escola, o tema convoca e suscita perguntas e demanda respostas que promovam uma educação climática capaz de enfrentar a questão, problematizando-a a fim de formar cidadãos que atuem concretamente por meio de ações locais com base na adaptação climática. Mas não se pode ficar apenas nisso. É interessante que a escola desenvolva práticas interseccionalizadas, ou seja, que mobilize a diversidade social, econômica, política e territorial, aglutinando os marcadores sociais de classe, raça, gênero, religião e origem geográfica com o objetivo de compreender que as consequências climáticas não são/serão iguais para todos os grupos sociais, nem muito menos dentro da realidade brasileira. Nesse sentido, torna-se relevante um trabalho didático-pedagógico que identifique, analise e avalie as relações entre clima e culturas.

Nesse contexto e problemática geral, este Capítulo objetiva relatar a experiência de uma atividade didático-pedagógica sobre riscos climáticos vivenciada por alunos e alunas de uma escola pública, situada na Zona Leste da cidade de São Paulo, no bairro de Guaianases. Os participantes foram alunos e alunas com idades entre 13 e 14 anos, do nono ano do Ensino Fundamental II. O trabalho foi realizado no mês de junho de 2024 e os resultados foram apresentados nas atividades da 2ª Semana do Meio Ambiente da mesma escola.

Inseridos em um contexto de periferia de uma grande metrópole, os alunos, as alunas e os seus familiares podem sofrer danos, como já se nota em diferentes momentos do ano em partes da cidade. Inundações relacionadas às chuvas durante o verão estão ficando mais intensas, o

que suscita, na escola e nos processos formativos escolares, um olhar atento no sentido de educar para o risco e para o desenvolvimento de habilidades que possam ajudar no exercício da cidadania, tendo como pano de fundo práticas sustentáveis a serem realizadas e difundidas na escala local, bem como capacitar os estudantes para a tomada de decisão.

Este Capítulo está dividido da seguinte maneira: na primeira parte discutem-se os riscos climáticos no contexto das mudanças climáticas, seguido de como a questão encaminha ou suscita ações didático-pedagógicas na escola; na segunda parte, descreve-se a metodologia da atividade de campo e a experiência vivida pelos/as discentes. Na sequência são apresentadas as considerações finais.

Fundamentação Teórica

Eventos extremos, de acordo com recentes estudos, estão cada vez mais frequentes e intensos, o que requer ações urgentes que promovam práticas de adaptação e justiça climáticas. Furacões e secas prolongadas são fenômenos que fazem parte da dinâmica natural do planeta, mas que têm se tornado mais intensos e frequentes devido às mudanças climáticas (Lourenço, 2006). O autor destaca, por exemplo, que riscos climáticos como os mencionados são constantemente transmitidos pelos veículos de mídia e passam a fazer parte do cotidiano. Com as mudanças climáticas, os eventos extremos, que outrora ocorriam de forma mais esporádica, estão sendo amplificados pela ação humana sobre o clima, o que torna essencial o desenvolvimento de sistemas eficientes de previsão e mitigação. As secas prolongadas e as chuvas intensas, dois exemplos citados no texto, são fenômenos diretamente afetados pelas alterações climáticas que contribuem para o aumento da vulnerabilidade das populações. E, nesses casos, podem ampliar os riscos associados a desastres.

Riscos são amplamente discutidos em diferentes disciplinas e há uma vasta literatura sobre o conceito, que pode mudar de acordo com as discussões teóricas de cada área de conhecimento. Lourenço (2006) analisa os riscos hidrológicos, como inundações e alagamentos, que se intensificam com o aumento das precipitações, sendo mais frequentes em decorrência das mudanças no padrão climático. Inundações e deslizamentos de terra úmida são os mais frequentes no Brasil (Nunes, 2015). Trata-se de fenômenos tecnicamente distintos, segundo o texto,

mas muitas vezes tratados de forma semelhante devido à sua associação direta com a água. A intersecção entre riscos naturais e mudanças climáticas é enfatizada no artigo quando se trata de eventos como o agravamento de desastres meteorológicos, que resultam tanto da variabilidade natural do clima quanto das ações antrópicas que impulsionam o aquecimento global. Com isso, Lourenço (2006) ressalta a necessidade de uma abordagem crítica e informada sobre os riscos, especialmente no contexto atual de mudanças climáticas, que amplificam o impacto dos desastres naturais.

As mudanças climáticas resultam de causas naturais e humanas. O estudo de Oliveira et al. (2017) mostra como fatores astronômicos, que incluem as variações na radiação solar e nos parâmetros orbitais da Terra, influenciam o sistema climático em diferentes escalas temporais. O artigo destaca a relevância dos ciclos solares de Schwabe e os ciclos de Milankovitch, que explicam as alternâncias entre períodos glaciais e interglaciais ao longo da história do planeta. Os autores enfatizam que as variações de emissão solar e as mudanças na órbita da Terra têm um impacto significativo sobre o clima, atuando ao lado de outros fatores como atividades vulcânicas e mudanças da composição atmosférica. A pesquisa revisa as principais descobertas científicas desde o século XVIII, reforçando a influência de elementos astronômicos sobre os processos climáticos naturais.

A discussão apresentada por Oliveira et al. (2017) é crucial para a compreensão contemporânea das mudanças climáticas, pois oferece uma perspectiva sobre a interação entre fenômenos naturais e o clima, complementando o debate sobre os impactos antropogênicos, como as emissões de gases de efeito estufa. Em um contexto atual, no qual o aquecimento global é amplamente discutido, o estudo dos ciclos naturais fornece uma base importante para entender as variações climáticas passadas e a complexidade dos mecanismos que moldam o clima da Terra. A pesquisa ressalta a importância de reconhecer a atuação desses fatores naturais, ao mesmo tempo que não exclui a necessidade de considerar as influências humanas na intensificação das mudanças climáticas.

Em complemento a essa perspectiva, o estudo de Reboita, Pimenta & Natividade (2015) analisa a influência dos parâmetros orbitais de Milankovitch no clima do planeta, especialmente a obliquidade do eixo de rotação da Terra. Utilizando simulações numéricas, os autores

mostram que variações na inclinação do eixo de rotação têm impacto direto na distribuição da temperatura do ar, afetando o aquecimento em diferentes latitudes e estações do ano. Os resultados indicam que, quanto maior a obliquidade, maior é o deslocamento da faixa de aquecimento para latitudes elevadas durante o verão de cada hemisfério. A pesquisa destaca também que, com ângulos de obliquidade mais elevados, há uma tendência de temperaturas mais homogêneas entre polos e regiões tropicais.

De acordo com os relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, em inglês), existe influência humana sobre as mudanças atuais do clima global, principalmente no que tange às emissões de gases do efeito estufa, devido a diversas práticas econômicas. Marandola Jr. & Hogan (2004) oferecem uma base para relacionar os *natural hazards* com os riscos climáticos em interação com tais atividades. O conceito de *natural hazards* apresentado pelos autores destaca a interação entre sociedade e natureza, na qual os eventos climáticos extremos, como tempestades, furacões e inundações, passam a ser considerados perigos quando afetam diretamente áreas habitadas por populações humanas. Os riscos climáticos, tais como secas prolongadas e precipitações intensas, se enquadram na definição, já que representam ameaças cuja gravidade depende da forma como as populações estão distribuídas no território e da infraestrutura disponível para mitigar seus efeitos.

Marandola Jr. & Hogan (2004) enfatizam ainda a ideia de vulnerabilidade, que é crucial para entender os impactos dos riscos climáticos: a vulnerabilidade de uma população resulta tanto das condições físicas do espaço quanto dos fatores socioeconômicos que influenciam sua capacidade de adaptação. Dessa forma, como apontam Nobre & Young (2011), a frequência e a intensidade dos eventos extremos, como enchentes e deslizamentos, na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), têm sido ampliadas pelas mudanças climáticas, colocando em evidência a necessidade de políticas públicas que levem em conta a vulnerabilidade social. De acordo com os autores, a frequência está ligada ao aumento da mancha urbana, ou seja, depende da área impermeabilizada. A análise projeta que a expansão urbana da RMSP até 2030 levará à ocupação de novas áreas de risco. Modelos indicam que mais de 20% da área urbana poderá ser suscetível a desastres naturais, como enchentes e deslizamentos.

Quando ocorre um evento extremo que ultrapassa a capacidade de resposta da população, ele passa a ser um desastre climático. Portanto, a análise de Marandola Jr. & Hogan (2004) joga luzes para se compreender os riscos climáticos. O aumento da vulnerabilidade das populações, em função de ocupações urbanas e rurais e do planejamento oficial seletivo, agrava os impactos das mudanças climáticas, tornando essencial uma abordagem geográfica integrada para lidar com os riscos. Marengo (2009) destaca que os eventos extremos, como ondas de calor, secas e chuvas intensas, são um aspecto fundamental da variabilidade climática, cuja frequência e intensidade têm aumentado nas últimas décadas devido ao aquecimento global. O fenômeno é especialmente preocupante para regiões vulneráveis, como o Nordeste brasileiro, onde a diminuição das chuvas e a desertificação ameaçam diretamente a segurança alimentar e a disponibilidade de água. Em relação a riscos climáticos, Marengo (2009) aponta que o aumento da temperatura e a alteração dos padrões de precipitação não afetam apenas os ecossistemas, mas também a vida humana em áreas densamente povoadas, exacerbando as desigualdades sociais. Regiões como a Amazônia e o Nordeste, que enfrentam vulnerabilidades sociais e econômicas, sofrerão mais intensamente com os impactos das mudanças climáticas, como secas prolongadas e a intensificação de eventos extremos de precipitação.

Como mostra o estudo de Bartolomei, Reboita & Rocha (2023), dois ciclones extratropicais impactaram o sul do Brasil no inverno de 2023, resultando em 17 mortes e diversas perdas econômicas, especialmente nos estados do Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC). O primeiro ciclone, em junho, seguiu uma trajetória anômala para sudoeste, causando chuvas intensas e ventos fortes, que geraram mais de 16 mil desalojados e perdas de solos férteis. Já o ciclone de julho, que teve sua gênese entre Paraguai, Argentina e RS, permaneceu mais tempo sobre o continente antes de se deslocar para o oceano, provocando tempestades e afetando cerca de 790 mil pessoas com falta de energia elétrica, além de danos significativos em 51 municípios.

A compreensão dos eventos climáticos é fundamental para o aprendizado sobre riscos climáticos, ao evidenciar que mudanças na circulação atmosférica podem causar tragédias significativas. A análise dos ciclones extratropicais em 2023 mostra a vulnerabilidade de certas regiões a eventos extremos e a importância de medidas de mitigação e adaptação. Estudar a gênese e os impactos dos ciclones permite que

alunos e alunas compreendam a necessidade de preparação para eventos climáticos intensos e para ações locais de adaptação.

A escola e as implicações pedagógicas dos eventos extremos

Considerando o contexto das mudanças climáticas e o aumento dos riscos e eventos climáticos, parece urgente que a escola desenvolva práticas escolares e/ou projetos formativos para seus escolares no sentido de promover uma certa educação para o risco. Ou seja, promova uma educação que considere as mudanças atuais do clima, uma vez que a comunidade escolar, de alguma forma, pode estar exposta a algum evento climático danoso.

Para Jacobi (2005), há a necessidade de desenvolver práticas educativas interdisciplinares que abordem a complexidade das relações entre sociedade e natureza. A transformação de hábitos e valores sociais é central para reorientar estilos de vida em direção à sustentabilidade. O texto também critica abordagens simplistas e defende uma educação que vá além da preservação ambiental, integrando dimensões sociais, econômicas e culturais.

Pensar em um educação para os riscos climáticos é importante para pensar e desenvolver, em um sentido coletivo, práticas escolares que envolvam alunos e professores. Santos (2024) apresenta interessante proposta de aprendizagem social que pode ocorrer nesse tipo de projeto. A autora sugere que a compreensão dos problemas socioambientais seja feita a partir da interação entre conhecimentos das Geociências e das Ciências Sociais, o que ajuda a entender os impactos das atividades humanas no ambiente. Enfatiza a importância da aprendizagem social, que envolve a colaboração entre diferentes atores (alunos, professores e comunidade) para construir uma visão compartilhada dos problemas ambientais e buscar soluções conjuntas. A autora propõe que a Educação em Geociências, que em nosso caso específico se desdobrou na aprendizagem dos riscos climáticos, deva promover a cidadania ambiental, incentivando os estudantes a se envolver ativamente na resolução de problemas ambientais locais, com um olhar crítico sobre as dinâmicas sociais que afetam o meio ambiente. Portanto, a aprendizagem social pode incentivar os alunos em projetos colaborativos com a comunidade, como mapeamentos participativos de áreas de risco. Isso ajuda os estudantes a perceber o papel da comunidade na mitigação dos riscos climá-

ticos e a importância da ação coletiva. A ênfase na cidadania ambiental é essencial para motivar os alunos a refletir criticamente sobre como as políticas de gestão do território influenciam a exposição a eventos climáticos extremos, incentivando-os a serem agentes de mudança em suas comunidades.

Barbosa & Carneiro (2024) destacam a importância de fomentar habilidades de pensamento crítico e criativo nos estudantes, especialmente em um mundo marcado por mudanças tecnológicas rápidas. Consideram que as Geociências, com sua natureza integradora e exploratória, são uma área propícia para incentivar a curiosidade e a análise crítica e sugerem que o contato direto com o ambiente por meio de estudos práticos ajuda os alunos a conectar os conceitos teóricos aprendidos em sala de aula com fenômenos observados no mundo real, tornando o aprendizado mais significativo. Mencionam também que as tecnologias digitais, quando bem aplicadas, podem enriquecer o aprendizado nas Geociências, possibilitando análises de dados e representações visuais de fenômenos geológicos e climáticos. A ideia de integrar o pensamento crítico e criativo é fundamental para a prática de análise de riscos climáticos, pois permite que os alunos não apenas entendam os fenômenos meteorológicos, mas também questionem as causas e as consequências dos eventos climáticos extremos.

É necessário que trabalhos colaborativos, cujo objetivo seja compreender de modo integrado as dinâmicas naturais e sociais, apresentem uma atividade específica de trabalho de campo. Logo, é imprescindível que os/as alunos/as observem a paisagem para realizar registros. Como sugerem Ponte, Camargo & Piranha (2023), é importante que os estudantes se envolvam diretamente com o ambiente por meio de atividades práticas, como visitas a áreas suscetíveis a desastres naturais (inundações, deslizamentos), para entender os fatores que contribuem para os riscos climáticos. A seguir apresentamos o projeto sobre riscos climáticos.

Projeto Semana do Ambiente

No mês de junho de 2024, foi realizada a 2ª Semana do Meio Ambiente na Escola Municipal de Ensino Fundamental João Ribeiro de Barros, no conjunto das atividades pertencentes às festividades do

seu 50º aniversário. Situada no bairro de Guaianases na Zona Leste de São Paulo, a unidade escolar atende a um público diverso de quase 1.400 alunos e oferta, em três períodos, as modalidades de Ensino Fundamental 1, 2 e Educação de Jovens e Adultos. Oportuniza a sua comunidade a participação em projetos de música, capoeira, xadrez, teatro, reforço escolar em diferentes componentes curriculares, entre outros.

O projeto escolar mobilizou dois conceitos centrais para serem desenvolvidos por professores e alunos em diferentes atividades: racismo ambiental e justiça climática, com base em Herculano (2006). Os temas ambientais são sempre escolhidos com base no tema escolhido pela Organização das Nações Unidas para o ano. O objetivo principal era ressignificar o olhar para o território local, no intuito de construir conhecimentos escolares voltados para uma aprendizagem com o lugar. Fomentou-se também as relações afetivas que constroem e reforçam laços de pertencimento, a fim de promover uma certa “consciência ambiental” para tomadas de decisão locais. Nesse sentido, foi importante a instrumentalização dos alunos com conceitos científicos sobre mudança e justiça climáticas e racismo ambiental.

O conceito de racismo ambiental foi mobilizado para conectar a comunidade escolar à produção desigual do espaço e às consequências vulnerabilidades socioambientais no território. Do ponto de vista da justiça climática, era preciso construir a noção de que populações racializadas, tais como negros e indígenas em contextos local e nacional, sofrem mais com os eventos extremos e, portanto, seria preciso o desenvolvimento de políticas públicas para aumentar a resiliência dessas populações. Isso significa melhorar as condições de vida, garantindo espaços mais seguros e adaptados às mudanças do clima.

No artigo *O Clamor por Justiça Ambiental e Contra o Racismo Ambiental*, Herculano (2006) discute os conceitos de justiça ambiental e racismo ambiental no contexto das desigualdades sociais e ambientais. Segundo a autora, a justiça ambiental compreende princípios que asseguram que nenhum grupo sofra desproporcionalmente os impactos ambientais negativos decorrentes de atividades econômicas, políticas ou omissões governamentais. Como o texto mostra, o conceito surgiu nos Estados Unidos, inicialmente mobilizado por comunidades marginalizadas, como afro-americanos e latinos, e foi expandido para abordar questões globais e locais.

A autora define o racismo ambiental como a injustiça que afeta desproporcionalmente grupos étnicos vulneráveis, como populações indígenas, quilombolas e ribeirinhos, frequentemente expulsos de seus territórios ou expostos a condições ambientais degradantes devido a grandes empreendimentos. A autora argumenta que, no Brasil, essas práticas são intensificadas por desigualdades estruturais e pela marginalização histórica desses grupos sociais. Ela ressalta que o racismo ambiental não exige uma intenção racista explícita, mas é evidenciado pelo impacto desigual em termos ambientais e sociais.

No caso de Guaianases, os conceitos de racismo ambiental e justiça climática ganham relevância ao evidenciar de que forma populações racializadas e de baixa renda são desproporcionalmente impactadas por eventos climáticos extremos. Tal realidade exige uma abordagem educacional interseccionalizada – considerando vários marcadores sociais – que articule o conhecimento técnico-científico com a conscientização crítica sobre desigualdades socioambientais.

A participação da Geografia escolar no projeto se deu ao longo do desenvolvimento de aulas de campo para estudos do meio, especificamente nos trabalhos de campo. A escolha justifica-se pela prática da pesquisa *in loco* para observação de fenômenos sociais e naturais de modo interdependente e pela promoção de experiências significativas para a formação escolar. Considerando isso, a aula de campo como estratégia metodológica está alinhada à necessidade de conectar o conhecimento teórico à experiência prática, ampliando a percepção dos alunos sobre o espaço geográfico. O uso de ferramentas digitais, como o Google Maps, complementa a abordagem ao possibilitar análises mais detalhadas e escalas ampliadas, fomentando a integração de elementos naturais e sociais.

Os objetivos traçados foram a identificação e a avaliação dos riscos climáticos a que tanto a escola quanto o bairro podem/poderiam estar expostos. Logo, partiu-se dessa pressuposição. A utilização do trabalho de campo como instrumento metodológico nas aulas de Geografia aproximou os alunos e alunas da sua própria realidade, mas com outros olhos. Guiados/as pelos conceitos científicos tanto geográficos (espaço geografico, território, lugar e paisagem) quanto das ciências do clima, os/as participantes foram convidados/as a participar de diferentes momentos de interação discursiva acerca do clima e da cidade de São Paulo.

Para construção da atividade de campo, utilizou-se a proposição de Neves, São José e Santana (2023). Os autores recomendam uma interessante proposta para trabalhar com riscos climáticos na escola. Apresentam doze etapas desde a apresentação da proposta à turma até a comunicação dos resultados; afirmam que a Base Nacional Comum Curricular (BNCC, Brasil, 2017), principal documento norteador da educação brasileira na atualidade, apresenta a mudança climática de forma muito tímida, principalmente na área de Ciências Naturais. Ademais, Neves & Del Gaudio (2024) identificaram um apagamento progressivo do tema mudanças climáticas naquele documento. Considerando a grande influência da BNCC na produção de currículos estaduais e municipais, vê-se com grande preocupação a não abordagem de forma transversal e/ou interdisciplinar dos conteúdos das mudanças climáticas e não apenas do clima, como está no documento.

De acordo com Neves & Del Gaudio (2024), a disposição dos conteúdos sobre clima na BNCC está concentrada em habilidades a serem desenvolvidas, principalmente nas séries iniciais do Ensino Fundamental, no que tange ao componente Geografia, principalmente no sexto ano. Nas demais séries ou anos, a ocorrência ou indicação do tema é praticamente inexistente. Os autores evidenciaram que há conteúdos sobre o clima e o aquecimento global no currículo das Ciências Naturais, mas focando, principalmente, mais no funcionamento do clima do que na sua relação com a sociedade.

Desde a década de 1990, os Parâmetros Curriculares Nacionais, os PCN, já colocaram o meio ambiente como tema transversal. Nesse sentido, Neves & Del Gaudio (2024) afirmam ter existido um retrocesso na BNCC. Foi pensando na lacuna conceitual e metodológica da BNCC que Neves, São José e Santana (2023) discutem em seu artigo como os riscos climáticos podem ser tematizados em projetos de ensino na educação básica. Com base no ensino por investigação e no conceito geográfico de situação geográfica, os autores exploram a potencialidade da investigação ao fazerem dois movimentos: um olhar para as condições estruturais da escola e para o território na qual ela se insere. Em nossa atividade, a aula de campo foi utilizada apenas para o conhecimento externo à unidade escolar.

Houve a participação de quarenta alunos/as de duas turmas do nono ano do Ensino Fundamental II. Os resultados da atividade foram apresentados pelos/as discentes na 2ª Semana do Meio Ambiente. As etapas realizadas foram:

Resultados

O roteiro de campo, elaborado com base em Neves (2015), foi o guia entregue a cada participante e deveria ser preenchido ao longo da caminhada realizada no bairro. Como se tratou de uma atividade realizada nas aulas de geografia, os alunos e as alunas foram orientados/as a identificar e anotar objetos espaciais da produção humana e naturais.

Com base no primeiro critério do roteiro de campo, deveriam ser observados o tipo de cobertura do solo, a presença de equipamentos de lazer, a disposição das residências e dos estabelecimentos comerciais e sua proximidade com corpos d'água, os telhados das moradias e seus respectivos materiais, lixeiras, pontos de ônibus, a disposição de lixos nas ruas, ou seja, era preciso olhar a produção e a organização do espaço do bairro. O segundo critério orientou para a identificação dos elementos naturais: cobertura vegetal, as formas do relevo (topo de morro, encosta e fundo de vale), presença de corpo hídrico.

Em todo momento da aula, o professor conduziu a turma a fim de sempre relacionar com a possibilidade ou não de ampliação do risco climático; desta forma, foi preciso fazer registros detalhados, como se vê na Figura 1A. Algumas ruas foram visitadas, entre travessas e avenidas. Os riscos climáticos podem ser ampliados de acordo com as características locais, o que pode afetar em maior ou menor grau uma dada população ou comunidade. Uma vez que o bairro de Guaianases é periférico, muitas residências utilizam materiais precários em sua construção. Para perceber o conforto térmico dentro de casa, a turma foi orientada a observar o tipo de telhado. Conforme variava o material, os/as discentes começaram a relacionar de que maneira as variações de temperatura poderiam causar, junto com o material da construção, maior ou menor conforto no interior das casas.

Com relação ao conforto térmico nas ruas, a turma observou e identificou a presença e distribuição da cobertura vegetal. Foi observado que a vegetação ou se concentra em equipamentos públicos ou dentro de alguns terrenos residenciais. Ao longo das ruas, poucas árvores foram observadas, como se vê na Figura 1B. Na própria rua da escola (à direita da imagem), a turma identificou que a concentração da vegetação está nos equipamentos públicos, como as três escolas da rua e uma praça a jusante da unidade escolar (Fig. 1C).

A ausência de vegetação e a precariedade das infraestruturas urbanas em Guaianases refletem a lógica de produção do espaço em contextos

capitalistas, onde áreas periféricas são frequentemente negligenciadas em termos de planejamento e investimentos públicos. Essa realidade evidencia como a produção desigual do espaço contribui para ampliar as vulnerabilidades socioambientais, reforçando a importância de políticas públicas que priorizem a equidade territorial.

O bairro de Guaianazes está situado em uma área de muitos morros. A própria escola está localizada em uma face de encosta não vegetada. Para a identificação do relevo local e sua relação com os riscos climáticos, estudou-se de que forma o relevo controla a circulação da água no solo e como as modificações humanas alteram a sua circulação. Os alunos e alunas foram orientados/as a observar a declividade do terreno. Observou-se que ruas íngremes tendem a causar mais enxurradas, e ruas mais planas, alagamentos. Inundações podem ser observadas quando próximas de córregos ou pequenos corpos d'água (Fig. 1D).

O córrego Água Vermelha está situado em um fundo de vale na área do Ribeirão do Lageado (Fig. 1E). No momento da visita, os alunos e alunas identificaram modificações em seu leito e forma (retilinação). A área é habitada por uma comunidade precarizada, com casas simples e materiais de baixo custo. A turma identificou alguns riscos climáticos: inundação e doenças de veiculação hídrica. Em um dado momento, foi possível conversar com uma agente de saúde que passava pelo lugar a serviço. Ela relatou que há muitos acumuladores nas casas. O fato despertou a turma para o risco de maior incidência de casos de dengue na área. Mais à frente, os alunos e alunas se depararam com esgoto a céu aberto (Fig. 1F) e prontamente procederam à descrição do córrego e das moradias ao redor.

Além dos riscos de inundação e doenças, os/as estudantes identificaram na área o potencial de ondas de calor que podem causar desconforto térmico. Isso se deve à observação de telhados compostos por materiais que se aquecem muito durante o dia, como se vê na cobertura da casa à margem do córrego (Fig. 1F).

Se, por um lado, os riscos climáticos foram observados e identificados, por outro, era igualmente importante olhar as condições de lazer da população e de como os equipamentos públicos estavam dispostos no bairro, uma vez que essa questão pode ser utilizada como um parâmetro da qualidade de vida. Os alunos identificaram praças e quadras que a população usava (Fig. 1G). Isso incide na qualidade de vida do bairro. Nesses equipamentos, foi identificada uma maior concentração de árvores.



Figura 1. (A) Identificação da situação das ruas. (B) Observação das moradias. (C) Observação da rua da escola. (D) Rua Água Vermelha: o córrego e o risco de inundação e propagação de doenças. (E) Localização do Córrego Água Vermelha. Fonte: Silva & Koury (2023). (F) Esgoto a céu aberto. (G) Identificação de equipamentos de lazer

Após realizada a aula de campo, a atividade seguinte foi sistematizar os dados: organização e produção de resultados. Assim, a turma deveria utilizar o roteiro de campo com as informações anotadas e produzir mapas mentais dos riscos climáticos identificados. A atividade ocorreu na aula seguinte, em grupo, para que os membros complementassem as informações (Fig. 2A). A opção pelo uso de mapas mentais é que estes possuem significados particulares atribuídos pelos alunos e alunas que vivem no bairro. Nesse sentido, foi importante permitir que o olhar do/a escolar fosse mobilizado tendo como referência a realidade concreta (Kozel, 2013). Os mapas mentais, produzidos, portanto, carregam significados identificados e valorados pelos sujeitos discentes em sua relação com o mundo a sua volta.

Por outro lado, os mapas mentais auxiliaram na organização das informações. Trata-se de um tipo específico de linguagem, ou gênero discursivo, que possui uma estrutura de organização de interpretações particulares (Rojo & Barbosa, 2015). Ao se tornar um modelo escolar, esse modo particular de interpretar a realidade suscita uma forma própria de modulação do discurso do/a aluno/a (Schneuwly & Dolz, 2004). A etapa gerou novas dúvidas sobre as relações possíveis entre elementos sociais e naturais na produção do risco climático. Houve também a necessidade de discussão dos conceitos de resiliência e vulnerabilidade, para instrumentalizar a análise pelos alunos. Logo, a aprendizagem do conceito é imprescindível para a apreensão e a compreensão da realidade. Algumas perguntas foram feitas pelo professor para a produção dos mapas mentais.

- a. Como as consequências dos riscos climáticos podem ser amplificadas no bairro?
- b. Quais características sociais intensificam as ondas de calor e o desconforto térmico?
- c. Quais características naturais ampliam o desconforto térmico nas ruas?
- d. De que forma o relevo impacta a circulação da água? Como o traçado das ruas revela isso?
- e. De que maneira as árvores ampliam ou diminuem ondas de calor?
- f. Relacione de que forma os elementos naturais e sociais interagem entre si e deduza sob quais condições os riscos climáticos podem ter impactos mais severos na sociedade (questão mais ampla).

Alguns alunos sentiram necessidade de “retornar” às ruas para relembrar o que viram. O professor orientou a utilização dos celulares (Fig. 2B). O *Google Maps* foi a ferramenta utilizada e o *Street View* a camada selecionada quando necessário. Os alunos observaram mais uma vez a cor dos telhados, a disposição da vegetação, os equipamentos públicos, os pontos de ônibus e a cobertura do solo. As informações coletadas pelo celular complementaram a atividade de campo, pois com o aparelho ampliou-se a escala de observação da disposição dos objetos espaciais.

As tecnologias digitais de comunicação e informação são um suporte fundamental para ampliar a escala de análise dos objetos espaciais a partir da visão aérea e das imagens de satélite, fazendo convergir, para o espaço escolar, tempos e espaços outros em um único momento, o da aula. Os mapas mentais foram a primeira forma de organização dos dados coletados da aula de campo. Na etapa de construção, os conteúdos da realidade começaram a ganhar novos sentidos.

A última etapa da sequência de atividades foi a apresentação dos resultados à comunidade escolar na 2ª Semana do Meio Ambiente (Figs. 2C, 2D e 2E). Antes da apresentação final, houve um momento de seminário interno da turma. Esse tempo/espaço foi importante para que professor, alunos e alunas pudessem avaliar as apresentações e ponderar mudanças que foram pertinentes para que as ideias ficassem claras tanto para os/as apresentadores/as quanto para a comunidade escolar. Na Figura 2C, observa-se o aluno realizando sua apresentação. As imagens que ele mostrou apresentam algumas das ruas percorridas, salientando as condições materiais das vias. Na Figura 2D, observa-se a aluna apresentando um dos mapas de seu trabalho. A projeção é do mapa da população negra na cidade de São Paulo, coletada do *Mapa da Desigualdade de São Paulo* de 2023 (Rede Nossa São Paulo, 2023). Como estava-se realizando uma leitura também racial com base em critérios sociais, a aluna observou que no bairro de Guaianases há uma maioria de população negra. Logo, concluiu que, no bairro, as populações racializadas das periferias são as mais propensas a vivenciar as consequências dos riscos climáticos na capital paulistana.

Os alunos e alunas que não puderam participar da atividade de campo deveriam realizá-la de modo virtual. Ampliando a escala de análise, outro grupo de alunas (Fig. 2E) descreveu como as características socioeconômicas e espaciais de dois bairros – Morumbi e Paraísoópolis – interferem na qualidade de vida e na relação com o risco climático, bem como quem poderia estar mais resiliente para suportar as mudanças climáticas na capi-



tal paulista. O grupo buscou conhecer como poderiam ocorrer os riscos climáticos em outros bairros da capital paulista. Nesse caso, o grupo percorreu virtualmente as ruas de ambos os bairros com auxílio do celular. O trabalho do grupo foi importante por evidenciar que, mesmo estando em uma mesma área, grupos distintos podem sofrer de diferentes maneiras os efeitos de eventos extremos climáticos. Conforme expuseram, há mais árvores no Morumbi e as casas são maiores, as pessoas podem caminhar e não sofrer com tanto calor. Já em Paraísoópolis, as moradias são menores, as ruas são estreitas e há poucas árvores. Para as alunas a paisagem urbana mostra evidências do racismo ambiental.

Ao longo das apresentações os grupos foram mostrando diferentes resultados que se complementavam. Nesse sentido, cada grupo ou aluno e aluna mostrou de que modo os riscos climáticos podem afetar diferentes aspectos humanos e naturais da cidade de São Paulo, mostrando que o olhar para essa questão deve ser multidimensional. Após a apresentação dos trabalhos, foi solicitado que alunos e alunas preenchessem um formulário

de avaliação para fechamento de todo o processo. As respostas poderiam ser individuais ou coletivas, o que dependeu da quantidade de estudantes presentes no dia. Houve um total de dez respostas entre individuais e em grupo. A seguir seguem alguns resultados apontados por eles.

Foi perguntado quais foram os riscos que conseguiram identificar. A Figura 2F mostra que o risco de elevação da temperatura associada às ondas de calor obteve maior percentual, em seguida o de alagamento e, em terceiro, o de inundação. É importante lembrar que os participantes poderiam escolher mais de uma opção. De fato, muitas casas próximas da escola possuem telhados de material mais barato e que proporcionam pouco ou nenhum conforto térmico em períodos de ondas de calor. Até a escrita deste texto, o Brasil havia passado pela sua oitava onda de calor no ano de 2024, conforme apontou a matéria do Jornal G1. Além do mais, as alunas e os alunos observaram pouca vegetação nas ruas, estando concentrada ou em terrenos particulares, pouco numerosos, ou em equipamentos públicos, como em escolas, creches e praças.

Os alunos observaram que os pontos de ônibus não possuem uma estrutura que proteja as pessoas nos dias ensolarados. Todos podem ficar expostos ao Sol, dependendo do período do ano, como relatou uma moradora, devido a longos períodos de espera. Outro aspecto identificado refere-se à declividade do terreno. Os desníveis podem ocasionar enxurradas em algumas partes do bairro. Assim, os/as discentes estiveram atentos/as à morfologia na forma de ladeiras mais ou menos íngremes e discutiram de que forma isso poderia intensificar ou não a circulação da água em caso de uma tempestade. Em complemento, perceberam a importância de bueiros para a drenagem das águas pluviais e identificaram, principalmente em áreas íngremes, poucas ocorrências.

Perguntados sobre a relação entre qualidade do ar e áreas verdes, as respostas abaixo, coletadas por meio do questionário de avaliação, evidenciam a aprendizagem dos riscos climáticos em relação à organização e à produção espaciais após a aula de campo. Assim, a observação direta e as anotações no roteiro de campo foram instrumentos fundamentais para identificação e análise da paisagem:

1. Pois evitam poluições, maior presença de oxigênio, redução do calor e da insolação, diminuição da velocidade dos ventos e ampliação da umidade do ar.
2. As áreas verdes ajudam a controlar um pouco as temperaturas das ruas deixando-as mais frescas.

3. Ajudam na qualidade do ar e da temperatura.
4. Ajuda no clima do bairro, para um bairro mais fresco.
5. Deixa as ruas mais frescas com mais sombras um ar mais puro.
6. Maneira positivo, melhora o ar e protege do sol.
7. As árvores purificam o ar.
8. A áreas verdes elas melhoram as a qualidade do ar e diminuir a temperatura do local e elas ajudam do escoramento das águas da chuva.
9. No ar, deixando o local mais agradável e arejado.

Cada uma das nove respostas mostra o olhar do grupo ou individual. Fato é que tanto a temperatura quanto a vegetação têm a capacidade de aguçar a percepção ambiental dos escolares, levando-os a relacionar com a qualidade de vida do próprio bairro. A aluna que havia apresentado o mapa de pessoas negras em São Paulo também mostrou o mapa da arborização de toda a capital. Ela observou que na cidade há um plano de arborização e que no bairro de Guaianases, segundo a mapa da desigualdade de 2023, havia 31,34% de sua área coberta de vegetação e que a cobertura estava dispersa. Isso pode explicar, em parte, a escolha da onda de calor como um dos riscos climáticos mais observados.

Foi perguntado também como a ausência da vegetação poderia influenciar no bairro e quais seriam as consequências. As respostas foram coerentes com as análises feitas. Observam-se algumas das respostas a seguir:

10. Maior calor, ventos em velocidade alta, pouca umidade do ar.
11. O calor é bastante pois não tem as sombras das árvores, e o calor pode chegar a temperaturas muito altas.
12. Inversão térmica, qualidade do ar.
13. A temperatura pode ser alta de calor, pois o sol irá atingir a área e com o calor pode prejudicar tanto a saúde quanto mofo na casa.
14. Ruas mais quentes ar mais poluído.
15. Falta de sombra de momento de calor e pouca circulação de ar.
16. O ar se torna poluído, causando desconforto.
17. Prejudica a população e falta de área verde pois isso causa aumento

da temperatura causa uma piora da qualidade do ar ao diminuir o escoamento da água.

18. O desconforto térmico, faltas de sombras, aquecimento extremo em ruas asfaltadas.

Dois comentários podem ser feitos a partir dos enunciados. A primeira é que as respostas mostram a relação entre o aumento da temperatura local com o desconforto térmico. A segunda relaciona-se, na opinião dos alunos e alunas, à ausência de árvores e o aumento da poluição. Isso sugere, no entendimento dos/das escolares, que a vegetação local interfere na qualidade do ar e, como consequência, pode agravar ou aumentar os casos de doenças respiratórias.

Conforme apontam Guerra & Marçal (2012), a urbanização produz modificações na natureza, considerando a alteração do uso da terra, a exemplo do corte de árvores ou a substituição da mata nativa por construções, tais como prédios e asfaltos etc. Há que se considerar que essas modificações, de acordo com os autores, alteram a circulação natural da água, e, nesse sentido, haverá, por parte dos sistemas naturais, uma “busca” por reequilíbrio ambiental.

Consequentemente à ausência da vegetação, as ações que poderiam melhorar a qualidade ambiental do bairro seguem na direção oposta, ou seja, tornam presente o ausente. Dentre os enunciados coletados, plantar árvores apareceu como a opção mais indicada pelos alunos e alunas, como se vê na sequência. Nota-se também a preocupação com o escoamento superficial da água para evitar inundações e alagamentos. As respostas a seguir também indicam ao menos duas escalas de ação: a do sujeito de não jogar lixo nas ruas ou bueiros, e a do poder público em considerar a coleta de lixo, a construção de mais bueiros e sua manutenção contínua, além do plantio de árvores. Importante também considerar a imagem forte que ainda permanece no imaginário estudantil: a relação entre as inundações, os alagamentos e a disposição de lixo nas ruas como fator mais relevante para compreender esses eventos. Alguns enunciados fazem ver essa relação de causa e efeito:

19. Plantar mais árvores, descartar corretamente o lixo.
20. Recomendamos terem mais árvores nas ruas, lixeira nos lugares e sem lixos nas ruas.
21. Ter mais bueiros para água ter um destino e não alagar as ruas, e tampar os esgotos a céu aberto.

22. Plantar mais árvores, descartar os lixos corretamente, ruas mais largas, presença de bueiros, trocar as telhas finas.
23. Plantar plantas e árvores para refrescar o ambiente.
24. Mais árvores, vazamento de água.
25. Não jogar lixos dentro de rios ou bueiros.
26. Descarte correto do lixo etc.
27. Para os alagamento poderia ser feito sistema de evacuação de água, pra enchentes eles poderia fazer sistema de escoamento de água para o rio, ou outra regiões, alta temperatura poderiam trocar as telhas de Brasilit e plantas árvores, e para as doenças transmissíveis poderiam tratar a água do córrego.
28. Para o aquecimento das ruas asfaltadas seria as árvores para criar mais sombras, para as enchentes, alagamentos e enxurradas teria q evitar os lixos nos bueiros e para evitar lixos no bueiros teria q ter mais lixeiras.

Vitte (2009) considera importante incluir o conceito de território no debate ou em pesquisas sobre a qualidade de vida. Do ponto de vista geográfico, o autor ressalta que o conceito abrange uma miríade de sentidos, mas que, principalmente, está relacionado à questão das disputas pelo controle e seu acesso, isto é, à questão do poder. As disputas estariam marcadas por dinâmicas escalares entre o local e o global e vice-versa. Portanto, considera o autor que, no estudo da qualidade de vida, seja considerada uma perspectiva transdisciplinar que inclua as realidades materiais e não materiais, tais como a dimensão simbólica do território, contexto no qual se insere a formação das identidades e suas relações com práticas territoriais. Consequentemente, é preciso investigar para discutir com os/as escolares de que forma o território constitui as pessoas que ali moram, como desenvolvem suas práticas e como as agências são moldadas ou influenciadas pelos territórios e como as ações produzem territorialidades. Em nosso caso, não houve a pesquisa direta junto aos/as moradores/as, o que revela um procedimento a ser incluído em novos trabalhos escolares sobre riscos climáticos, isto é, o estudo simbólico do território e como os riscos climáticos podem tensionar e/ou serem tensionados pela relação afetiva com o território.

Outra questão ressaltada por Vitte (2009) é que um território não está isolado. O autor afirma que é preciso conhecer sua história den-

tro da produção capitalista do espaço, pois, como aponta, essa lógica de produção hierarquiza os territórios, em processo de inclusão ou exclusão, consoante à capacidade de cada um produzir valor por meio da sua infraestrutura de produção. Em consequência disso, é importante compreender também como o bairro de Guaianases, que está localizado na periferia da metrópole paulista, tem sido produzido considerando os movimentos migratórios que ocorreram no Brasil, a relação que uma periferia assume com os demais espaços da cidade e como a qualidade de vida com relação aos riscos climáticos deve ser um critério valioso para a produção de novos conhecimentos escolares.

Como os/as alunos/as identificaram a presença/ausência de árvores, a disposição de bueiros e pontos de ônibus, o descarte de lixo e a forma das ruas e suas materialidades, não se pode esquecer que as ações de produção espacial, como aponta Vitte (2009), relacionam-se com a distribuição de equipamentos urbanos pelo território e que isso constitui e interfere na qualidade de vida. Assim, não se pode silenciar a dimensão política dos riscos climáticos no debate na escola.

Quando perguntados sobre o que mais aprenderam e/ou aquilo que mais chamou a atenção, os enunciados confirmam que o trabalho pedagógico com relação aos riscos climáticos ajuda a formar cidadãos e cidadãs mais sensíveis às questões ambientais e da qualidade de vida de onde moram. A construção conceitual da realidade e sua verificação com dados empíricos ou a experiência *in loco* proporcionam uma aprendizagem que, provavelmente, será aproveitada ao longo da vida de cada um.

Um grupo de alunos identificou que a classe social foi o ponto que mais havia chamado a atenção. Os grupos que compararam bairros distintos perceberam que as condições socioeconômicas podem interferir na qualidade ambiental. Ou seja, notaram que as condições de vida variam conforme muda a classe social. Em “a diferença da classe social e como ela afeta a população mais pobre” sugere que os mais pobres são os que mais podem sofrer com os riscos climáticos por serem pertencentes às classes populares.

Outra mudança perceptível são os efeitos que atividades dessa natureza podem gerar nos/nas estudantes. O relato “olhar com uma visão diferente para o lugar onde a gente vive”, indica que os conceitos científicos regulam o olhar para compreender aquilo que comumente não se nota. Ou seja, a aprendizagem de conceitos e a construção das relações entre conceito e realidade vivida são importantes na mudança da percepção e no desenvolvimento do sujeito.

Por fim, é interessante notar que as ruas e as áreas externas à escola possuem um potencial relevante tanto para o ensino quanto para a aprendizagem. Isso fica evidente quando um aluno diz que “observar o relevo natural que acontece nas ruas, [...] se as ruas são íngremes ou planas e quais consequências naturais podem ocorrer durante chuvas”. Entende-se como evidências do aprendizado construído no que diz respeito às relações espaciais e geográficas que se tornaram possíveis na construção de conhecimentos. Nota-se, do ponto de vista do estudante, que o relevo condiciona a circulação da água e que esse fato foi apropriado pelo aluno.

As respostas anteriormente discutidas evidenciam uma aprendizagem relevante e concreta. Do ponto de vista da aprendizagem dos riscos climáticos, alunos e alunas construíram ao seu modo diferentes relações geográficas e espaciais que os/as ajudaram a perceber como as mudanças climáticas podem interferir na qualidade ambiental do bairro de Guaianases. Assim, atividades dessa natureza e tantas outras possuem relevância pedagógica e social, ao proporcionar o desenvolvimento da autonomia e da cidadania.

Conclusão

A atividade pedagógica voltada para a compreensão dos riscos climáticos proporcionou aos alunos uma experiência de aprendizagem significativa, que foi além da sala de aula. Na aula de campo, eles puderam observar e analisar de maneira crítica os possíveis impactos dos extremos climáticos em seu próprio entorno, o que ampliou sua compreensão sobre a interação entre sociedade e natureza e os efeitos das mudanças climáticas. A vivência prática possibilitou uma conexão direta entre o conhecimento teórico discutido em sala e a realidade cotidiana de seu bairro, gerando um aprendizado mais concreto e significativo.

Os alunos desenvolveram habilidades de identificação e mapeamento de elementos do espaço geográfico que influenciam os riscos climáticos, como a cobertura vegetal, a infraestrutura urbana e a disposição do relevo. Além disso, a atividade estimulou a análise crítica de temas como o racismo ambiental e a justiça climática, especialmente ao perceberem que as populações mais vulneráveis de Guaianases, muitas vezes, são as que mais sofrem com os impactos dos eventos climáticos extremos.

A integração do uso de ferramentas digitais, como o *Google Maps*, também contribuiu para o aprofundamento das análises, permitindo que

os/as discentes revisitassem os locais estudados e complementassem suas observações. A etapa foi fundamental para fortalecer a capacidade dos estudantes de analisar de forma integrada os aspectos naturais e sociais que determinam ou condicionam os riscos climáticos, promovendo uma educação para a cidadania consciente e ambientalmente responsável.

Os resultados do projeto destacam o potencial transformador de práticas pedagógicas que mobilizem teoria, prática e realidade local. Essa experiência pode servir como inspiração para outras instituições educacionais interessadas em abordar riscos climáticos e justiça ambiental. Além disso, reforça a necessidade de políticas públicas que integrem a educação ambiental como eixo central no enfrentamento das mudanças climáticas. Por fim, a apresentação dos resultados à comunidade escolar durante a 2ª Semana do Meio Ambiente foi essencial para a consolidação da aprendizagem. Os alunos assumiram o papel de protagonistas, compartilhando suas descobertas e reflexões, e evidenciaram a importância de uma educação geográfica crítica e comprometida com a formação de indivíduos capazes de compreender e agir frente aos desafios das mudanças climáticas.

E como encaminhamento para novas pesquisas ou trabalho, depoimento ou relatos, sugere-se a inclusão da dimensão simbólica e afetiva no formato de entrevistas com as moradoras e os moradores, para que o trabalho didático-pedagógico e a aprendizagem sejam mais enriquecidas, compreendendo os riscos climáticos de forma transdisciplinar. Outro ponto que ainda persiste e que precisa ser considerado é por que os alunos ainda associam fortemente situações de alagamentos e inundações ao lixo nas ruas. De onde vêm essas representações, se a mídia tem participação na formulação desse imaginário e como desconstruí-lo a fim de promover aprendizagens mais complexas de eventos climáticos.

Agradecimentos

O autor agradece pela participação e pela generosidade das alunas e dos alunos presentes na atividade, que constituiu um momento ímpar de trocas e de enriquecimento científico e cultural.

Referências

- Barbosa, R., & Carneiro, C. D. R. (2024). Pensamento crítico e criativo na Educação Básica por meio das Geociências. In: Carneiro, C. D. R. (Org.), & Santos, G. C. (Ed. Técnico). (2024). *Explorando a Terra na*

- Educação Básica*, v. 2. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Progr. Pós-Grad. Ensino e História de Ciências da Terra. p. 43-68. (Série Ciências da Terra na Educação Básica, v. 2). DOI: <https://doi.org/10.20396/ISBN97865482946>
- Bartolomei, F., Reboita, M. S., & Rocha, R. P. da. (2023). *Ciclones extratropicais causadores de eventos extremos no sul do Brasil no inverno de 2023*. *Terra Didática*, 20(Publ. Contínua), 1-13, e024003. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v20i00.8675100>.
- Brasil. Ministério da Educação. (2017). *Base Nacional Comum Curricular* (BNCC). Brasília, DF: MEC. URL: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br>. Acesso 19.11.2024.
- Cavalcanti, L. S. (2019). *Pensar pela geografia: ensino e relevância social*. Goiânia: C&A Alfa Comunicação.
- Guerra, A. J. T., & Marçal, M. dos S. (2012). *Geomorfologia ambiental*. 4 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 190p.
- G1. (2024, 30 de setembro). *Brasil tem oitava onda de calor do ano nesta semana; temperaturas podem superar os 40°C no Centro-Oeste*. G1 Meio Ambiente. URL: <https://g1.globo.com/meio-ambiente/noticia/2024/09/30/brasil-tem-oitava-onda-de-calor-do-ano-nesta-semana-temperaturas-podem-superar-os-40c-no-centro-oeste.ghtml>. Acesso 19.11.2024.
- Herculano, S. (2006). *O clamor por justiça ambiental e contra o racismo ambiental*. *InterfaceHS, Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente*, 3(1), Artigo 2. URL: <https://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2013/07/art-2-2008-6.pdf>. Acesso 19.11.2024.
- Jacobi, P. R. (2005). Educação ambiental: O desafio da construção de um pensamento crítico, complexo e reflexivo. *Educação e Pesquisa*, 31(2), 233-250. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-97022005000200007>.
- Kozel, S. (2013). *Comunicando e representando: mapas como construções socioculturais* / Communicating and representing: maps as socio-cultural constructions. *Geograficidade*, 3(Especial), 58-70. <https://doi.org/10.22409/geograficidade2013.30.a12874> Acesso 23.11.2024
- Loureiro, C. F. B. (2009). *Trajetória e fundamentos da educação ambiental*. 3 ed. São Paulo, SP: Cortez. 150p.
- Marandola Jr., E., & Hogan, D. J. (2004). Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. *Ambiente & Sociedade*, 7(2), 95-110. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2004000200006>.
- Marengo, J. A. (2009). *Impactos de extremos relacionados com o tempo e o clima*. *Impactos sociais e econômicos*. Boletim do Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas (GPMC). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Centro de Ciências do Sistema Terrestre (CCST) (8). Ed. Esp. URL: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/newsletters/Boletim_No8_Port.pdf. Acesso 20.09.2024.
- Neves, D. C., & Del Gaudio, R. S. (2024). *O apagamento progressivo do tema “mudanças climáticas” na Base Nacional Comum Curricular*. In: Costa, R. R. da, Araújo M. R. de, & Oliveira, E. C. de. (Orgs.). (2024). *Currículo e ensino de geografia: métodos, conceitos e metodologias na prática de ensino*. Teresina: EdUESPI. 288p. URL: <https://editora.uespi.br/index.php/editora/catalog/book/175>. Acesso 15.09.2024.
- Neves, D. C., São José, R. V., & Santana, R. V. de. (2022). Proposta de projeto de ensino sobre as mudanças climáticas na escola: pensar e agir

- com o cotidiano a partir dos riscos climáticos locais. *Terra Livre*, 1(58), 251-286. DOI: https://doi.org/10.62516/terra_livre.2022.2315.
- Neves, K. F. T. V. (2015). *Os trabalhos de campo no ensino de geografia : reflexões sobre a prática docente na educação básica*. Ilhéus: Editus. 139p. ISBN 978-85-7455-188-3 URL: https://www.uesc.br/editora/livrosdigitais2016/os_trabalhos_de_campo_no_ensino_de_geografia.pdf. Acesso 16.11.2024.
- Nobre, C. A., & Young, A. F. (Eds.). (2011). *Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: Região Metropolitana de São Paulo*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: https://www.nepo.unicamp.br/publicacoes/relatorio-final/megacidades_RMSP.pdf Acesso 23.11.2024
- Oliveira, M. J., Carneiro, C. D. R., Vecchia, F. A. S., & Baptista, G. M. (2017). Ciclos climáticos e causas naturais das mudanças do clima. *Terræ Didática*, 13(3):149-184. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v13i3.8650958>.
- Ponte, M. L. da, Camargo, R. P. de, & Piranha, J. M. (2023). Práticas pedagógicas e interpretativas para aprendizagem de Ciências da Terra em ambientes externos à sala de aula. In: Carneiro, C. D. R. (Org.), & Santos, G. C. (Ed. Técnico). (2023). *Explorando a Terra na Educação Básica*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas. p. 239-264. (Série Ciências da Terra na Educação Básica, v. 1, Progr. Pós-Grad. Ensino e História de Ciências da Terra). ISBN: 978-65-994829-0-8. DOI: <https://doi.org/10.20396/ISBN9786599482908>.
- Reboita, M. S., Pimenta, A. P., & Natividade, U. A. (2015). Influência da inclinação do eixo de rotação da Terra na temperatura do ar global. *Terræ Didática*, 11(2), 67-77. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v11i2.8640680>.
- Rede Nossa São Paulo (2023). *Mapa da Desigualdade*. São Paulo. URL: <https://www.nossasaopaulo.org.br/campanhas/#13> Acesso 25.05.2024
- Rojo, R. H., & Barbosa, J. P. (2015). *Hipermmodernidade, multiletramentos e gêneros discursivos*. São Paulo: Parábola Editorial.
- Santos, V. M. N. (2024). Geociências e Aprendizagem Social: reflexões e possibilidades para a educação no contexto socioambiental. In: Carneiro, C. D. R. (Org.), & Santos, G. C. (Ed. Técnico). (2024). *Explorando a Terra na Educação Básica, v. 2*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Progr. Pós-Grad. Ensino e História de Ciências da Terra. p. 01-18. (Série Ciências da Terra na Educação Básica, v. 2). DOI: <https://doi.org/10.20396/ISBN97865482946>.
- Schneuwly, B., & Dolz, J. (2004). Os gêneros escolares: das práticas de linguagem aos objetos de ensino. In.: Schneuwly, B., & Dolz, J. (2004). *Gêneros orais e escritos na escola*. Campinas: Mercado de Letras. URL: https://www.academia.edu/58421537/G%C3%AAneros_orais_e_escritos_na_escola. Acesso 26.11.2024.
- Silva, L. A. da ., & Koury, A. P. (2023). *A Modelagem hidrológica como instrumental para a resiliência urbana: o caso da bacia do Ribeirão Lageado, São Paulo, SP*. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, v. 17, n. 1, p. 1-10. <https://doi.org/10.46421/encac.v17i1.3735>,
- Vitte, A. C. (2009). Modernidade, território e sustentabilidade: refletindo sobre qualidade de vida. In.: Vitte, C. C. S., & Keinert, T. M. M. (Orgs.). (2009). *Qualidade de vida, planejamento e gestão urbana*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 312p.

Geociências como um componente essencial da Educação para a Sustentabilidade

Celso Dal Ré Carneiro

Introdução

As universidades não são os melhores lugares para ensinar Geologia. Essas são as escolas primárias. Eles mostram como nossa civilização começou e funciona. Onde se projeta. Quanto custa nossa experiência de vida, o que consumimos e o que é realmente essencial, e precisamos para viver (Siqueira, 2018, p.34).

Frequentemente, os meios de comunicação abordam fenômenos e processos cuja compreensão depende do conhecimento oriundo das Geociências, como inundações, movimentos de massa, desertificação, secas, desmatamento, mudança climática, vulcões e terremotos. São acidentes ambientais, em diferentes partes do planeta, cujas causas tanto podem ser naturais quanto induzidas pelo homem ou, eventualmente, mistas, como uma somatória de efeitos. A população permanece atenta, devido às perdas e mortes causadas pelas catástrofes, mas os gestores públicos nem sempre dispõem de um conhecimento mínimo sobre o funcionamento dos sistemas terrestres que permita a tomada de decisões bem-informadas sobre questões ligadas às Ciências da Terra e do Espaço (Dodick & Dolphin, 2013). Por outro lado, muitas vezes a agenda focaliza tópicos periféricos e se afasta do debate das implicações políticas, sociais e econômicas da ação humana:

(...) a educação pode e deve desempenhar um papel decisivo na preparação de alunos, com os conhecimentos, competências, habilidades e valores que os tornem capazes de compreender a atual realidade em que o mundo se encontra, marcada por profundas desigualdades econômicas, sociais e ambientais (Montenegro et al., 2018, p.3).

Desde os anos 1960, o movimento ecológico-ambientalista questiona um modo de vida humana que delimita as relações sociedade-natureza à interferência negativa sobre os ecossistemas, amplificada

pelo crescimento da população e pela falta de freios em uma dinâmica que avidamente consome espaços, recursos e energia. A ideia de “destruição do meio ambiente” engloba “questões diversas, como o desmatamento, o uso de agrotóxicos, a extinção das espécies, e até mesmo, a crítica ao *american way-of-life*” (Fernandes & Sampaio, 2008, p.123, grifos do original). Tal delimitação restringe o alcance do conceito de desenvolvimento sustentável, formulado a partir dos anos 1980, que pressupõe a transformação progressiva da economia e da sociedade, com a finalidade de satisfazer às necessidades e aspirações humanas, sem prejudicar o atendimento das necessidades das futuras gerações (Brundtland, 1991).

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC, Brasil, 2018) mudou a organização, a articulação, a estrutura curricular, a formulação e a avaliação das propostas pedagógicas para o ensino básico. Na BNCC a área das Ciências da Natureza é composta por apenas três componentes curriculares: Física, Química e Biologia (Marcondes, 2018). O conhecimento geológico permanece ignorado, pois as Ciências da Terra não constam da lista. A formação inicial de professores ficou ainda mais restrita porque, segundo as normas oficiais, as matrizes de competências e habilidades prescritas para o aluno determinam (e controlam) aquilo que o licenciando deverá aprender. Como Geologia jamais constou da legislação como disciplina da educação básica, é forçoso concluir que se afastará, mais ainda, dos cursos de licenciatura. Um desastre anunciado...

A missão fundamental da escola é contribuir para melhorar a sociedade por meio do incentivo a uma formação crítica, responsável e honrada. O nível de formação e a qualidade dos professores determinam o nível de confiabilidade do sistema educacional. A esse respeito, Santos Guerra (2000) adverte: “seria um problema gravíssimo se o sistema educacional fosse em si mesmo um meio para piorar eticamente a sociedade”. Existe uma relação direta entre o aprimoramento dos resultados da instrução e a melhoria dos resultados obtidos, uma vez que sistemas excelentes atraem pessoas excelentes.

Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS)

A preocupação com as consequências dos impactos da ação humana sobre o meio ambiente e os recursos naturais levou a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) a definir o intervalo 2005-2014 como sendo a década da *Educação para o*

Desenvolvimento Sustentável (EDS), (UNESCO, 2014a). O conceito de EDS nasceu da necessidade de educação para abordar os crescentes desafios ambientais enfrentados pelo planeta (UNESCO, 2020). A partir dos resultados obtidos na década, a UNESCO desenvolveu o *Programa de Ação Global sobre Educação para o Desenvolvimento Sustentável* (UNESCO, 2014b), que incluiu a sensibilização dos educadores e formadores, considerados “poderosos agentes de mudança para fornecer a resposta educacional ao desenvolvimento sustentável” (UNESCO, 2014b, p.20). Em 2015, os estados-membros da Organização das Nações Unidas (ONU, 2015) estabeleceram a Agenda 2030, que abrange uma Declaração composta por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas associadas, para todas as áreas do conhecimento. A meta 4 “Educação de qualidade” é um dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável a serem implementados no período de 2016 a 2030.

A Geopolítica do Desenvolvimento Sustentável é acima de tudo o projeto político de dominação territorial, com base no controle das riquezas naturais, articulado estrategicamente de forma diplomático-protocolar, destacadamente por meio das grandes conferências ambientais (Fernandes & Sampaio, 2008, p.132).

Após reconhecer que a educação deverá estar presente na resolução dos desafios ambientais enfrentados pela humanidade, a UNESCO apresentou um *Roteiro para implementação do Programa de Ação Global*. O documento propõe que os professores concentrem esforços em uma aprendizagem centrada no aluno, exploratória, interdisciplinar, interativa e transformadora, e criem novos ambientes de aprendizagem para “inspirar os alunos a agir pela sustentabilidade” (UNESCO, 2014b, p.12). Isso desperta grande atenção para a formação e a educação dos atuais e futuros multiplicadores, que deverão atuar como agentes de mudança (Bürgener & Barth, 2018). Nesse contexto, concebeu-se a *Educação para a Sustentabilidade* (Montenegro et al., 2018, Vasconcelos & Orion, 2021).

As Ciências da Terra, cuja missão consiste em estudar e explorar o sistema terrestre, são “altamente relevantes para compreender e abordar questões ambientais centrais” (Vasconcelos & Orion, 2021, p.1). É preciso compreender e equacionar temas intimamente conectados, como as relações entre desenvolvimento econômico, mudança climática global e equilíbrio sustentável das sociedades. Não se pode mais ignorar, nem tolerar, as consequências de atividades que prejudicam as

demais espécies que conosco coabitam os ecossistemas terrestres. Quais caminhos devem ser trilhados para que a preocupação seja transformada em objeto de estudo de alunos e professores? É oportuno conceber novas formas de aplicação prática dos conteúdos de Geociências nas disciplinas de Educação Básica?

Este Capítulo foi estruturado com o objetivo de: (a) apresentar razões históricas e cognitivas que justifiquem o tratamento didático de alguns temas de Geociências pelo professor; (b) expor brevemente a fundamentação conceitual dos temas; e (c) indicar materiais e fontes bibliográficas que possam ajudar o professor na difícil missão de aproximar seus alunos das Ciências da Terra.

Os Temas Geocientíficos e a Educação para a Sustentabilidade

Frente ao crescimento populacional, as Geociências podem contribuir para o entendimento amplo dos efeitos e impactos, imediatos ou a médio prazo, das mudanças globais. Citemos um exemplo oriundo do debate ambiental: frequentemente, o tema do ‘aquecimento global’ é apresentado com ênfase na emissão de dióxido de carbono (CO_2) de origem antrópica, como principal causa. Embora existam aspectos ainda debatidos na comunidade científica — especialmente no que tange à sensibilidade climática e às interações entre diferentes forçantes naturais e antrópicas —, há amplo consenso de que as atividades humanas têm sido um importante motor das mudanças climáticas desde a Revolução Industrial. A título de comparação histórica, mas em outra escala de tempo cronológico, estudos paleoclimáticos indicam que os níveis de CO_2 na atmosfera já foram mais elevados em eras geológicas remotas, como no Mioceno Médio, há cerca de 15 milhões de anos, quando se estimam concentrações entre 500 e 750 ppm, contrastando com os níveis pré-industriais de aproximadamente 280 ppm. Contudo, o que distingue a atual crise climática não é apenas o aumento dos níveis de CO_2 , mas sobretudo a velocidade com que tal incremento tem ocorrido: em poucas gerações, a humanidade lançou na atmosfera uma quantidade de dióxido de carbono comparável àquela que levou milhões de anos para ser naturalmente sequestrada. Essa aceleração sem precedentes representa um desafio singular para os sistemas ecológicos, sociais e econômicos contemporâneos (Tasoff, 2020).

Ao longo da história geológica, o clima da Terra passou por oscilações naturais significativas, com períodos de resfriamento e aquecimen-

to associados a variações orbitais, atividade solar, vulcanismo e outros fatores naturais. Essas oscilações, em escalas de milhares a milhões de anos, resultaram em mudanças climáticas bastante intensas. No entanto, em uma curta escala de tempo, as alterações climáticas atuais ocorrem em um ritmo acelerado e em contexto fortemente influenciado por atividades humanas, como evidenciado por múltiplas linhas de pesquisa e sintetizado em relatórios de instituições como o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês). Vale destacar que, embora o IPCC seja alvo de críticas de diferentes setores — ora por ser conservador em suas projeções, ora por ser considerado alarmista —, seus relatórios representam consensos científicos construídos de forma rigorosa e transparente. Nesse sentido, a mudança climática atual pode ser compreendida como um sintoma visível de transformações socioambientais mais amplas, relacionadas à forma como a sociedade interage com os sistemas naturais e explora seus recursos. Talvez a mudança climática seja apenas a ponta do *iceberg*:

Além do ciclo do carbono, os humanos estão (i) alterando significativamente vários outros ciclos biogeoquímicos, ou ciclos de elementos, como nitrogênio, fósforo e enxofre, que são fundamentais para a vida na Terra; (ii) modificando fortemente o ciclo da água terrestre interceptando o fluxo do rio das terras altas para o mar e, por meio da mudança da cobertura da terra, alterando o fluxo de vapor d'água da terra para a atmosfera (Steffen et al., 2006); e (iii) provavelmente conduzindo o sexto maior evento de extinção na história da Terra (Steffen et al., 2011, p.843).

Essa compreensão da mudança climática como expressão de transformações socioambientais complexas e multifatoriais, em diferentes escalas de tempo e de espaço, exige abordagens didáticas que considerem tanto os processos naturais quanto a intervenção humana. No cotidiano escolar, essas questões não permanecem no plano abstrato: a repetição constante de notícias sobre eventos climáticos extremos, escassez de recursos e riscos ambientais mobiliza a atenção dos estudantes e os leva a questionar seus professores sobre os mecanismos envolvidos e as relações entre causas naturais e ações antrópicas (Fig. 1).

Em vez de aprender a pensar cientificamente, os alunos geralmente são informados sobre a ciência e solicitados a lembrar de fatos. Essa situação perturbadora deve ser corrigida para que

a educação científica tenha alguma esperança de ocupar seu devido lugar como parte essencial da educação dos alunos em todos os lugares (Alberts, 2009, p.437).

Atividades observacionais favorecem o estudo de questões ambientais, ao mesmo tempo em que ajudam o aluno a desenvolver “a capacidade de observação e o pensamento crítico” (Araujo & Teixeira, 2024, p.537) e a compreender os “mecanismos que dirigem a dinâmica terrestre” (Ernesto et al., 2018, p.332). Os incentivos para que o estudante assuma uma postura investigativa, observadora e questionadora favorecem, definitivamente, a aprendizagem de Geociências.

Um professor atento pode explorar a curiosidade dos alunos e desenvolver propostas educativas inspiradoras desde um fato específico, mesmo se o tema for polêmico.

A comunicação interpessoal está presente no ato de ensinar, mas é equivocada a ideia de que o professor seja capaz de “transferir” conhecimentos ao aluno. O ato de ensinar ultrapassa o uso das ferramentas da linguagem e da leitura; é necessário que o professor elabore e ofereça caminhos para o estudante construir significados sobre a Ciência com base em um conjunto de atividades. Isso envolve uma aprendizagem do “ato de ler”, ou seja, da leitura de textos e da leitura de imagens, independentemente da “qualidade” das explicações do professor (Almeida, 2004).



Figura 1. Naquela que é, provavelmente, a mais antiga referência ao ciclo hidrológico, Chandogya, um dos principais Upanishads, afirma: ‘os rios... dirigem-se do mar para o mar’. Ele revela uma tentativa, em 1000 aC, para interpretar e explicar fenômenos recorrentes, com base na experiência direta (Cartoon por Ajit Nunan).

Fonte: The Open University (2023, p.6)

Como tornar sustentável o progresso humano?

Além de constituir um objetivo independente (ODS 4), a Educação é considerada transversal a todos os ODS e, portanto, deve contribuir para a realização dos demais ODS:

Mais gente no mundo significa também a necessidade de exploração de mais recursos naturais. Considerando que o planeta já está sobre-explorado, constitui um dilema garantir qualidade de vida para mais gente sem comprometer o meio ambiente. (...) a realização dos 17 ODS é condição essencial para que as próximas décadas revertam processos que podem inviabilizar a continuidade da vida humana na Terra (UNESCO, 2020, p.19).

Convém distinguir, inicialmente, as concepções de Educação e Ensino: *Educação* é o “uso de meios que permitem assegurar a formação e o desenvolvimento de um ser humano”, enquanto *Ensino* é “a arte ou ação de transmitir conhecimentos para que o aluno os compreenda e assimile” (Morin, 2003). Educação e Ensino são indissociáveis, mas o segundo abrange ações que se subordinam às propostas e perspectivas do primeiro. A ligação educação-ensino em diferentes níveis depende da mediação decisiva do professor (Barbosa & Carneiro, 2024). Para desenvolver raciocínio crítico e criativo, é preciso que o estudante considere as consequências dos avanços da pesquisa e, ao mesmo tempo, conheça “o processo científico tal como ele é” com suas limitações e falhas potenciais – bem como seu lado divertido, tais como as descobertas fortuitas e erros hilariantes” (Bosch, 2018, p.277). Em um contexto que alterou profundamente a relação entre a escola e o conhecimento humano, os termos “crítico” e “criativo” compreendem universos e perspectivas distintos, porém complementares. A valorização de temas de Geociências nas escolas acaba sendo um corolário dessa proposição, uma vez que eles ajudam a desenvolver as qualidades da Educação assinaladas por Machado (1998) para o atual milênio:

- *Educar para a Cidadania*: articular projetos individuais e coletivos.
- *Profissionalismo*: conciliar competência, autonomia relativa e comprometimento pessoal.
- *Tolerância*: promover ativo reconhecimento do outro, respeitando a diversidade humana.
- *Integridade*: buscar uma consonância discurso-ação e manter uma abertura ao diálogo.

- *Equilíbrio*: conservar ou transformar valores, a partir da fecundação de projetos.
- *Pessoalidade*: busca permanente pelo desenvolvimento integral do ser humano.

A questão central que queremos analisar é, portanto:

Há caminhos viáveis para a humanidade alcançar algum nível de equilíbrio sustentável com a Terra?

A resposta otimista é sim, mas, para fazer isso, devemos considerar, inicialmente, a Educação dos povos. A Geologia nasceu como ciência graças ao reconhecimento de que a Terra, como a conhecemos, é muito diferente daquela que existiu no passado. Mudanças ambientais são inerentes ao funcionamento do planeta, que continuará a se transformar, enquanto as fontes de energia impulsionarem os complexos mecanismos que controlam as dinâmicas externa e interna da Terra. A discussão reflete uma grande lacuna de conceitos geológicos, tanto no âmbito das escolas quanto dos veículos de comunicação. Vejamos como Margulis & Sagan (1989) descrevem tais relações:

Na Terra praticamente tudo se recicla (...). A reciclagem é o verdadeiro destino da vida, um tipo de fundamento biológico da juventude (...) A biosfera pode ter atingido seu nível de suporte para o crescimento humano – a capacidade de sustentação da Terra está sendo pressionada (...) nosso crescimento tem se dado com frequência às expensas de outros organismos que fazem a manutenção do ambiente global (Margulis & Sagan, 1989, p.38).

Nem mesmo o conceito de *reciclagem* nos sistemas naturais – um tema que vem sendo debatido há muito tempo entre geólogos e outros especialistas – é assimilado e praticado pelas lideranças políticas brasileiras ou pelas comunidades que elas representam. O autor van Loon (1999, p.371) pontua que “os engenheiros, ao se valerem do conhecimento geológico, nem sempre levaram em conta que as forças naturais eternas não obedecem à vontade do homem”.

O papel dos geocientistas

O reconhecimento de que, em Portugal, “a maior parte do público desconhece o que fazem os geólogos” levou Brilha (2004) a enumerar

barreiras críticas para uma comunicação mais efetiva com a sociedade contemporânea: (a) o reduzido número de profissionais; (b) a falta de protagonismo social dos geólogos; (c) os níveis preocupantes de iliteracia científica na sociedade portuguesa, tanto da população como dos seus dirigentes, “fazendo com que os geólogos não sejam chamados a intervir mesmo em assuntos que lhes dizem directamente respeito”; (d) ausência de estratégia do Estado para o conhecimento e a gestão do território; e (e) fragilidade do jornalismo de ciência em órgãos de comunicação social. Na Argentina, ao longo de quase 80 anos, entre 1890 e 1968, existiu *Geologia e Mineralogia* no currículo do ensino secundário. Depois de uma fase de transição, iniciou-se a lenta ‘extinção’ da disciplina “devido à transferência do seu conteúdo para outras disciplinas da área das Ciências Naturais” (Lacreu, 2024, p.24). A real situação brasileira é provavelmente pior, porque aqui não existe uma disciplina de Ciências da Terra na educação básica, como há em Portugal, embora a Geologia esteja presente das mais diversas formas em nossa vida, como assinala Siqueira (2018):

A Geologia expande suas fronteiras para além das grades de disciplinas académicas e cada vez mais toca o homem sem ele perceber, no construir de suas casas, no planeamento urbano, na área médica, veterinária, na solução de problemas ambientais, na procura por água potável, na arquitetura e até nas artes plásticas (Siqueira, 2018, p.8).

Levantamentos da *National Science Board* procuraram mensurar o conhecimento público sobre Ciência e Tecnologia (C&T) e as atitudes da população norte-americana em relação a C&T. Em 2002, pesquisas mostraram que apenas dez por cento dos americanos são capazes de definir “molécula” (NSB, 2002) e que mais da metade acredita que os seres humanos e os dinossauros viveram na Terra ao mesmo tempo (Lewenstein, 2003). Brilha (2004) cita o esforço de várias instituições para eliminar o manto de “invisibilidade” que se instalou sobre a Geologia e os geólogos portugueses.

Já transcorreu mais de uma década desde a notável descoberta brasileira de grandes reservas de hidrocarbonetos no nível denominado “pré-sal”, mas os veículos de mídia jamais se ocuparam de explorar os conceitos geológicos envolvidos. Informações científicas elementares seguem praticamente ignoradas pelo público leigo: em que consiste o pré-sal? Como se formou? Quando? Qual o potencial existente?

É duradouro? A compreensão do conceito de pré-sal requer conhecimentos sobre “dinâmica das placas litosféricas, evolução geológica do Brasil e idade do Oceano Atlântico, além de outros conceitos que deveriam ser correntemente abordados na educação básica” (Martins & Carneiro, 2012, p.64).

Além da produção de conhecimento especializado e tecnologias apropriadas para a exploração de petróleo e gás, as atividades principais de que se ocupam os geocientistas são a coleta e interpretação de dados, os levantamentos, o monitoramento e a gestão de água, solos, territórios, espaços, recursos, fontes de energia, proteção ambiental e mitigação/redução do risco de desastres naturais. Algumas categorias gerais podem ser definidas:

- Mapas de países, estados, regiões, cidades.
- Recursos minerais.
- Recursos energéticos.
- Recursos hídricos.
- Conservação de solos aráveis.
- Redução de desastres naturais.
- Proteção da geobiodiversidade.
- Comunicação e divulgação pública das Geociências
- Educação.

Educação e Comunicação compõem essa lista de atribuições, apesar de integrar-se e interferir nos demais campos. Se por um lado o exercício da Educação é uma atividade continuada, a comunicação de risco em geral é mais pontual:

(...) a comunicação de risco em desastres naturais é um processo de três vias, que acontece entre os cientistas, entre cientistas e autoridades públicas, e entre cientistas e o público e a mídia de massa (González et al., 2014, p.319).

Quando existem situações de risco, de crise, ou de iminência de algum desastre natural, ganha relevância a “Comunicação e divulgação pública das Geociências”: os geocientistas precisam tomar decisões científicas em um tempo limitado e se comunicar de forma eficaz com as populações envolvidas (González et al., 2014).

Bases do raciocínio geológico

As Ciências da Terra são, ao mesmo tempo, históricas e interpretativas (ou hermenêuticas) (Frodeman, 1995, 2010), na medida em que buscam reconstruir os fenômenos do passado a partir da coleta de seus “sinais” naturais, durante os trabalhos de campo. As Geociências desenvolveram metodologias específicas “para lidar com problemas que não podem ser testados sob condições controladas de laboratório” (Dodick & Dolphin, 2013, p.167), da mesma forma que ocorreu nos campos da Biologia Evolutiva e da Astronomia. Ao analisar as características do estudo de Geociências, Orion & Ault (2007, p.655) destacam alguns atributos essenciais: (a) a abordagem histórica; (b) a preocupação com os sistemas complexos que atuam na Terra; (c) a conceituação de fenômenos de grande escala no tempo e no espaço; (d) uma alta demanda de raciocínio espacial, para atender às necessidades de representação visual; (e) a integração entre as escalas de soluções para os problemas, e (f) a singularidade do pensamento científico retrospectivo.

A aquisição de visão espacial e o domínio de técnicas de representação tridimensional (item d) são características essenciais das Geociências. Todo aprendiz precisa desenvolver, ou construir, uma habilidade penetrativa visual que lhe possibilite visualizar estruturas geológicas dentro de massas sólidas de rocha (Kastens et al., 2009, 2014). As representações abrangem desde as formas mais elementares até formas complexas ou construções avançadas.

Ambientes Abertos de Aprendizagem

A preocupação com o aprimoramento da aprendizagem é um tema bastante atual. Barr & Tagg (1995) propõem a substituição do “Paradigma do Ensino” pelo “Paradigma da Aprendizagem”. A mudança, radical, justifica-se, afirmam eles, porque as faculdades existem “*para produzir aprendizagem*”. Entretanto, preocupados em atingir metas de produtividade, muitos cursos de doutorado dificilmente se preocupam em formar grandes pensadores e nutrir agentes criativos capazes de solucionar problemas urgentes (Bosch, 2018). Uma formação mais abrangente dos pesquisadores pode ter efeitos benéficos para a sociedade em geral e para outros cientistas, que farão ciência com mais cuidado e contribuirão com seu trabalho para uma vida melhor e um mundo mais racional.

Se a pós-graduação tiver por objetivo a formação do intelectual crítico, um de seus desafios será o de levar esse intelectual a superar a hierarquia espontânea que a vida cotidiana impõe às suas atividades (Duarte, 2006, p.102).

Os Ambientes Abertos de Aprendizagem (AAA), ou *Open Learning Environments* (Hannafin et al., 1999), em cursos de formação de professores, procuram incentivar os participantes a se envolver em uma aprendizagem significativa, de forma “autorregulada e autodirigida” (Bürgener & Barth, 2018, p.8). Para tanto, é preciso criar um contexto que os oriente a analisar um problema ou uma necessidade e os ajude a estabelecer uma perspectiva compartilhada sobre ele. O contexto define o significado, a necessidade e a utilidade do conhecimento ou competência (Hannafin et al., 1999, p.120). Isso exige manter um sistema de suporte, composto por recursos, que abrangem fontes de informação e todo tipo de material de apoio ao aprendizado, juntamente com ferramentas adicionais – de processamento, de manipulação e de comunicação – bem como plataformas capazes de “dirigir e guiar o desenvolvimento do projeto” (Hannafin et al., 1999). Sihler et al. (2019) assinalam que “não se alcançam resultados positivos sem considerar a docência (...) Essa perspectiva pressupõe um amplo conjunto de conhecimentos, habilidades, atitudes e valores em ação” (Sihler et al., 2019, p.22):

- Concepção dos estudantes como agentes de mudança.
- Necessidade de conhecimentos, habilidades, atitudes e valores para atender a demandas complexas e aplicar o conhecimento em circunstâncias desconhecidas e em andamento.
- Criação de condições para que a aprendizagem possa ir além das disciplinas. Os estudantes devem “conectar pontos” (mobilizar saberes).
- Resolução de problemas práticos.
- Pensamento sistêmico (Sihler et al., 2019, p.22).

As cinco propostas a seguir buscam compor Ambientes Abertos de Aprendizagem, visando estabelecer nexos entre o conhecimento das Geociências e algumas questões de interesse das sociedades.

Estimulando a criatividade por meio das Geociências

Sugerem-se alguns tópicos de cunho educacional, baseados no conhecimento das Geociências, para a escolha de caminhos criativos

na busca de um equilíbrio da humanidade com o Sistema Terra: (1) As Geociências e a saúde humana: acesso a água não contaminada, superficial e subterrânea. (2) A pressão crescente por mais recursos e mais espaços. (3) O imenso problema dos solos aráveis. (4) O perigo do analfabetismo científico. (5) Geologia e a busca de sustentabilidade. (6) A emergência dos conceitos de Geodiversidade, Geoconservação e Geoturismo. Em cada item, apresentam-se razões didáticas, cognitivas e históricas que justificam o tratamento didático dos temas pelos professores e, em paralelo, esboçam-se ideias e materiais didáticos que podem contribuir para o trabalho docente ou inspirar novas abordagens. Nos portais dos projetos *Earthlearning-idea* (King et al., 2013) e Geo-Escola (<http://www.geo-escola.pro.br>), assim como em Carneiro et al. (2004, 2005, 2022, 2024), podem ser encontrados outros exemplos e relatos de experiências de difusão de Geociências no ensino básico.

1. Geociências e saúde humana: acesso a água não contaminada, superficial e subterrânea

A decisiva influência das Geociências nos níveis de ensino fundamental e médio está presente em aspectos elementares como saúde e saneamento básico, na medida em que a gestão de recursos naturais depende do conhecimento geológico para garantir qualidade adequada da água, além de boas condições de higiene e saneamento. As escolas são ambientes críticos para combater doenças relacionadas à baixa qualidade da água potável ou às más condições de higiene e saneamento (Anthonj et al., 2021), cumprindo, desse modo, um papel vital desde o início da vida das crianças, que serão os cidadãos do futuro.

O que a Geologia e as Geociências podem nos ensinar em relação ao acesso e à disponibilidade de água não contaminada para o abastecimento das populações?

Dados de 2008 (Figs. 2 e 3), que podem ser atualizados por meio de consulta às bases de dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (2021), indicam que um quinto da população existente em 2002, mais de 1,2 bilhões de pessoas, vive em áreas onde a água disponível não atendeu a toda a demanda (Areppin, 2008). O quadro vem se agravando, sobretudo em função das desigual

oportunidades de apropriação de um bem vital e das limitações do acesso a fontes seguras. Cerca de 1,6 bilhão de pessoas vive em bacias onde existe escassez de água, ou nas quais a capacidade humana ou os recursos financeiros são insuficientes para se desenvolver abastecimento adequado de água (Areppim, 2008). Dados mais atuais sobre o consumo efetivo de água nos diferentes países podem ser recuperados de Kirkland (2023) e World Economic Forum (2023).

Scheibe (2011), ao comentar texto de Carlos Walter Porto Gonçalves, de 2005, assinala que:

(...) o ciclo da água não é externo à sociedade, ele a contém com todas as suas contradições. Assim, a crise ambiental, vista a partir da água, também revela o caráter de crise da sociedade, assim como de suas formas de conhecimento (Scheibe, 2011).

Segundo Scheibe, vivenciamos uma crise de demanda, não de diminuição da quantidade de água disponível. A população aumenta, mas o consumo de água aumenta muito mais rápido! Ao mesmo tempo em que se generalizam a irrigação das monoculturas e a captação de água subterrânea para fins agrícolas e abastecimento urbano-industrial, o “problema da água, literalmente, se aprofunda” (Scheibe, 2011). A demanda por água cresce muito mais do que o crescimento demográfico (Otto & Schleifer, 2020) (Fig. 4). Estima-se que “a demanda por água deverá aumentar em 50% até 2050 devido ao crescimento populacional, ao desenvolvimento econômico e às mudanças climáticas” (Kirkland, 2023). Além disso, a “pegada ecológica” dos países desenvolvidos é muito maior do que a dos demais! Dentro do modelo universal de desenvolvimento técnico, o Banco Mundial se especializou em financiar novos projetos de geração de energia, como as usinas de Urubupungá, Itaipu, Balbina, Tucuruí, Xingó e tantas outras no Brasil (Scheibe, 2011). O sistema elétrico nacional há muito deixou de considerar a rede hídrica como um sistema dinâmico, cujas regras de funcionamento são exclusivas e perenes. Alguns autores afirmam que, para esses gestores, as represas não passam de mera extensão de tomadas...

A crise da água (Fig. 4) pode se ampliar, nos setores rural, industrial ou residencial, devido ao uso desmesurado ou irresponsável. O descaso com as nascentes, cursos d’água e matas ciliares, além da total ignorância sobre água subterrânea, acentuam o quadro desfavorável e tornam ainda mais complexo o desafio de se evitar contaminação. Scheibe (2011) afirma que “a lógica industrial volta a se encontrar com a água, como nos começos da

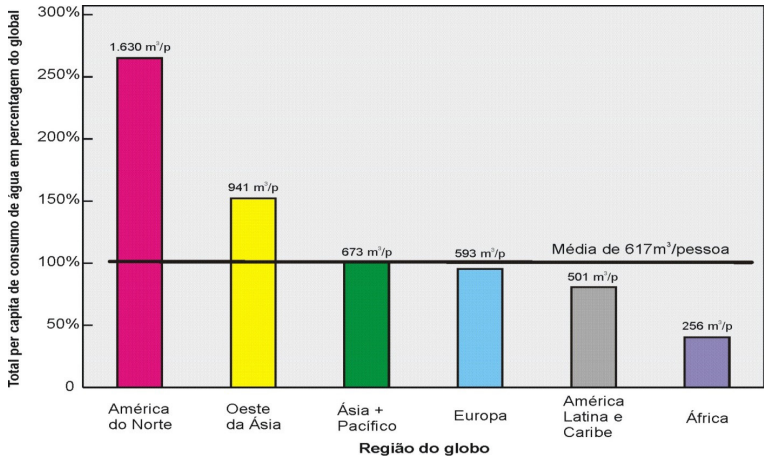


Figura 2. Volumes estimados de retirada de água, em m³/pessoa, nos continentes, segundo dados de 2002, publicados em 2006 pela FAO Aquastat. Fonte: Areppin (2008), com dados de FAO AQUASTAT, Information System on Water in Agriculture (2006). URL: http://www.areppim.com/archives/print_water20080823.pdf

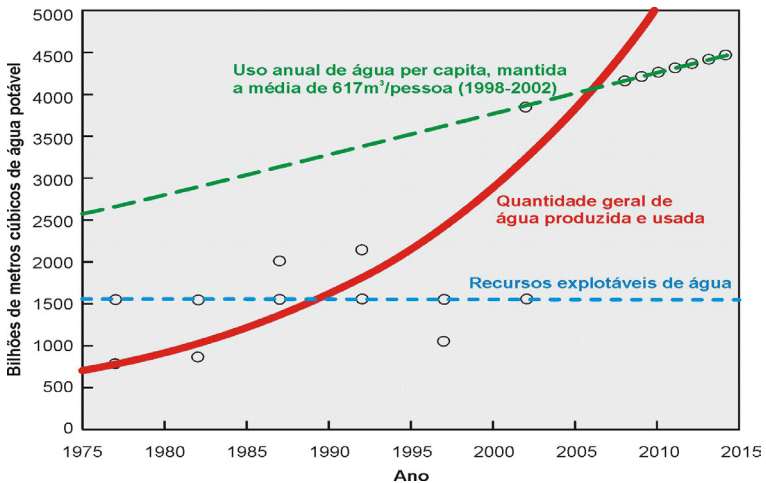


Figura 3. Volumes estimados de água aproveitável (linha azul) em bilhões de m³; retiradas anuais de água (linha vermelha), projetadas como uma função logística; retiradas estimadas de água com um consumo de 617 m³/pessoa (linha verde). Dados de 2002, publicados em 2006 pela FAO Aquastat. Fonte: Areppin (2008), URL: http://www.areppim.com/archives/print_water20080823.pdf

revolução industrial”. A demanda da produção agrícola e industrial é de quantidades enormes e crescentes de água, que se exportam na forma de grãos ou de carne, “sem contar os dejetos e os rejeitos dessas indústrias, despejados também nas águas correntes”. O autor prossegue:

Há, também, questões relativas à própria doutrina jurídica: não há grande tradição de apropriação privada de recursos que são fluidos, líquidos, cujos limites não são tão claros e distintos, como é a terra, cuja tradição jurídica está ancorada no Direito Romano. As cercas não são aplicáveis ao ar e à água nem às fronteiras entre os Estados. Afinal, a água exige uma perspectiva que vá além da propriedade privada individual e nos chama a atenção, talvez melhor do que qualquer outro tema, para o caráter público, exigindo um sentido comum que vá além do individualismo possessivo tão cultivado e estimulado pela lógica de mercado (Scheibe, 2011).

Em resumo, no que diz respeito à água, componente essencial para a vida na Terra, os impactos ambientais e sociais podem causar drásticas alterações; claramente, seremos incapazes de “salvar” o planeta. Em outros termos, é preciso rever comportamentos que destroem ecossistemas, porque dependemos deles para sobreviver, como muito bem assinalam Menegat & Carraro (2009):

Nos dias atuais, domesticamos não só os rios e ciclos hidrológicos, mas também os solos, [...] Estranhamente nos dias de hoje civilizar, isto é, desenvolver e progredir, não significa mais domesticar rios, mas sim contaminar a água, a atmosfera e destruir os ecossistemas, a base da vida (Menegat & Carraro, 2009).

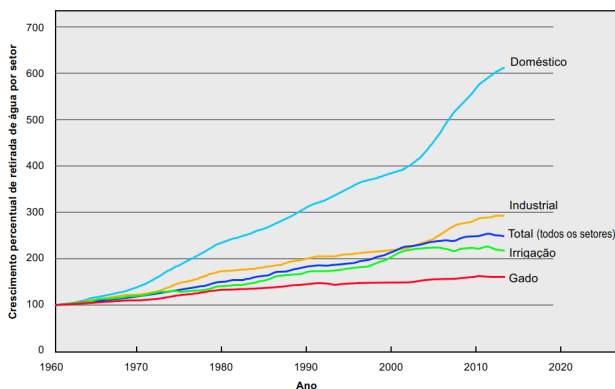


Figura 4. Otto & Schleifer (2020) assinalam que o consumo de água para uso doméstico cresceu 600% ao longo dos últimos 50 anos, baseados em dados de *World Resources Institute* (URL: <https://www.wri.org/aqueduct>). Fonte: URL: <https://www.wri.org/insights/domestic-water-use-grew-600-over-past-50-years>

Box 1: Material didático sobre acesso, uso e desperdício de água

As questões tratadas na escola sobre uso e desperdício de água são familiares para crianças e jovens, mas as relações entre Geociências e saúde humana não são triviais. O texto acima (*recurso*) focaliza a questão do acesso seguro a fontes de água e o contraste continuamente gerado pela desigual apropriação da água. Isso compõe o contexto de um *sistema* no qual as informações e os conceitos críticos não permanecem isolados entre si, mas se integram da forma mais abrangente possível. . Aborda também a questão do despejo de resíduos e contaminantes em água corrente e, por conseguinte, o problema de acesso seguro a fontes de água não contaminada.

1. Sugere-se que o professor inicie um debate com a afirmação do Prof. Scheibe:

O mundo vivencia uma crise de demanda, mas a quantidade de água disponível não diminuiu até hoje.

2. Pode-se pedir que os alunos expliquem qual a importância de se estudar o ciclo da água. Em seguida, o professor pode expor em que consiste o ciclo da água na natureza, com exemplos.

3. O professor pode pedir que os alunos identifiquem quais são os campos da Ciência envolvidos nesses estudos e justifiquem as respostas.

4. Uma atividade simples que pode ser realizada pelos estudantes, individualmente ou em grupo, consiste em levantar dados sobre o consumo diário e mensal em suas residências. Eles também podem ser convidados a levantar em estabelecimentos comerciais ou industriais os mesmos dados de consumo. Os dados podem ser reunidos em uma tabela para comparações.

5. O professor pode pedir que os alunos explorem os gráficos (Figs. 1, 2 e 3) que ilustram este item e expliquem a contradição existente na seguinte frase:

A população aumenta, mas o consumo de água aumenta muito mais rápido!

6. Os caminhos, a partir desse ponto, são numerosos, sendo importante explorar a ideia de que, embora muitas fontes naturais de água potável possuam excelente qualidade, as atividades industriais, agrícolas e de uso doméstico podem gerar contaminantes que, se não forem adequadamente tratados, comprometerão a qualidade dos reservatórios naturais.

7. O professor pode convidar os alunos a explorar as ferramentas oferecidas pelo website *Aqueduct Water Risk Atlas* (URL: <https://www.wri.org/aqueduct/tools>). Os mapas, gráficos e cenários futuros que ilustram o recurso da Aquastat possibilitam identificar e avaliar riscos hídricos em todo o planeta, em diferentes escalas espaciais e temporais.

8. Objetivos e avaliação: depois de desenvolver aulas baseadas nas sugestões acima, espera-se que o estudante seja capaz de: (1) descrever o funcionamento e os mecanismos do ciclo hidrológico e (2) perceber de que maneira as sociedades humanas alteram, contribuem para a degradação e causam problemas críticos no funcionamento do ciclo.

2. Pressão por mais recursos e mais espaços

Sustentabilidade é a continuidade de fatores econômicos, sociais, culturais e ambientais, cuja influência pode controlar até mesmo a manutenção da vida humana na Terra. Caso sejam ultrapassados certos limites, surgem ameaças à habitabilidade de um “planeta saudável”; incluem-se aqui as consequências de certas ações humanas, como a perda de espécies causadas pela destruição irreversível de habitats e interferências irreversíveis nos processos ambientais.

A capacidade de alterar em nível global a composição química da atmosfera ou dos oceanos somente foi atingida pela humanidade depois do “advento da Revolução Industrial, alguns séculos atrás” (Steffen et al., 2011, p.846). Trata-se de relações interconectadas de alta complexidade, porque uma iniciativa malconduzida em um canto remoto do planeta pode ter seus efeitos multiplicados em outra parte.

A sociedade humana enfrenta atualmente desafios sem precedentes associados às nossas interações com os sistemas naturais da Terra. Tendências e padrões atuais de utilização de recursos, acoplados à mudança rápida de uma estrutura social cada vez mais desigual, complexa e interligada, além de rápida mudança tecnológica, impactam as interações homem-ambiente de maneira crítica e insustentável. Esta nova era de influência humana intensa e irreversível nos sistemas terrestres foi denominada Antropoceno e tem sido definida como uma época que começou no início de 1800 com o início da industrialização (Stephens et al., 2008).

O termo Antropoceno tem sido empregado para caracterizar o impacto da atividade humana nos ambientes terrestres e em mudanças

profundas do Sistema Terra. Gibbard et al. (2022) assinalam que o uso estimulou discussões interdisciplinares produtivas e “aumentou a conscientização pública sobre os efeitos das atividades humanas nos sistemas ambientais da Terra”, mas os autores sugerem que, para evitar a criação de agendas científicas conflitantes, o Antropoceno seja considerado um evento geológico, não uma época formal da Escala do Tempo Geológico.

Box 2: Material didático sobre Sustentabilidade

Uma das propostas para a Educação é a promoção de uma cultura de colaboração, capaz de fortalecer vínculos e construir um compromisso das comunidades em busca de uma Educação para a Sustentabilidade. Em um cenário marcado por grande incerteza, a Educação para a sustentabilidade pretende buscar uma proteção ambiental, desde a escala local até a planetária. Os valores presentes abrangem cinco componentes: solidariedade, reflexão, questionamento, discussão crítica e compartilhamento de saberes teóricos e práticos.

Vivencia-se um tempo histórico impregnado por incertezas, tensões e contradições que demarcam a necessidade de um novo olhar da educação sobre o processo de formação do ser humano. Essa relação existente entre educação e sociedade sempre justificou os desafios e as exigências da formação de professores, impulsionando, na atualidade, uma revisão dos paradigmas vigentes (Sihler, Cordeiro & Bessa, 2019, p.2).

1. Sugere-se que o professor inicie um debate pela afirmação acima sobre formação de professores. Em que consistem, por exemplo, as “incertezas”? Elabore pelo menos um exemplo de “cultura de colaboração” que possa ser aplicado em sala de aula com seus colegas.
2. O professor pode pedir que os alunos pesquisem a Escala do Tempo Geológico e definam eras, períodos e épocas.
3. Em seguida, o professor pode expor aos alunos a ideia de Antropoceno que, segundo alguns autores, corresponde à época mais recente da História da Terra, profundamente marcada pelos efeitos e registros da ação humana. Para outros autores, como Gibbard et al. (2022), o Antropoceno é apenas um evento.

No Antropoceno, a escala e intensidade da influência humana sobre os sistemas da Terra começou a ameaçar o atendimento sustentável de necessidades humanas básicas, incluindo a água, comida e abrigo (Stephens et al., 2008).

4. O professor pode pedir que os alunos discutam a afirmação acima sobre os impactos da humanidade na Terra. Esse primeiro passo ajuda os estudantes a se reconhecerem como agentes de mudança (Sihler et al., 2019, p.11).

(...) a educação pode e deve desempenhar um papel decisivo na preparação de alunos, com os conhecimentos, competências, habilidades e valores que os tornem capazes de compreender a atual realidade em que o mundo se encontra, marcada por profundas desigualdades econômicas, sociais e ambientais (Montenegro et al., 2018, p.3).

5. O que se entende por “atendimento sustentável de necessidades básicas”? O professor pode perguntar aos alunos se são capazes de reconhecer, na cidade ou no bairro onde vivem, situações muito contrastantes (desiguais) de condições de vida da população.
6. O professor pode pedir que os alunos elaborem uma lista de sugestões para que a escola onde estudam ajude a reduzir pelo menos uma das desigualdades que identificaram.

3. Solos aráveis

Um recurso é renovável quando é repostado pelos processos naturais a taxas equivalentes ou mais rápidas do que a velocidade com que é consumido. A perda anual de solos em muitas regiões do globo é exagerada e talvez não esteja sendo corretamente dimensionada. A destruição de solos aráveis devido a fenômenos de erosão acelerada dificulta a produção de alimentos, sobretudo se considerarmos que aproximadamente 35% da superfície terrestre são ocupados por pastos e áreas de produção agrícola.

As atividades do Homem influenciam e têm influenciado a Terra “em uma escala cada vez maior” (Loon, 2001, p.372). A habilidade humana de modificar a paisagem devido às atividades de construção civil e de mineração fez crescer dramaticamente o transporte intencional de terra (Hooke, 2000). O autor estima que, por influência direta do crescimento da população, cerca de seis toneladas de solo sejam movimentadas por ano por habitante na Terra. A quantidade de transporte não intencional pela agricultura deve ser ainda maior.

A questão dos solos aráveis compõe um quadro extremamente grave, que reflete alto grau de descontrole. O Brasil é incapaz de conter, ano após ano, as altas taxas de desflorestamento. No ano de 2014, o País teve

70% mais queimadas do que no ano anterior, segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com destaque para Mato Grosso, o estado com mais focos de incêndio no acumulado do ano (Carvalho, 2014). Nos últimos anos, a situação agravou-se ainda mais, registrando-se tentativas de se destruir/omitir registros de queimadas ou lançar dúvidas mentirosas acerca de sua confiabilidade. Desde a Cúpula da Terra no Rio de Janeiro, em 1992, cerca de 400 mil quilômetros quadrados de floresta amazônica foram ao chão e mais da metade do cerrado se transformou em pastagens e terras de cultivo de soja (Leite, 2022). Isso revela omissão e até mesmo certa cumplicidade das autoridades.

As altas taxas de desflorestamento contribuem para a destruição de solos cultiváveis. Uma das consequências diretas do desflorestamento é a erosão acelerada, porque a cobertura vegetal, o tapete de folhas e material em decomposição e as raízes profundas das árvores protegem os solos. Quando os solos perdem a proteção vegetal, a erosão transporta grandes volumes de partículas para córregos e rios. Mesmo em zonas agrícolas, agrava-se a perda por erosão à medida que árvores nativas são, gradual ou abruptamente, substituídas por plantas cultivadas, como café, algodão, soja e trigo. É um ciclo de agricultura itinerante porque a perda de fertilidade dos solos obriga os produtores agrícolas a avançar para áreas vizinhas, onde passam a destruir mais florestas, para repor o capital natural que foi perdido em outros locais. A prática perniciosa da perda de florestas e os ciclos de aproveitamento predatório de solo foram descritos por Dorst (1973) da seguinte forma:

(...) nas regiões tropicais, enquanto a densidade da população humana se manteve abaixo de um determinado nível e que se tratava apenas de uma economia de subsistência, a cultura itinerante permitiu uma exploração agrícola satisfatória e conservadora, com uma condição: a rotação rápida das parcelas. Quando o desflorestamento e o cultivo são seguidos por um período de exploração agrícola suficientemente curto para não esgotar o solo, a cobertura vegetal regenera-se rapidamente e a fertilidade recupera seu nível primitivo (Dorst, 1973, p.171).

Esse é o modo mais irracional possível de se lidar com o ambiente porque, ao serem destruídas grandes áreas de vegetação exuberante, como florestas e domínios de cerrado, aparece a monotonia dos campos devastados (Akkawi & Carneiro, 2015). A exaustão de recursos ambientais acelerou a auto extinção de sociedades e populações inteiras (Diamond, 2006). Ao mesmo tempo em que o autor descreve práticas

positivas que ajudaram a preservar as condições naturais de vastas regiões, como no caso das florestas do Japão, alguns fatores levaram certos povos a esgotar recursos de que dependiam para sobreviver:

1. Desmatamento.
2. Corte excessivo de árvores.
3. Extração descontrolada.
4. Erosão acelerada.
5. Guerras, mudanças climáticas e padrões culturais.

Box 3: Material didático sobre perda de solos aráveis

Os dados expostos neste item podem fundamentar propostas concretas de ação das comunidades e, ao mesmo tempo, conscientizar os agentes para a forma absolutamente insustentável com que agressores invadem cenários de extrema complexidade ambiental, como a Amazônia, o Pantanal, o cerrado, a mata atlântica e tantos outros biomas que deviam ser protegidos.

1. Sugere-se que o professor convide seus alunos a levantar dados históricos sobre a quantidade de queimadas no Brasil Central. Os alunos podem dividir-se em grupos, de modo recobrir as diferentes regiões e biomas brasileiros.
2. Sugere-se que o professor incentive os alunos a levantar notícias de jornais sobre desmatamento e queimadas nos últimos anos, dividindo-as em notícias alarmistas e textos informativos de boa qualidade. As datas e os locais de cada evento poderiam ser dispostos em um mapa, visando proporcionar uma visão de conjunto.
3. Embora o assunto não seja simples, nem trivial, o professor pode fazer uma correlação entre a perda de florestas e matas nativas e o aumento da intensidade da erosão, o que causará inevitável perda de solos. Dessa forma, o professor colocará em prática a ideia de que os estudantes podem produzir seu próprio material didático, assumindo um protagonismo sob supervisão docente (Martins, 2014):

No Brasil, a participação de alunos, tanto na construção dos materiais didáticos, quanto na escolha da temática a ser abordada – que poderia considerar também as demandas sociais – é rara, apesar de estes serem os grandes responsáveis pela efetiva transformação das intenções do currículo em uma prática de ensino cotidiana, na qual se valorizam experiências e concepções dos envolvidos no PE/A, notadamente os dos estudantes (Martins, 2014, p. 1).

4. O professor pode pedir que seus alunos levantem informações e exemplos reais sobre conceitos como: (a) recursos naturais renováveis; (b) erosão; (c) erosão acelerada; (d) solo cultivável; (e) solo improdutivo. Pode-se pedir que os alunos identifiquem quais são os campos da Ciência envolvidos nesses estudos e justifiquem as respostas.

4. Analfabetismo científico: a mudança climática

Os processos climáticos são muito mais velozes do que muitos processos geológicos, medidos em séculos, milênios ou milhões de anos. A afirmação abaixo dá uma ideia da complexidade dos fatores envolvidos na questão do clima terrestre e suas oscilações ao longo do tempo.

O nível de dióxido de carbono na atmosfera é apenas um dos vários fatores que determinam o clima da Terra. Outros fatores importantes incluem: a quantidade de vapor de água (outro gás de efeito estufa) na atmosfera; a porcentagem do céu coberta por nuvens, que refletem a luz solar de volta para o espaço; a porcentagem de terra coberta por gelo e neve, que também são muito reflexivas; e a porcentagem coberta por oceanos e florestas, que são muito absorventes. Todos esses fatores atuam em conjunto para manter uma determinada temperatura; no entanto, eles se influenciam mutuamente de maneiras complexas (Menke, 2019, s.p.).

Consideremos duas assertivas aparentemente desconectadas: Frase 1: “A prova científica do aquecimento do sistema climático é indubitável” (IPCC); e Frase 2: “[...] sob avalanche de controvérsias sobre clima, embriões, energia nuclear etc., nada é pior para uma nação do que o analfabetismo científico” (Veiga, 2008). Por se tratar de campo eminentemente interdisciplinar, conforme salientam Catarino & Reis (2021), conhecimentos de Geologia, Ciência do Sistema Terra e outras ciências são requeridos para que uma pessoa razoavelmente instruída seja capaz de entender a magnitude, as implicações e as possíveis consequências de um vaticínio como esse do Painel Intergovernamental de Mudança Climática, feito a partir de “consensos” sobre o aquecimento do sistema climático estabelecidos pelos participantes.

O aquecimento está sendo muito mais lento do que o previsto. O mundo aqueceu significativamente menos do que o previsto pelo IPCC com base na modelagem de forçantes antropogênicas. A lacuna entre o mundo real e o mundo modelado nos diz que estamos longe de compreender as mudanças climáticas (Global Climate Intelligence Group, 2025, p.1).

Bruckner (2013) assume postura crítica e radical:

Há pelo menos duas ecologias: uma racional, que amplia nossa perspectiva, enquanto a outra a restringe; uma democrática, a outra totalitária”. (...) “O que é a pegada de carbono, se não o equivalente gasoso do Pecado Original, a mancha que infligimos a Mãe Gaia?” (Bruckner, 2013, p.1).

Box 4: Material didático sobre mudança climática

O futuro das sociedades humanas em cenários de intensificação do aquecimento global antropogênico continua a desafiar as previsões dos especialistas, principalmente porque o tema da mudança climática é vasto e repleto de descrições e opiniões muitas vezes conflitantes. Talvez pelo mesmo motivo, grande parte dos professores encontra dificuldade para descrever os processos envolvidos e as escalas de tempo em que atuam. Oliveira et al. (2017) abordam as velocidades dos processos que controlam a dinâmica do clima. Qualquer abordagem do tema deverá apoiar-se nos fundamentos das Geociências, conforme postulam Oliveira et al. (2015):

(...) a Terra é testemunha dela mesma ao registrar em si as impressões decorrentes de alterações do clima. Com base em estudos multidisciplinares, o homem consegue coletar, ler e interpretar os sinais gravados e, assim, reconstituir o clima de diferentes e longínquas escalas (Oliveira et al., 2015, p.4).

1. Sugere-se que o professor inicie um debate com a seguinte afirmação:

Somente por meio da compreensão da verdadeira natureza das flutuações climáticas será possível chegar a uma conclusão sobre qual proporção do aquecimento global atual é devido a causas antropogênicas e naturais (Oliveira et al., 2015, p.4).

2. Os alunos podem ser convidados a fazer uma lista dos fatores envolvidos, examinando os textos de Oliveira et al. (2015 e 2017).
3. Com base na lista, o professor pode incentivá-los a debater as velocidades relativas de cada um dos processos.
4. Nunca é demais recordar as célebres palavras do grande educador Anísio Teixeira:

O desafio moderno é sobretudo este: conseguir que todos os homens adquiram a disciplina intelectual de pensamento e estudo que, no passado, conseguimos dar aos poucos especialistas dotados para essa vida intelectual. O conhecimento e a vida adquiriram complexidade tamanha que só uma autêntica disciplina mental poderá ajudá-los a se servir da ciência, a compreender a vida em sua moderna complexidade e amplitude e a dominá-la e submetê-la a uma ordem humana (Teixeira, 1963).

5. Geologia e sustentabilidade

A irreversibilidade de uma extinção em massa de espécies é tema raramente abordado pelos veículos de comunicação e talvez seja um campo em que a capacidade de comunicação externa dos geocientistas esteja sendo mais severamente desafiada.

Williams, Jr. (2002) assinala que a espécie humana é, na biosfera, apenas uma dentre as 30 a 100 milhões de espécies existentes; ademais, somos apenas uma das 4.500 espécies de mamíferos, mas estamos provocando a sexta extinção em massa de espécies da história da Terra. Sem contar que haverá uma lenta recuperação da geosfera ao longo do tempo, a modificação causada pelos seres humanos na biosfera é inescapável e constitui questão extraordinária, pois “a extinção de uma espécie é para sempre!”. O autor assinala a necessidade de efetivamente utilizarmos os conhecimentos sobre história natural e humana para interromper a degradação dos ecossistemas da Terra e a extinção de sua biota.

Box 5: Material didático sobre extinções em massa de espécies

O tema das extinções em massa de espécies é demasiadamente vasto para ser superficialmente tratado em sala de aula. Infelizmente, o Brasil moderno tem vivenciado incontáveis exemplos de atividades humanas que agredem e degradam o meio ambiente. Uma consequência é a destruição de habitats e a eliminação de fauna e flora.

1. Sugere-se recuperar de veículos de comunicação textos sobre “garimpo ilegal”, “contaminação por mercúrio”, “agrotóxicos” ou “desmatamento”. Dois exemplos: Aragão (2020) revela que a contaminação por mercúrio atingiu a totalidade dos membros do povo Munduruku no Rio Tapajós. O Brasil é signatário desde 2018 da *Convenção de Minamata sobre Mercúrio* (Brasil, 2018), criada em 2013 pela Organização das Nações Unidas (ONU). Mesmo assim, o processo de contaminação acontece há 70 anos naquela região (Aragão, 2020). Outro estudo bem fundamentado sobre o tema é apresentado por Marques et al. (2022): “Uso de mercúrio na Amazônia brasileira: contaminação, problemas e legislação vigente”. A dimensão do problema pode ser estimada por alguns dados: a região possui a maior biodiversidade do planeta, dentro da maior bacia hidrográfica do mundo; unidades de conservação e terras indígenas compõem 43% da área da Amazônia Legal.
2. O professor pode pedir a seus alunos que pesquisem e analisem a seguinte afirmação de Marques et al. (2022):

O mercúrio é um metal pesado tóxico e acumulativo na cadeia trófica, sua permanência no ambiente é longa sem cessar sua toxicidade.

3. Como sugestão de aprofundamento, os alunos deveriam explicar em que consiste uma “cadeia trófica” e porque o mercúrio é tão perigoso.
4. No caso do Pantanal, Freitas (2020) aponta a “meticulosa desmontagem do sistema de vigilância, prevenção e combate às agressões ao patrimônio natural”. Almeida & Maisonnave (2021) documentam, com dados e imagens impactantes, as relações perversas da associação entre usinas hidrelétricas, desmatamento e agrotóxicos que ameaçam o bioma. O professor pode pedir que os alunos interpretem qual desmontagem e quais relações são essas.
5. Pode-se pedir que os alunos identifiquem, e justifiquem, quais são os campos da Ciência envolvidos nos estudos.
6. O professor pode pedir que os alunos pesquisem os termos “Geoética” e “Geoconservação” e citem exemplos reais.
7. O professor também pode pedir que os alunos pesquisem e interpretem a proposta em destaque:

Assim, uma das metas da busca pela sustentabilidade é o desenvolvimento de uma postura ética da humanidade em suas relações com as espécies viventes e com a própria existência de vida na Terra. Os seres humanos de todas as culturas e religiões deveriam reafirmar a importância de uma conservação do patrimônio biótico da Terra, baseada em uma ética de não causar mais danos à biosfera (Williams, Jr. 2002).

6. Geodiversidade, Geoconservação e Geoturismo

As temáticas relacionadas à Geodiversidade, Geoconservação e Geoturismo são atuais, emergentes e representam um novo campo nas Geociências, em que a natureza abiótica é devidamente valorizada (Vallerius, Santos & Mota, 2020, p.87).

Os avanços recentes da Ciência fortaleceram uma concepção abrangente da vida na Terra que nos convida a “pensar a natureza para além dos aspectos bióticos” (Frota Filho et al., 2025). Os conceitos de Geodiversidade, Geopatrimônio, Geoconservação e Geoturismo, que se desenvolveram intensamente nas últimas duas décadas, estabelecem conexões entre os sistemas bióticos e abióticos e possibilitam estudar de maneira holística e integrada as relações entre esses sistemas (Mansur, 2009). Entretanto, ao se abordar a natureza no contexto escolar, “o que geralmente prevalece nas aulas é a percepção de que ela se restringe ou engloba apenas a parte biótica, em especial a flora” (Frota Filho et al.,

2025, p.1). Apenas um motivo justifica tratarmos com idêntica importância a geodiversidade e a biodiversidade: o fato de que a primeira é “o substrato onde a vida se desenvolve e o homem constrói” (Mansur, 2009, p.65).

Neste item ilustramos as relações de interdependência entre os conceitos e acentuamos seu potencial de alterar os efeitos negativos das relações entre a humanidade e o meio ambiente.

O termo Geodiversidade é bem recente no meio escolar, mas permanece ausente na BNCC (Frota Filho et al., 2025). *Geodiversidade* pode ser definida como sendo a extensão natural (ou a diversidade) “de características geológicas (rochas, minerais, fósseis), geomorfológicas (formas de relevo, processos) e do solo”, o que inclui “seus conjuntos, relações, propriedades, interpretações e sistemas” (Gray, 2013). A preocupação com Geopatrimônio e Geoconservação emergiu, inicialmente, com a constatação do progressivo desaparecimento de registros de valor inestimável para o estudo da história da Terra, em diferentes locais, devido à desativação de minas e pedreiras que atingiram a fase de exaustão (Hose, 2012).

Patrimônio Geológico pode ser definido como o “conjunto de recursos naturais geológicos de valor científico, cultural e/ou educativo” (Fernández-Martínez, 2014, p.2). A ideia de patrimônio relaciona-se à ideia de herança, ou seja, “algo que recebemos de nossos antepassados e que, portanto, deveríamos transmitir a nossos descendentes” (Fernández-Martínez, 2014, p.2). Carneiro et al. (2024) apontam a dualidade do conceito de *Geopatrimônio*, que abrange um conjunto de elementos objetivos, divididos em bens materiais e imateriais, e um conjunto de valores, como os valores científico, educativo ou cultural.

Aqui reside o nosso desafio para o futuro: conseguir incorporar o patrimônio geológico no ensino de geologia, não como um lugar, mas como uma forma de trabalhar. E também como um elemento que atrai as emoções e sensações vivenciadas pelos alunos, tornando-os parte de uma sociedade que valoriza, utiliza e preserva a vida abiótica do nosso planeta (Fernández-Martínez, 2014, p.4).

O conceito de *Geoturismo* foi introduzido em 2003 por entidades como a Travel Industry Association of America e a National Geographic (Hose, 2012). Proposto originalmente por Hose (1995), Geoturismo é uma forma de turismo geológico cuja finalidade é sustentar ou melhorar “o caráter geográfico de um lugar, o seu ambiente, cultura, estética, patri-

mônio e o bem-estar dos seus residentes” (Kuleta, 2018). Nesse contexto, as ações de Geoturismo são concebidas como uma forma de se proteger e planejar a reabilitação de sítios de grande valor científico e, ao mesmo tempo, promover e eventualmente financiar a *Geoconservação* (Hose, 2012).

A medida em que são colocadas em prática novas iniciativas baseadas nos conceitos de Geodiversidade, Geopatrimônio, Geoconservação e Geoturismo, abrem-se espaços para estabelecimento de canais de comunicação direta entre os geocientistas e a sociedade. Uma das mais importantes é a proposta da Rede Global de Geoparks®, que reconhece e chama a atenção das sociedades para a urgência de se conservar o meio ambiente natural, como veremos a seguir.

Box 6: Material didático sobre Geodiversidade, Geoconservação e Geoturismo

Concebida e mantida pela UNESCO, a Rede Global de Geoparks® objetiva salvaguardar e desenvolver de modo eficaz um conjunto crescente de áreas selecionadas cujas características geológicas são altamente significativas. O conceito de geoparque é abrangente. Assim, cada Geopark consiste em uma área:

(...) “com significativo patrimônio geológico e com uma estrutura de gestão coerente e forte, baseada em uma estratégia de desenvolvimento econômico sustentável. Um Geoparque cria oportunidades de emprego para as pessoas que vivem no local, para quem traz benefícios econômicos reais, em geral por meio do turismo. Nele, o conhecimento geológico deve ser compartilhado com o grande público e deve ser estabelecida uma conexão com os aspectos do ambiente natural e cultural que, em geral, estão relacionados ou são determinados pela geologia” (Mansur, 2009, p.69).

Em dez anos, o programa da UNESCO reconheceu e orientou a implantação de um conjunto de 229 Geoparks, espalhados por 50 países. A rede busca também estabelecer relações com outros programas relevantes da organização (UNESCO, 2000, 2025):

(...) os Geoparques da UNESCO tornaram-se modelos de conservação do patrimônio geológico. Mas seu papel vai muito além: apoiam projetos educacionais, promovem o turismo sustentável e mantêm vivos os conhecimentos e as tradições desses territórios por meio da participação ativa das comunidades locais e indígenas. É o caso, por exemplo, do Geoparque Katla, na Islândia, onde escolas locais participam ativamente da pesquisa científica realizada sobre essa paisagem, que preserva a memória dos sistemas vulcânicos e glaciais por meio de seus fluxos de lava e praias de areia preta (Audrey Azoulay, UNESCO Director-General, UNESCO, 2025).

1. Sugere-se recuperar de veículos de comunicação textos sobre “desativação de minas e pedreiras”, “jazidas abandonadas”, “geossítios” ou “geomorfossítios”. Os alunos deveriam explicar, com suas próprias palavras, em que consiste cada um desses conceitos.
2. O professor pode pedir a seus alunos que examinem criticamente o mecanismo de Geoparks, procurando identificar eventuais aspectos negativos.
3. O professor pode pedir a seus alunos que pesquisem e analisem a distribuição mundial dos Geoparks aprovados pela UNESCO (sugestão: iniciar pelo link <http://www.globalgeopark.org/GeoparkMap/index.htm>) e, a seguir, descrevam alguns exemplos de iniciativas educacionais e de Geoturismo colocadas em prática nos países com maior número de Geoparks.
4. O professor pode pedir a seus alunos que façam um levantamento dos Geoparks brasileiros já implementados e dos projetos aspirantes a Geoparks. Seria interessante que expliquem as diferenças entre as duas categorias.
5. À guisa de conclusão, o professor pode pedir a seus alunos que expliquem em que medida os conceitos analisados ao longo deste item contribuem para se considerar as “Geociências como um componente essencial da Educação para a Sustentabilidade”.

O papel das Geociências na Educação

Os programas de pós-graduação em Ensino e Educação – assim como, possivelmente, em outras áreas – enfrentam uma série de barreiras e dificuldades para a formação de intelectuais críticos. Estão ausentes, segundo Duarte (2006, p.105), as condições institucionais propícias, “seja do ponto de vista das condições objetivas, seja do ponto de vista das condições subjetivas”. Não obstante, fortalecendo-se na Educação o interesse pelos temas ligados às Geociências, será possível introduzir elementos favoráveis no cenário de formação de pensadores críticos e criativos.

Podemos definir Educação da seguinte forma: a formação da consciência do homem em relação ao que ele é e vive, como ser que pensa, cria, é original, dirige e controla aquilo que dirige. O papel da

Educação e da formação de professores é absolutamente crítico para levar adiante os temas acima esboçados e outros. Embora os conhecimentos de Geologia e Geociências muitas vezes estejam ausentes da legislação educacional brasileira, conforme mencionado acima (ver por exemplo Carneiro & Signoretti, 2008), eles introduzem inúmeros exemplos de controvérsias científicas relevantes (Dodick & Dolphin, 2013, Martins, 2014), ao mesmo tempo em que permitem construir situações inovadoras de ensino-aprendizagem. Martins (2014) salienta a importância de se incluir as Geociências no ensino desde a educação básica até o nível superior,

(...) notadamente no campo da formação de professores/pesquisadores, pois uma questão primordial da educação é conhecer e respeitar o funcionamento do planeta, para garantir a sobrevivência das futuras gerações (Martins, 2014, p.128).

Martelli (2023) propõe o uso prático da obra de Monteiro Lobato para o ensino de Geociências no Ensino Fundamental. Para cumprir o objetivo, o autor selecionou a obra *O poço do Visconde*, que constitui um autêntico tratado de Geologia para crianças. Inúmeros conceitos se mesclam nas páginas da obra:

Nem todo lugar contém depósitos minerais, pois eles se distribuem de modo desigual no subsolo: umas regiões são favoráveis para existência de metais, outras para petróleo, e assim por diante. O estudo sistemático da Geologia permite identificar e determinar a vocação de uma região qualquer, também conhecida como sua *herança mineral* (Martelli, 2023, p.15, grifos do original).

Os exemplos e argumentos acima indicam que, se houver apoio à Educação em Geociências, é possível dar um autêntico salto de qualidade. As Geociências podem contribuir com eficácia no ensino, graças à visão amadurecida do planeta, em conexão com Gaia. Carl Sagan afirmou que “aprender Astronomia é um ato de humildade e formação de caráter”. Estendemos a proposição para Geologia/Geociências, que nos levam a adquirir – e desenvolver – acentuada visão crítica de nossa própria realidade e das circunstâncias sob as quais vivemos neste planeta. A escola precisa se posicionar, antes de ser obrigada a escolher entre a educação do povo e a catástrofe previsível.

Conclusão: Geoeducação e Responsabilidade Global

A ciência, nos últimos anos, tem se concentrado mais e mais na Terra como um planeta, aquele que, por tudo que sabemos, é único – onde se combinam um fino cobertor de ar, uma capa mais fina de água e um filme ainda mais fino de solo para sustentar uma teia de vida com maravilhosa diversidade e em contínua mudança (Eddy, 1993, p.15).

O professor William S. Fyfe, ex-presidente da *International Union of Geological Sciences*, em texto de 1997, reconheceu a necessidade de se “arrumar a casa” para as futuras gerações... Isso significa que chegou a hora de revisar os programas, nas universidades e nas escolas de educação básica, visando alterar muitas das necessidades para o mundo de 2050. Em vários pontos deste Capítulo, acentuamos o caráter interdisciplinar dos desafios que se apresentam. O estímulo a uma postura investigativa, observadora e questionadora por parte do estudante será, certamente, um mecanismo vigoroso para estimular a aprendizagem em Geociências. Ao registrar os papéis e a importância das Geociências para a vida humana e sua prosperidade, o principal legado que deixaremos para os que nos sucederão é o respeito à vida e ao planeta que a abriga!

Enfim, aos geocientistas não basta realizar pesquisas de máxima qualidade, é necessário e urgente difundir as Geociências e aumentar sua presença na Educação brasileira.

Agradecimentos

Este Capítulo resultou do aprofundamento e da atualização de fontes, informações, referências e imagens contidas em uma série de palestras sobre *Educação em Geociências: um caminho para o equilíbrio sustentável do Sistema Terra* que apresentamos em diferentes universidades brasileiras e durante congressos, simpósios e eventos regionais promovidos pela Sociedade Brasileira de Geologia, ao longo de mais de dez anos. As palestras ofereceram exemplos e imagens impactantes para mostrar a urgência de se aumentar a presença de temas de Geociências em aulas e outras atividades da Educação Básica. Ao reelaborarmos o trabalho, para expandir sua abrangência, buscamos aprofundar alguns conceitos mais atuais e relevantes. Acreditamos que os casos típicos, exemplos e descrições possam estimular a divulgação geocientífica.

Agradecemos aos alunos, colegas, geocientistas e outros profissionais que fizeram sugestões. Agradecemos à Coordenação de Aprimoramento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsas a alunos de mestrado e doutorado que participaram das várias etapas de pesquisa. Agradecemos ainda pelos preciosos comentários e sugestões da Profa. Dra. Priscila Pereira Coltri para aprimorar o manuscrito. É de nossa exclusiva responsabilidade a seleção das leituras, fontes e textos de complementação didática.

Referências e sugestões de leitura

- Akkawi, S. F., & Carneiro, C. D. R. (2016). A origem dos solos e os motivos para protegê-los: repensando o papel da sala-de-aula. In: Portugal, J. F., Oliveira, S. S. de, Meireles, M. M. de, & Souza, H. R. de. (Orgs.) (2016). *Geografia na sala de aula: Linguagens, conceitos e temas*. Curitiba: Ed. CRV. p. 317-336.
- Alberts, B. (2009). Redefining Science Education. *Science*, 323(5913), 437. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1170933>.
- Almeida, L. de, & Maisonnave, F. (2021). *Em cerco ao Pantanal, hidrelétricas, desmatamento e agrotóxico formam tripé de ameaças contra o bioma. Com um terço destruído pelos incêndios de 2020, Pantanal não está acossado apenas pelo fogo*. (Apoio Documenta Pantanal). Folha de S. Paulo, 06.07.2021, 12h00. URL: <https://arte.folha.uol.com.br/ambiente/2021/pantanal-sitiado/em-cerco-ao-pantanal-hidreletricas-desmatamento-e-agrotoxico-formam-tripe-de-ameacas-contr-o-bioma/>. Acesso 10.04.2025.
- Almeida, M. J. P. M. de. (2004). Prefácio. In: Silva, H. C. da (2004). *Discursos e leituras da física na escola: uma abordagem introdutória da síntese Newtoniana para o ensino médio*. Brasília: Universa. 304p. ISBN: 85-86591-72-6.
- Anthonj, C., Githinji, S., Höser, C., Stein, A., Blanford, J., & Grossi, V. (2021). Kenyan school book knowledge for water, sanitation, hygiene and health education interventions: Disconnect, integration or opportunities? *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 235, 113756. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113756>.
- Aqueduct (2025). *Aqueduct tools. Map and analyze current and future water risks across locations*. Washington DC: World Resources Institute. URL: <https://www.wri.org/aqueduct/tools>. Acesso 10.04.2025.
- Aragão, T. (2020). *Estudo revela contaminação por mercúrio de 100% dos Mundurucu do Rio Tapajós*. Meio Ambiente. *Amazônia Real*. Publ. 26.11.2020 às 21:11. URL: https://ds.saudeindigena.iciet.fiocruz.br/bitstream/bvs/3813/1/CP9_02120.pdf. Acesso 10.04.2025.
- Araujo, M. F. de, & Teixeira, R. R. P. (2024). Possibilidades de usos educacionais de temas relacionados às Ciências da Terra. *Educar Mais*, 8, 534-552. DOI: <https://doi.org/10.15536/reducarmais.8.2024.4046>.
- Areppim. (2008). *Water: huge deficit in the making*. In: Insight, areppim: information, pure and simple. 23 Aug 2008. Berna, Suíça: Areppim AG.

- URL: http://stats.areppim.com/archives/print_water20080823.pdf. Acesso 10.04.2025.
- Barbosa, R., & Carneiro, C. D. R. (2024). Pensamento crítico e criativo na educação básica por meio das Geociências. In: Carneiro, C. D. R. (Org.), & Santos, G. C. (Ed. Técnico). (2024). *Explorando a Terra na Educação Básica*, v. 2. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Progr. Pós-Grad. Ensino e História de Ciências da Terra. p. 42-68. (Série Ciências da Terra na Educação Básica). DOI: <https://doi.org/10.20396/ISBN97865482946>.
- Barr, R. B., & Tagg, J. 1995. From Teaching to Learning: A New Paradigm for Undergraduate Education. *Change*, 27, 13-25. URL: <https://www.esf.edu/openacademy/tlc/documents/FromTeachingToLearningANewParadigmforUndergraduateEducation.pdf>.
- Barth, M. (2015). Implementing sustainability in higher education. Learning in an age of transformation. London: Routledge.
- Bosch, G. (2018). Train PhD students to be thinkers not just specialists. World view. A personal take on events. *Nature*, 554, p. 277, Feb 15, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/d41586-018-01853-1>.
- Brasil. (2018). *Decreto nº 9.470, de 14 de agosto de 2018. Promulga a Convenção de Minamata sobre Mercúrio, firmada pela República Federativa do Brasil, em Kumamoto, em 10 de outubro de 2013*. Brasília: Presidência da República. Secretaria-Geral. Subchefia para Assuntos Jurídicos. URL: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/Decreto/D9470.htm. Acesso 13.04.2025.
- Brasil. Ministério da Educação. (2018). *Base Nacional Comum Curricular. Ensino Médio*. Brasília: MEC, Consed, Undime. 651p. URL: <http://bncc.mec.gov.br/>. Acesso 30.03.2025.
- Brilha, J. (2004). A Geologia, os Geólogos e o Manto da Invisibilidade. *Comunicação e Sociedade*, 6, 257-265. URL: <http://hdl.handle.net/1822/2863>. Acesso 10.04.2025
- Bruckner, P. (2013). Against Environmental Panic. The Chronicle Review. *The Chronicle of Higher Education*. June 17, 2013. URL: <http://chronicle.com/article/Against-Environmental-Panic/139733/>. Acesso 10.04.2025.
- Brundtland, G. H. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) (1991). *Nosso Futuro Comum (Relatório Brundtland)*. 2 ed. Rio de Janeiro: Fund. Getúlio Vargas. URL: <https://smastr16.blob.core.windows.net/portaleducacaoambiental/sites/11/2024/05/Nosso-Futuro-Comum.pdf>.
- Bürgener, L. & Barth, M. (2018). Sustainability competencies in teacher education: making teacher education count in everyday school practice. *Journal of Cleaner Production*, 174, 821-826. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.263>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617325672>. Acesso 07.04.2025.
- Carneiro, C. D. R. (2016). Glaciação antiga no Brasil: parques geológicos do Varvito e da Rocha Moutonnée nos municípios de Itu e Salto, SP. *Terræ Didática*, 12(3), 209-219. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v12i3.8647898>.

- Carneiro, C. D. R., & Signoretti V. V. (2008). A carência de conteúdos de Geociências no Currículo Básico Comum de Geografia do ensino fundamental em Minas Gerais. Rio Claro, Assoc. Geografia Teorética, *Geografia*, 33(3), 467-484. (set-dez, 2008). URL: <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/3143/3919>. Acesso 10.04.2025.
- Carneiro, C. D. R., Barbosa, R., Amendola, D. F., & Barbosa, I. N. B. C. (2022). Two decades of learning in the Geo-School Project: a journey for including Geosciences at schools. *Ciência & Educação (Bauru)*, 28. DOI: 10.1590/1516-731320220007.
- Carneiro, C. D. R., Barbosa, R., Amendola, D. F., & Barbosa, I. N. B. C. (2024). Inserção das Geociências na Educação Básica: a experiência do Projeto Geo-Escola. in: Carneiro, C. D. R. (Org.), & Santos, G. C. (Ed. técnico). (2024). *Explorando a Terra na educação básica*, v. 2. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Progr. Pós-Grad. Ensino e História de Ciências da Terra. P 181-206. (Série Ciências da Terra na Educação Básica, v. 2). DOI: <https://doi.org/10.20396/ISBN97865482946>.
- Carneiro, C. D. R., Gonçalves, P. W., Negrão, O. B. M., & Cunha, C. A. L. (2005). Ciência do Sistema Terra e o entendimento da “máquina” planetária em que vivemos. Belo Horizonte, *Geonomos*, 13(1), 11-18.
- Carvalho, E. (2014). *Brasil teve 70% mais queimadas em 2014 que no ano anterior, indica Inpe. No acumulado do ano, Mato Grosso é o estado com mais focos de incêndio*. São Paulo: Globo. URL: <http://g1.globo.com/natureza/noticia/2014/10/brasil-teve-70-mais-queimadas-em-2014-que-no-ano-anterior-indica-inpe.html>. Acesso 14.04.2025.
- Catarino, G. F. C., & Reis J. C. O. (2021). A pesquisa em ensino de ciências e a educação científica em tempos de pandemia: reflexões sobre natureza da ciência e interdisciplinaridade. *Ciência & Educação, Bauru*, 27, e21033, p. 1-16. DOI: <https://doi.org/10.1590/1516-731320210033>.
- Diamond, J. (2006). *Colapso: como as sociedades escolhem o fracasso ou o sucesso*. 4 ed. Trad. A. Raposo. Rio de Janeiro: Record. 683p.
- Dodick, J., & Dolphin, G. (2013). Geological controversies: A role for history and philosophy of science in Earth Science Education. In: Baker, V. R. (Ed.). (2013). Rethinking the Fabric of Geology. *The Geological Society of America Special Paper*, 502, 165-182. DOI: [https://doi.org/10.1130/2013.2502\(10\)](https://doi.org/10.1130/2013.2502(10)).
- Duarte, N. (2006). A pesquisa e a formação de intelectuais críticos na pós-graduação em educação. Florianópolis: *Perspectiva*, 24(1), 89-110. URL: http://educa.fcc.org.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-54732006000100004&lng=pt&tlng=pt. Acesso 14.04.2025.
- Eddy, J. (1993). *A fragile Seam of Dark Blue Light. Proceedings of the Global Change Research Forum*. USGS Circular 1086. 121p. DOI: <https://doi.org/10.3133/cir1086>.
- Ernesto, M., Cordani, U. G., Carneiro, C. D. R., Dias, M. A. S., Mendonça, C. A., & Braga, E. S. (2018). Perspectivas do ensino de

- Geociências. *Estudos Avançados*, 32(94), 331-343. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-40142018.3294.0021>.
- Fernandes, V., & Sampaio, C. A. C. (2008). Problemática ambiental ou problemática socioambiental? A natureza da relação sociedade/meio ambiente. Curitiba: *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, (18), 87-94. URL: https://www.researchgate.net/publication/275275027_Problematica_ambiental_ou_problematica_socioambiental_A_natureza_da_relacao_sociedade_meio_ambiente. Acesso 14.04.2025.
- Fernández-Martínez, E. (2014). Enseñanza de la geología y patrimonio geológico: una relación de mutualismo que no debemos desaprovechar. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, [online], 22(1), 2. URL: <https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/284025>. Acesso 13.10.2025.
- Freitas, J. de. (2020). *Governo Bolsonaro deve ser principal processado por política de devastação no Pantanal*. Folha S. Paulo, 19.set.2020. URL: <https://www1.folha.uol.com.br/colunas/janiodefrees/2020/09/governo-bolsonaro-deve-ser-principal-processado-por-politica-de-devastacao-no-pantanal.shtml>. Acesso 14.04.2025.
- Frodeman, R. (1995). Geological reasoning: Geology as an interpretive and historical science. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 107(8), 960-968. DOI: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1995\)107<0960:GRGAAI>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1995)107<0960:GRGAAI>2.3.CO;2).
- Frodeman, R. (2010). O raciocínio geológico: a geologia como uma ciência interpretativa e histórica. [Geological reasoning: Geology as an interpretive and historical science]. Trad. L. M. Fantinel & E. V. D. Santos. *Terræ Didática*, 6(2), 85-99. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v6i2.8637460>.
- Frota Filho, A. B. da, Lima, V. T. A., & Lima, R. H. C. (2025). Perspectivas da inserção da Geodiversidade na Geografia Escolar. *Terræ Didática*, 21(Publ. Contínua), 1-14, e025036. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v21i00.8680676>.
- Fyfe, W. S. (1997). As ciências da Terra e a sociedade: as necessidades para o século XXI. *Estudos Avançados, USP*, 11(30), 175-190. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40141997000200012>.
- Gibbard, P. L., Bauer, A. M., Edgeworth, M., Ruddiman, W. F. Gill, J. L., Merritts, D. J., Finney, S. C., ..., & Ellis, E. C. (2022). A practical solution: the Anthropocene is a geological event, not a formal epoch. *Episodes*, 45(4), 01.12.2022. DOI: <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2021/021029>.
- Global Climate Intelligence Group. (2025). *There is no climate emergency*. World Climate Declaration 12 March 2025. 64p. URL: <https://clintel.org/wp-content/uploads/2025/03/WCD-250312.pdf>.
- González, J. L., Martínez-Frías, J., & Nishiwaki, N. (2014). Geoethical elements in risk communication. *Episodes*, 37(4), 37-320. DOI: <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2014/v37i4/013>.
- Gray, M. (2013). *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. 2 ed. Chichester, UK: Wiley Blackwell.
- Hannafin, M., Land, S., & Oliver, K. (1999). Open learning environ-

- ments: Foundations, methods, and models, in: Reigeluth, C.M. (Ed.) (1999). *Instructional Design Theories and Models*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. pp. 115-140.
- Hooke, R. LeB. (2000). On the history of humans as geomorphic agents. *Geology*, 28(9), 843-846. DOI: [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2000\)28<843:OTHOHA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2000)28<843:OTHOHA>2.0.CO;2).
- Hose T. A. (1995). Selling the story of Britain's stone. *Environmental Interpretation*, 10(2), 16-17.
- Hose, T. A. (2012). 3G's for Modern Geotourism. *Geoheritage*, 4, 7-24. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-011-0052-y>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment*. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden & C. E. Hanson. (Eds.) (2007). Cambridge, UK, Cambridge University Press. 976p. URL: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4_wg2_full_report.pdf. Acesso 14.04.2025.
- Kastens, K. A., Passow, M. J., Pistolesi, L. (2014). Analysis of Spatial Concepts, Spatial Skills and Spatial Representations in New York State Regents Earth Science Examinations. *Journal of Geoscience Education*, 62, 278-289. DOI: <http://www.nagt-jge.org/doi/pdf/10.5408/13-104.1>.
- Kastens, K., Manduca, C.A., Cervato, C., Frodeman, R., Goodwin, C., Liben, L. S., Mogk, D. W., ... & Titus, S. (2009). How Geoscientists Think and Learn, *Eos Trans. AGU*, 90(31), 265. (Unedited Preprint). URL: <http://serc.carleton.edu/serc/EOS-90-31-2009.html>. Acesso 18.08.2022.
- King, C., Kennett, P., & Devon, E. (2013). Earthlearning-idea: a world-wide web-based resource of simple but effective teaching activities. *Journal of Geoscience Education*, 61, 37-52. URL: www.earthlearningidea.com/PDF/JGE_Feb_13.pdf. Acesso 10.04.2025.
- Kirkland, C. (2023). *Understanding the Global Supply of Water*. Visual Capitalist. Editor: Fernandes, F. Publ. 21.07.2023. URL: <https://www.visualcapitalist.com/cp/global-water-distribution/>. Acesso 07.11.2025.
- Kolya, A. A., Maia, D. C., & Perinotto, J. A. J. (2023). Plataforma de Educação para Geoconservação como estratégia para estimular a cidadania geotécnica em territórios de Geoparque. *Terræ Didática*, 19(Publ. Contínua), 1-12, e023021. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v19i00.8673664>.
- Kuleta, M. (2018). Geodiversity Research Methods in Geotourism. *Geosciences* 8, 197. (Selected Papers from the 14th European Geoparks Conference). DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences8060197>
- Lacreu, H. (2024). *Alfabetización geológica para la formación ciudadana*. San Luis: Nueva Editorial Universitaria - UNSL, 209p. ISBN 978-9877334210. URL: https://www.geoethics.org/_files/ugd/5195a5_3ffdb339b3644bdb915753224b3c042e.pdf. Acesso 26.07.2025.
- Leite, M. (2022). *Ambiente está em chamas 50 anos depois de criado seu Dia Mun-*

- dial. Folha S. Paulo, 4.jun.2022 às 10h57. URL: <https://www1.folha.uol.com.br/colunas/marceloleite/2022/06/ambiente-esta-em-chamas-50-anos-depois-de-criado-seu-dia-mundial.shtml>. Acesso 14.04.2025.
- Lewenstein, B. V. (2003). *Models of Public Communication of Science & Technology*. eCommons. Open scholarship at Cornell. Version: 16.06.2003. URL: <https://hdl.handle.net/1813/58743>. Acesso 14.04.2025.
- Loon, A. J. van. (1999). The meaning of ‘abruptness’ in the geological past. *Earth Science Reviews*, 45, 209-214. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(99\)00005-7](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(99)00005-7).
- Loon, A. J. van. (2001). Changing the face of the Earth. *Earth Science Reviews*, 52, 371-379. URL: https://www.academia.edu/78570160/Changing_the_face_of_the_Earth. Acesso 31.07.2025.
- Machado, N. J. (1998). *Educação: Seis Propostas para o Próximo Milênio*. São Paulo. IEA-USP. Última Modif. Publ. 10.12.2012, 17:59. URL: <http://www.ica.usp.br/publicacoes/textos/machadoseispropostas.pdf/>. Acesso 06.04.2025.
- Mansur, K. L. (2009). Projetos educacionais para a popularização das geociências e para a geoconservação. *Geologia USP, Publ. Esp.*, 5, 63-74. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9087.v5i0p63-74>.
- Marcondes, M. E. R. (2018). As Ciências da Natureza nas 1ª e 2ª versões da Base Nacional Comum Curricular. *Estudos Avançados*, 32(94), 269-284. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-40142018.3294.0018>.
- Margulis, L., & Sagan, D. (1986). *Microcosmos. Four billion years of evolution from our microbial ancestors*. New York: Summit Books. 301p.
- Marques, R. L. S., Pozzetti, V. C., Lopes, M. T. G., & Seixas, C. C. (2022). Uso de mercúrio na Amazônia brasileira: contaminação, problemas e legislação vigente. *Revista Catalana de Dret Ambiental*, 13(2). DOI: <https://doi.org/10.17345/rcda3391>.
- Martelli, M. A. (2023). *Uma proposta educacional baseada em “O Poço do Visconde”: Monteiro Lobato, a literatura e as Geociências no despertar da cidadania*. Campinas, SP: Programa de Pós-Graduação em Ensino e História de Ciências da Terra (PEHCT), Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. (Dissert. Mestr.). URL: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/12742>. Acesso 11.10.2025.
- Martins, J. R. S. (2014). *Controvérsias e problematização no ensino de Geociências*. Campinas: Inst. Geoc. Unicamp. (Tese Dout., Progr. Ens. Hist. Ciências da Terra). DOI: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP2014.946272>.
- Martins, J. R. S., Carneiro, C. D. R. (2012). Plataforma continental jurídica, recursos do pré-sal e ensino de Geociências. Campinas, *Terræ*, 9(1), 60-109. URL: <https://www.ige.unicamp.br/terrae/V9/PDFv9/plataforma%20continental.pdf>. Acesso 14.04.2025.
- Menegat R., & Carraro C. C. (2009). Manual para saber porque o Guaíba é um lago: análise integrada de geologia, geomorfologia, hidrologia, estratigrafia e história da ciência. Porto Alegre: Armazém Digital.
- Menke, W. H (2019). *What Geology Has to Say About Global Warming*. News from the Columbia Climate School. Earth Sciences. July 11, 2014.

- URL: <https://news.climate.columbia.edu/2014/07/11/what-geology-has-to-say-about-global-warming/>. Acesso 25.11.2025.
- Montenegro, L. A., Araújo, M. F. F. de, Melo, A. V. de, & Petrovich, A. C. I. (2018). Educação para a sustentabilidade na prática docente: um desafio a ser alcançado. *Revista Eletrônica de Educação Ambiental*, 14.06.2018 (nº 64). URL: <http://revistaea.org/artigo.php?idartigo=3239>. Acesso 05.04.2025.
- Morin, E. (2003). *A cabeça bem feita*. Trad. Eloá Jacobina, 8 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- National Science Board, Science and Technology (2002). *Public Attitudes and Public Understanding, in Science & Engineering Indicators--2002*. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office. Chapter 7. URL: <https://eric.ed.gov/?id=ED463970>. Acesso 14.04.2025.
- Oliveira, M. J. de, Baptista, G. M. M., Vecchia, F. V., & Carneiro, C. D. R. (2015). História geológica e Ciência do Clima: métodos e origens do estudo dos ciclos climáticos na Terra. *Terræ*, 12(1-2), 03-26. URL: <https://www.ige.unicamp.br/terrae/V12/PDFv11/T056-1.pdf>. Acesso 14.04.2025.
- Oliveira, M. J. de, Carneiro, C. D. R., Baptista, G. M. M., & Vecchia, F. V. (2017). Ciclos climáticos e causas naturais das mudanças do clima. *Terræ Didática*, 13(3), 149-184. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v13i3.8650958>.
- Organização das Nações Unidas (ONU). (2015). *Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. Trad. Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil (UNIC Rio). Última edição: 13.10.2015. 49p. <https://sustainabledevelopment.un.org>. URL: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso 06.04.2025.
- Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO-ONU). (2021). *Aquastat: FAO's Global Information System on Water and Agriculture. Overview*. ONU, FAO. Publ. 2021. URL: <https://www.fao.org/aquastat/en/overview/>. Acesso 12.04.2025.
- Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO). (2020). *Educação para o Desenvolvimento Sustentável na escola. Caderno introdutório*. Brasília: UNESCO. 71p. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375076>. Acesso 11.04.2025.
- Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO). (2014a). *Shaping the future we want: UN Decade of Education for Sustainable Development (2005-2014)*. Paris: UNESCO. 198p. URL: <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002301/230171e.pdf>. Acesso 07.04.2025.
- Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO). (2014b). *Roadmap for Implementing the Global Action Programme on Education for Sustainable Development*. Paris: UNESCO. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000230514>. Acesso 07.04.2025.
- Orion, N., & Ault, C. (2007). Learning Earth sciences. In: Abell, S., & Lederman, N. (Eds.) (2007). *Handbook of research on science teaching and*

- learning. New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Otto, B. & Schleifer, L. (2020). *Domestic Water Use grew 600% over the past 50 years*. World Resources Institute, Publ. 10.02.2020. URL: <https://www.wri.org/insights/domestic-water-use-grew-600-over-past-50-years>. Acesso 12.04.2025.
- Santos Guerra, M. Á. (2020). *La escuela que aprende*. 6 ed. Madrid: Ed. Morata. 144p. ISBN 978-84-7112-449-4. URL: https://edmorata.es/wp-content/uploads/2020/09/SantosGuerra_PRW.pdf. Acesso 10.10.2025.
- Scheibe, L. F. (2007). *Os círculos da água (sobre reflexões de Carlos Walter Porto Gonçalves em “Água não se nega a ninguém”)*. Florianópolis, Depto. Geociências UFSC. URL: <http://laam.ufsc.br/files/2011/05/circulos-da-agua.pdf>. Acesso 14.04.2025.
- Sihler, A. P., Cordeiro, B. M. P., & Bessa, S. M. S. (2019). Uma educação para um mundo em constante transformação: os desafios da formação de professores. Brasília: *Rev. Educ.*, 42(159), 12-30, jun./set. 2019. URL: https://www.academia.edu/98954919/Uma_educa%C3%A7%C3%A3o_para_um_mundo_em_constante_transforma%C3%A7%C3%A3o_os_desafios_da_forma%C3%A7%C3%A3o_de_professores. Acesso 11.04.2025.
- Siqueira, L. M. P. (2018). *Geologia humana*. Recife, PE: Ed. Coqueiro. 77p.
- Steffen, W., Grinevald, J., Crutzen, P., & McNeill, J. (2011). The Anthropocene: conceptual and historical perspectives. *Phil. Trans. R. Soc. A.*, 369, 842-867. DOI: <http://doi.org/10.1098/rsta.2010.0327>.
- Steffen, W., Sanderson, R. A., Tyson, P. D., Jäger, J., Matson, P. A., Moore III, B., ... & Wasson, R. J. (2006). *Global change and the Earth System: a planet under pressure*. Springer Science & Business Media.
- Stephens, J. C., Hernandez M. E., Román M., Graham A. C., & Scholz R. W. (2008). Higher education as a change agent for sustainability in different cultures and contexts. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 9(3), 317-338. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/14676370810885916>.
- Tasoff, H. (2020). *Lessons from a Cooling Climate*. Santa Barbara, CA: U. C. Santa Barbara. The current Science + Engineering. URL: <https://www.news.ucsb.edu/2020/020040/climate-lessons>. Acesso 09.04.2025.
- Teixeira, A. S. (1963). Mestres de amanhã. Rio de Janeiro, *Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos*, 40(92), p.10-19. URL: <http://www.bvanisioteixeira.ufba.br/artigos/mestres.html>. Acesso 06.04.2025.
- The Open University. (2023). *The hydrological cycle*. Extracted from the course *Effects of pollutants on the aquatic Environment*, by The Open University. 42p. URL: <https://www.open.edu/openlearn/mod/oucontent/view.php?id=18241§ion=1>. Acesso 06.04.2025.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) (2000). *UNESCO Geoparks programme feasibility study*. Paris. UNESCO Executive Board. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000120350?locale=en>. Acesso 13.10.2025.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) (2025). *UNESCO names 16 new Global Geoparks*. Paris.

- UNESCO Press Release. URL: <https://www.unesco.org/en/articles/unesco-names-16-new-global-geoparks>. Acesso 13.10.2025.
- Vallerius, D. M., Santos, L. A. dos, & Mota, H. G. S. (2020). Geodiversidade, Geoconservação e Geoturismo: possibilidades de ações geoeducativas no ensino de Geografia. *Revista Humanidades e Inovação*, 7(13), 86-94. URL: <https://revista.unitins.br/index.php/humanidadeseinovacao/article/download/3429/1774>. Acesso 10.10.2025.
- Vasconcelos, C., & Orion, N. (2021). Earth Science Education as a Key Component of Education for Sustainability. *Sustainability*, 13, 1316. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13031316>.
- Veiga, J. E. da. (2008). A principal lição da mudança climática. *Valor Econômico*, p. A15. São Paulo: Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuária, Universidade de São Paulo. URL: <https://repositorio.usp.br/item/001650919>. Acesso 14.04.2025.
- Williams Jr., R. S. (2000). A modern Earth narrative: what will be the fate of the biosphere? *Technology in Society*, 22, 303-339. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0160-791X\(00\)00012-9](https://doi.org/10.1016/S0160-791X(00)00012-9).
- World Economic Forum. (2023). *How much water do we really have? A look at the global freshwater distribution*. World Economic Forum, Publ. 25.07.2023. URL: <https://www.weforum.org/stories/2023/07/global-distribution-fresh-water-withdrawals/>. Acesso 07.11.2025.

Uma estratégia para ensino de mudanças climáticas baseada em dados locais

Daniela Resende de Faria
Guilherme Almussa Leite Torres
Priscila Pereira Coltri

Introdução

Nos últimos anos, a intensificação dos eventos climáticos extremos, como ondas de calor, enchentes, secas e tempestades, acentua a urgência de compreender os fenômenos climáticos e seus impactos na vida cotidiana (IPCC, 2023). É imprescindível que o tema seja abordado de forma contundente nas escolas, preparando os estudantes para lidar com os desafios ambientais do século XXI em suas comunidades (Neves, 2025, Monroe et al., 2019, Eilam, 2022, Stevenson, 2017, Nicholls & Whitehouse, 2017).

A Educação em Mudanças Climáticas (EMC), ao promover o entendimento de conceitos, como os fenômenos extremos e as tendências climáticas, fundamenta-se na importância de promover uma reflexão crítica voltada à tomada de decisões sustentáveis, contribuindo para a formação de estudantes como agentes ativos de mudança (Choudhury & Wu, 2023).

Tradicionalmente, os recursos de aprendizagem empregados por docentes no ensino de Climatologia e mudanças climáticas concentram-se na abordagem de noções fundamentais, como “tempo atmosférico”, “clima” e “variáveis climáticas”, avançando posteriormente para análises integradas aos problemas socioambientais (Torres et al., 2020). O livro didático ainda é o principal material de apoio utilizado nesses temas (Faria, 2025), o que, na maioria das vezes, dificulta o desenvolvimento de atividades interdisciplinares e contextualizadas. Contudo, existe um amplo campo de investigação pedagógica na área de Ensino em Mudanças Climáticas que ainda precisa ser explorado, uma vez que o ensino sobre eventos climáticos extremos carece de propostas viáveis para sua implementação em sala de aula (Salinas et al., 2023).

Nesse contexto, compreender o que são e como ocorrem os eventos atmosféricos extremos é um passo fundamental para que docentes possam abordar o tema de forma contextualizada e significativa em sala de aula. Esses eventos são caracterizados por manifestações que ocorrem com intensidade, duração e/ou frequência fora dos padrões registrados em uma determinada região, ou seja, fenômenos que se desviam significativamente das condições médias ou esperadas em uma determinada região e período (McPhillips et al., 2018).

Da mesma forma, trabalhar o conceito de tendências climáticas é essencial para que os estudantes compreendam o comportamento do clima ao longo do tempo. A definição de tendências climáticas é fundamental para entender as mudanças de longo prazo no clima, diferenciando-as das variações naturais de curto prazo. O conceito é amplamente utilizado em estudos de clima para identificar padrões persistentes em variáveis como temperatura, precipitação e eventos extremos. As tendências climáticas referem-se à mudança sistemática e de longo prazo no valor médio de uma variável climática ao longo do tempo, como temperatura ou precipitação (Mudelsee, 2019). Em termos estatísticos, é a variação consistente (para cima ou para baixo) observada em séries temporais de dados climáticos, geralmente analisada em períodos de décadas ou séculos (Parey et al., 2007). Embora nem toda tendência indique uma mudança climática consolidada, sua análise ajuda a reconhecer sinais de alteração gradual no sistema climático. Discutir tendências em sala de aula permite desenvolver o raciocínio temporal e analítico dos alunos, além de estimular uma postura investigativa frente aos dados, aproximando-os do modo como a ciência climática interpreta o mundo. A abordagem contribui para que os estudantes compreendam a diferença entre variações naturais e mudanças duradouras no clima, fortalecendo o pensamento crítico e a tomada de decisões embasadas.

Assim, o desafio pedagógico consiste em elaborar propostas de ensino e aprendizagem que promovam uma abordagem integrada e contextualizada, especialmente em um tema que envolve múltiplos componentes curriculares e diferentes níveis de complexidade.

As Sequências Didáticas (SD) favorecem experiências de aprendizagem progressivas, possibilitando, por meio de propostas contextualizadas e centradas no estudante, o embasamento necessário para a mobilização de conceitos na construção de competências mais complexas, sob perspectiva interdisciplinar. As SD proporcionam o empoderamento

dos estudantes na atuação em suas comunidades (Basu et al., 2024, Brumann, Ohl & Schulz, 2022, Trott & Weinberg, 2020, Karpudewan & Kahn, 2017). Assim, ao promoverem a conexão entre conceitos científicos e a realidade local, as SD subsidiam o desenvolvimento de habilidades críticas e reflexivas essenciais para o enfrentamento das questões climáticas contemporâneas (Salovaara, Vesterinen & Siponen, 2025). Adicionalmente, fomentam uma articulação dinâmica entre saberes prévios dos estudantes, a problematização de novas situações e a sistematização do conhecimento, o que potencializa um maior engajamento, superando a fragmentação e o ensino linear (Ugalde & Roweder, 2020, Salovaara, Vesterinen & Siponen, 2025).

A utilização de SD fundamentadas em índices de clima extremo emerge como uma estratégia promissora para o ensino de mudanças climáticas (Porter, Coz & Forssman, 2024). Os índices funcionam como instrumentos concretos que possibilitam a conexão entre os conteúdos científicos e a realidade vivenciada pelos estudantes, facilitando a construção de habilidades de pensamento crítico e reflexivo, consideradas pela UNESCO como essenciais para o século XXI (Bacich, Tanzi Neto & Trevisani, 2015, Bacich & Moran, 2018). Entendendo a SD como um conjunto articulado de estratégias e recursos aplicados em contextos específicos de ensino, voltados para o desenvolvimento de competências (Zabala, 1998), este trabalho buscou elaborar uma sequência didática direcionada ao ensino de mudanças climáticas, com ênfase em eventos extremos. A demanda pela elaboração da sequência didática surgiu a partir do trabalho desenvolvido pelo Laboratório de Educação Climática (LabEduc) do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (Cepagri), da Universidade Estadual de Campinas, em parceria com uma escola do município de Cerqueira César, no interior do Estado de São Paulo, evidenciando o interesse e a necessidade de abordar o tema das mudanças climáticas de forma concreta e contextualizada no âmbito escolar.

O objetivo central do estudo foi desenvolver e disponibilizar uma proposta de ensino e aprendizagem – Sequência Didática (SD) – fundamentada em índices climáticos, passível de adaptação a distintas realidades locais, com o propósito de fomentar o debate crítico e a reflexão aprofundada no ambiente escolar. Além disso, o material possibilita o trabalho de temas relevantes para o ensino de mudanças climáticas, tais como modelos climáticos, escalas temporais e espaciais, sazonalidade e caracterização de eventos extremos e tendências climáticas.

Materiais e Métodos

Dados climáticos e produção de índices

O primeiro passo para a elaboração do trabalho foi selecionar dados climáticos da região de estudo. Foram coletados dados climáticos de temperatura (máxima e mínima) e precipitação referentes ao período de 1993 a 2023 (normal climatológica) da plataforma NASA Power Project para o município de Cerqueira César (lat 23° 02' 09" S, long 49° 09' 57" O), estado de São Paulo (Fig. 1). Optou-se pela base de dados climáticos NASA Power devido à sua ampla cobertura espacial e temporal, à consistência das séries históricas disponibilizadas e ao acesso gratuito, características que a tornam uma ferramenta robusta e confiável para estudos climatológicos em regiões onde há escassez ou descontinuidade de dados observacionais, como é o caso de muitas regiões brasileiras.

Vale ressaltar, contudo, que existem outras fontes de dados que também podem ser utilizadas em análises climáticas, como as reanálises globais ERA5 do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) e *Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2* (MERRA-2/NASA), bem como as bases observacionais nacionais, como o Banco de Dados Meteorológicos (Bdmep) do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) e o Hidroweb da Agência Nacional de Águas e

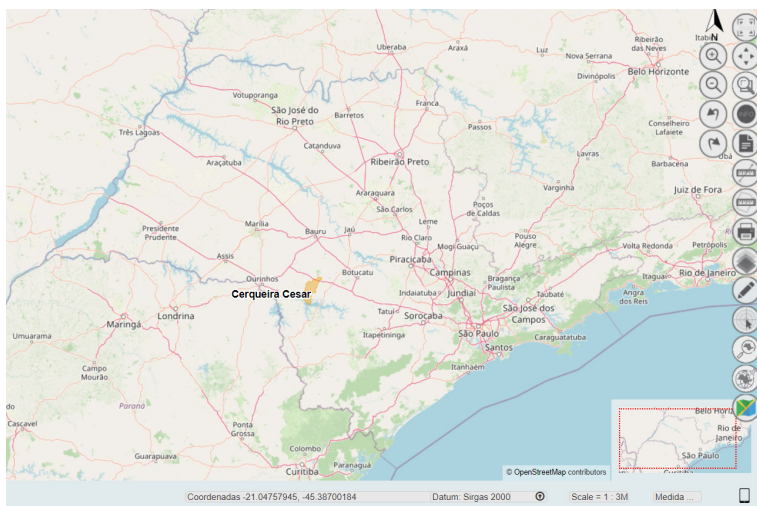


Figura 1. Localização da área de estudo

Saneamento Básico (ANA), que fornecem séries meteorológicas provenientes de estações no território brasileiro. Para as bases observacionais nacionais, é importante considerar a disponibilidade da série e a abrangência da área monitorada. O município de Cerqueira César, localizado a cerca de 318 quilômetros da capital paulista, foi selecionado em função de o LabEduc desenvolver, dentre seus projetos, colaboração com escolas para a promoção da educação em mudanças climáticas, uma parceria com um colégio do município de Cerqueira César (SP).

Os dados foram compilados em planilha Excel e posteriormente convertidos para CSV. Com os dados tratados e compilados, utilizou-se o pacote RCLimDex (Zhang & Yang, 2004) no software livre RStudio para criação dos índices climáticos e a criação de gráficos que posteriormente foram utilizados como base para a aplicação da sequência didática. O fluxograma representado na Figura 2 sumariza os passos adotados nessa primeira etapa da metodologia:



Figura 2. Metodologia de geração dos índices e dados utilizados como recursos.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

A concepção da sequência didática

A sequência didática foi elaborada considerando a etapa do Ensino Médio da Educação Básica. Sendo assim, o fluxograma da Figura 3 e a Tabela 1 mostram a primeira etapa de trabalho. Inicialmente, foi preciso delimitar as competências gerais a serem trabalhadas (CG); as áreas (Matemática e suas Tecnologias, Ciências da Natureza e suas Tecnologias e Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, já que o foco é uma sequência didática interdisciplinar) e suas competências específicas (CE) e, por fim, as habilidades. Para tanto, toma-se o documento normativo da Educação Básica no Brasil, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

Tabela 1. Competências Específicas e Habilidades. Fonte: Elaborado pelos autores, com base na Base Nacional Comum Curricular do Ensino Médio

	Competência Específica	Habilidades
Matemática e suas Tecnologias	CE 1: Utilizar estratégias, conceitos e procedimentos matemáticos para interpretar situações em diversos contextos, sejam atividades cotidianas, sejam fatos das Ciências da Natureza e Humanas, ou ainda questões econômicas ou tecnológicas, divulgados por diferentes meios, de modo a consolidar uma formação científica geral.	(EM13MAT101) Interpretar situações econômicas, sociais e das Ciências da Natureza que envolvem a variação de duas grandezas, pela análise dos gráficos das funções representadas e das taxas de variação com ou sem apoio de tecnologias digitais; (EM13MAT102) Analisar gráficos e métodos de amostragem de pesquisas estatísticas apresentadas em relatórios divulgados por diferentes meios de comunicação, identificando, quando for o caso, inadequações que possam induzir a erros de interpretação, como escalas e amostras não apropriadas.
	CE 2: Articular conhecimentos matemáticos ao propor e/ou participar de ações para investigar desafios do mundo contemporâneo e tomar decisões éticas e socialmente responsáveis, com base na análise de problemas de urgência social, como os voltados a situações de saúde, sustentabilidade, das implicações da tecnologia no mundo do trabalho, entre outros, recorrendo a conceitos, procedimentos e linguagens próprios da Matemática.	(EM13MAT202) Planejar e executar pesquisa amostral usando dados coletados ou de diferentes fontes sobre questões relevantes atuais, incluindo ou não apoio de recursos tecnológicos, e comunicar os resultados por meio de relatório contendo gráficos e interpretação das medidas de tendência central e das de dispersão.
	CE 4: Compreender e utilizar, com flexibilidade e fluidez, diferentes registros de representação matemáticos (algébrico, geométrico, estatístico, computacional etc.), na busca de solução e comunicação de resultados de problemas, de modo a favorecer a construção e o desenvolvimento do raciocínio matemático.	(EM13MAT408) Construir e interpretar tabelas e gráficos de frequências, com base em dados obtidos em pesquisas por amostras estatísticas, incluindo ou não o uso de softwares que inter-relacionem estatística, geometria e álgebra. (EM13MAT409) Interpretar e comparar conjuntos de dados estatísticos por meio de diferentes diagramas e gráficos, como o histograma, o de caixa (box-plot), o de ramos e folhas, reconhecendo os mais eficientes para sua análise.

Ciências da Natureza e suas Tecnologias	CE 3: Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC).	(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica. (EM13CNT302) Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos – interpretando gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, elaborando textos e utilizando diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) –, de modo a promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural. (EM13CNT303) Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações. (EM13CNT306) Avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza, para justificar o uso de equipamentos e comportamentos de segurança, visando à integridade física, individual e coletiva, e socioambiental.
Ciências Humanas e Sociais Aplicadas	CE 3: Contextualizar, analisar e avaliar criticamente as relações das sociedades com a natureza e seus impactos econômicos e socioambientais, com vistas à proposição de soluções que respeitem e promovam a consciência e a ética socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional, nacional e global.	(EM13CHS302) Analisar e avaliar os impactos econômicos e socioambientais de cadeias produtivas ligadas à exploração de recursos naturais e às atividades agropecuárias em diferentes ambientes e escalas de análise, considerando o modo de vida das populações locais e o compromisso com a sustentabilidade física, individual e coletiva, e socioambiental. (EM13CHS306) Contextualizar, comparar e avaliar os impactos de diferentes modelos econômicos no uso dos recursos naturais e na promoção da sustentabilidade econômica e socioambiental do planeta.

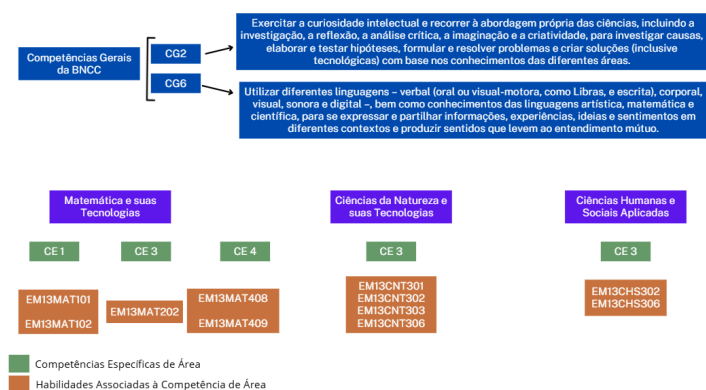


Figura 3. Mapeamento das Competências Gerais (CGs); Competências Específicas de Área (CEs) e Habilidades. Fonte: Elaborado pelos autores, com base na Base Nacional Comum Curricular do Ensino Médio (BNCC)

A partir da delimitação inicial, elaboraram-se os objetivos de aprendizagem, os critérios de sucesso e escolheu-se o instrumento de avaliação. Os primeiros foram delineados, focando no entendimento de dados climáticos, ondas de calor, conforto térmico, e relações desses temas com o ambiente da escola. Já para o instrumento de avaliação, optou-se pela elaboração de uma rubrica analítica (Tab. 2).

Na área de Matemática e suas Tecnologias, as competências e habilidades da BNCC para o Ensino Médio destacam a importância de aplicar conceitos e procedimentos matemáticos em diferentes contextos sociais, científicos e econômicos, analisar criticamente informações e relatórios estatísticos, planejar e executar pesquisas com coleta e interpretação de dados, e utilizar variados registros de representação (algébrico, geométrico, estatístico, computacional) para resolver problemas e comunicar resultados de forma clara e fundamentada. Para a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, no Ensino Médio, são enfatizadas a análise de situações-problema e a avaliação crítica das aplicações do conhecimento científico e tecnológico, utilizando procedimentos e linguagens próprias da área. Destacam-se a construção de hipóteses, previsões e modelos explicativos, a coleta e interpretação de dados experimentais, a comunicação de resultados para públicos variados por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais, a interpretação crítica de textos e fontes científicas e a avaliação de riscos

e segurança em contextos cotidianos, regionais ou globais, com vistas à proposição de soluções fundamentadas e socialmente responsáveis. Por fim, na área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, enfatizou-se a análise crítica das relações entre sociedades e natureza, avaliando os impactos econômicos e socioambientais de atividades produtivas e modelos econômicos em diferentes escalas. Destacam-se a contextualização e a comparação de situações locais, regionais e globais, a proposição de soluções que promovam consciência, ética socioambiental e consumo responsável, considerando o modo de vida das populações e a sustentabilidade econômica e socioambiental.

Foi preciso determinar os objetivos de aprendizagem, os critérios de sucesso e o instrumento de avaliação, a partir do qual serão registrados os avanços e os pontos de atenção na/da aprendizagem. Para traçar os objetivos de aprendizagem e os critérios de sucesso, consideraram-se as competências (gerais e específicas) e as habilidades (Fig. 4). A rubrica analítica, por sua vez, que corresponde ao instrumento de avaliação

Tabela 2. Rubrica Analítica para a avaliação. Fonte: Elaborado pelos autores com base em Bacich, Tanzi Neto & Trevisani (2015), Shulman (2015), Boudett, City & Murnane (2020), Wiggins & McTighe (2019) e Hattie & Ziegger (2019). A rubrica está disponibilizada em versão on-line (Faria, 2025)

Objetivo de aprendizagem/ Critérios de Sucesso	100%	75%	50%	25%
Aplicar conceitos e procedimentos matemáticos para resolver problemas encontrados em situações cotidianas e em diferentes áreas do conhecimento para interpretar e analisar informações quantitativas e qualitativas divulgadas por diferentes meios, utilizando a Matemática para compreender dados e buscar respostas, considerando fatores como a sustentabilidade.	O estudante aplica os conceitos matemáticos, mobilizando-os para a resolução de problemas e associando-os a diferentes áreas do conhecimento. É capaz de interpretar e analisar as informações quantitativas e qualitativas, divulgadas em diferentes meios e se utiliza da matemática para buscar respostas, considerando as questões relacionadas à sustentabilidade.	O estudante aplica os conceitos matemáticos, mobilizando-os para a resolução de problemas e associando-os a diferentes áreas do conhecimento. Apresenta dificuldades em interpretar e analisar as informações quantitativas e qualitativas, divulgadas em diferentes meios.	O estudante apresenta dificuldades em aplicar os conceitos matemáticos, não sendo capaz de associá-los a diferentes áreas do conhecimento.	O estudante não aplica os conceitos matemáticos nem os mobiliza para a resolução de problemas.

Promover a tomada de decisões informadas e responsáveis, embasadas em análises matemáticas de problemas socioambientais urgentes, como aquelas relacionadas às mudanças climáticas, para comunicar descobertas e conclusões de forma clara e eficaz a diferentes públicos, em diversos contextos, utilizando variadas mídias e Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC)	O estudante é capaz de tomar decisões informadas e responsáveis, embasadas em análises matemáticas de problemas socioambientais urgentes, como aquelas relacionados às mudanças climáticas, para comunicar descobertas e conclusões de forma clara e eficaz a diferentes públicos, em diversos contextos, utilizando variadas mídias e Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC)	O estudante é capaz de tomar decisões informadas e responsáveis embasadas em análises matemáticas de problemas socioambientais urgentes, como aqueles relacionados às mudanças climáticas, porém apresenta dificuldades para comunicar tais descobertas e conclusões.	O estudante apresenta dificuldades na tomada de decisões informadas e responsáveis, embasadas em análises matemáticas de problemas socioambientais urgentes.	O estudante não é capaz de tomar decisões informadas nem embasadas em análises matemáticas no que tange aos problemas socioambientais urgentes.
Analisar situações-problema que envolvam o conhecimento científico e tecnológico, para avaliar suas aplicações e implicações no mundo contemporâneo para propor soluções que atendam às demandas locais, utilizando procedimentos e linguagem científica.	O estudante analisa situações-problema que envolvem o conhecimento científico, sendo capaz de avaliar suas aplicações e implicações no mundo contemporâneo e, assim, propor soluções que atendam a demandas locais, utilizando procedimentos e linguagem científica.	O estudante analisa situações-problema que envolvem o conhecimento científico, apresentando dificuldades de avaliar suas aplicações e implicações no mundo contemporâneo.	O estudante apresenta dificuldade em analisar situações-problema que envolvem o conhecimento científico.	O estudante não é capaz de analisar situações problema que envolvem o conhecimento científico.
Contextualizar, analisar e avaliar, de forma crítica, as relações entre as sociedades e a natureza, identificando seus impactos econômicos e socioambientais para propor soluções que promovam a consciência e a ética socioambiental, incentivando o consumo responsável em âmbito local.	O estudante é capaz de contextualizar e avaliar, criticamente, as relações entre as sociedades e a natureza, identificando seus impactos socioeconômicos e socioambientais para propor soluções que promovam a consciência e a ética socioambiental, incentivando o consumo responsável em âmbito local.	O estudante é capaz de contextualizar e avaliar, criticamente, as relações entre as sociedades e a natureza, mas apresenta dificuldades para identificar seus impactos socioeconômicos e socioambientais.	O estudante apresenta dificuldades na contextualização e na avaliação crítica das relações entre sociedades e a natureza.	O estudante não é capaz de contextualizar nem de avaliar, criticamente, as relações entre as sociedades e a natureza.

escolhido, encontra-se na Tabela 2. Rubricas analíticas são instrumentos de avaliação formativa que descrevem, de maneira criteriosa e graduada, os níveis de desempenho esperados em diferentes dimensões, permitindo uma apreciação detalhada e objetiva do progresso dos estudantes. Elas se destacam por sua capacidade de tornar explícitos os critérios de avaliação, promovendo transparência, equidade e *feedback* construtivo. No contexto de SD — que envolve etapas progressivas de aprendizagem — as rubricas analíticas são particularmente eficazes, pois possibilitam acompanhar o desenvolvimento contínuo das competências, identificar lacunas e orientar intervenções pedagógicas precisas (Observatório da Educação, 2022).

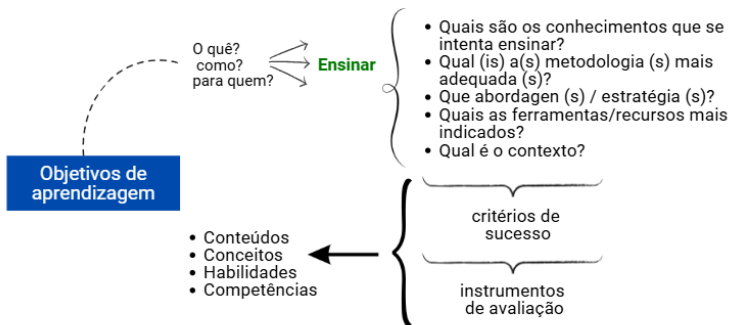


Figura 4. Fluxo para delimitação dos objetivos de aprendizagem, critérios de sucesso e instrumentos de avaliação. Fonte: Elaborado pelos autores com base em Bacich, Tanzi Neto & Trevisani (2015), Shulman (2015), Boudett, City & Murnane (2020), Wiggins & McTighe (2019) e Hattie & Ziegger (2019)

Resultados

Sequência didática

O fato de os índices climáticos serem personalizados para uma cidade ou localidade específica permite trazer para a realidade dos alunos a discussão sobre temas relacionados às mudanças climáticas, promovendo uma experiência de aprendizado com significado (Dewey, 2023, Faria & Coltri, 2024). Para tanto, toma-se como base o conceito de Data Wise, apresentado por Boudett, City & Murnane (2020), que se refere a um processo colaborativo de melhorias contínuas na educação, fundamentado no uso de dados e registros pedagógicos. A estrutura do

Data Wise é dividida, essencialmente, em três etapas (preparar, investigar e agir), que contam com sub-etapas, norteadoras das atividades pedagógicas, a fim de transformar os registros pedagógicos em dados que possam embasar a tomada de decisões. Assim, a elaboração da sequência didática fundamentou-se nas três etapas e sub-etapas (Tab. 3).

Com base na Tabela 3, durante a etapa 2 (Descobrir), com a mediação do docente, utilizar-se-ão os dados referentes aos índices climáticos elencados na Tabela 4, com uma breve definição:

Tabela 3. Etapas de elaboração da sequência didática, baseado no conceito de Data Wise. Fonte: Elaborado pelos autores (2025) com base em Wolff (2022), Garofalo (2019), Bender (2014), Camargo & Daros (2018), Bacich, Tanzi Neto & Trevisani (2015), Hattie & Zierer (2019), Hattie (2017) e Boudett, City & Murnane (2020)

Etapa	O quê?	Ações	Exemplos
1	Investigar	Construção da Questão Âncora.	Como podemos compreender o aumento das ondas de calor no município de Cerqueira César (SP)?
2	Descobrir	Organizar pesquisas sobre ondas de calor, temperaturas extremas, dados de estações meteorológicas locais e de sites oficiais sobre conforto térmico.	Os dados precisam mostrar e comprovar que o município de Cerqueira César (SP) vem vivenciando ondas de calor, e, assim, seus habitantes experienciando baixo conforto térmico.
3	Conectar	Organizar os dados pesquisados anteriormente, contrapondo aos dados climáticos disponibilizados no percurso de ensino.	A partir dos dados apresentados, confrontar a literatura e as pesquisas realizadas para construir uma argumentação científica.
4	Criar	Criação do protótipo: maquete de um ambiente com conforto térmico. Pode ser, inclusive, algum ambiente já existente, no qual seja possível implementar melhorias visando ao conforto térmico.	Construir uma maquete de um tipo de ambiente que possa favorecer a sensação de conforto térmico em momentos de ondas de calor.

5	Refletir	Após a apresentação pública dos resultados (da maquete), coletar dados acerca dos <i>feedbacks</i> recebidos e propor melhorias.	Elaboração e construção dos portfólios do projeto, com a mediação docente, que podem ser apresentados para os órgãos competentes, como secretarias do meio ambiente, por exemplo.
6	Verificar	O docente, mediante <i>feedbacks</i> , preencherá a rubrica analítica.	O preenchimento da rubrica analítica oportuniza a verificação dos resultados, tornando a aprendizagem visível.
7	Balizar	Com base nos resultados de aprendizagens inferidos na etapa 6, o docente consegue verificar os avanços e os pontos de atenção.	Inicia-se o planejamento dos próximos passos, fundamentados nos pontos de atenção, que evidenciaram lacunas na aprendizagem, no que diz respeito aos objetivos traçados.
8	Avaliar	Nesse momento, o docente deve promover uma avaliação do processo de ensino e aprendizagem.	Pontuar a validade da sequência didática, dos métodos e metodologias utilizados, das abordagens didáticas e recursos didático-pedagógicos, sempre ancorados nos resultados obtidos no item 7, para traçar novos percursos, com as devidas correções de rota.

Com isso, ainda na etapa 2 (Descobrir), mas adentrando a etapa 3 (Conectar), sugere-se ao docente que realize a descrição do índice de dias consecutivos secos (Fig. 5) junto dos alunos, levando em consideração, primeiramente, que o eixo lateral possui a informação do número de dias e o eixo horizontal os anos analisados. As barras na cor laranja representam a quantidade de dias que registraram o índice em cada ano. Por último, a linha pontilhada em preto representa a tendência da série histórica, indicando se é possível observar mudança sistemática e de longo prazo no valor médio de uma variável climática ao longo do tempo.

Tabela 4. Definição dos conceitos de índices climáticos. Fonte: Elaborado pelos autores (2025) com base em Zhang & Yang (2004)

Nome do índice	Variável climática analisada	Unidade de medida	Definição
CDD	Precipitação	mm	Número de dias consecutivos secos com precipitação menor que 1 mm ao dia.
DTR	Temperatura	°C	Amplitude térmica mensal: diferença em °C entre a temperatura máxima e a temperatura mínima registrada no mês.
PRCPTOT	Precipitação	mm	Precipitação acumulada total anual em mm.
SU	Temperatura	°C	Número de dias de verão: contagem anual de dias com temperatura máxima diária > 25°C.
TR	Temperatura	°C	Número de noites tropicais: contagem anual de dias em que a temperatura mínima diária foi > 20 °C.

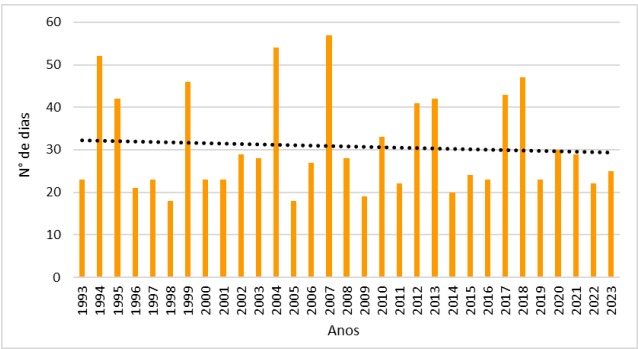


Figura 5. Número de dias consecutivos secos para Cerqueira César (SP). Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

A amplitude térmica mensal (Fig. 6) pode ser estudada com a turma, levando em consideração a escala numérica em graus Celsius (°C) (parte inferior do gráfico), os anos analisados (lateral esquerda do gráfico) e os meses do ano (parte superior do gráfico). A leitura deve ser feita com o objetivo de identificar padrões e sequências de amplitudes térmicas que possuem a mesma temperatura, atentando-se para padrões que podem se formar entre as estações do ano e entre os anos analisados para o período.

Anos	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1993	9.68	8.07	9.51	10.15	9.50	10.16	11.82	12.63	12.58	12.67	13.94	11.44
1994	10.59	9.39	10.94	10.78	10.35	11.69	13.33	15.83	17.59	13.06	13.16	10.88
1995	8.95	9.10	9.35	10.79	9.95	11.16	11.39	14.53	14.28	13.03	12.98	12.78
1996	10.21	9.93	9.37	10.05	10.06	10.71	12.97	15.19	12.90	12.91	12.39	10.67
1997	8.25	9.23	10.27	10.75	10.11	9.82	11.41	13.38	13.91	13.39	11.06	10.45
1998	10.62	8.75	9.03	10.05	10.38	10.66	11.49	11.10	12.40	11.43	13.14	11.21
1999	8.51	9.21	10.15	10.92	10.55	10.82	10.70	14.33	14.38	14.65	14.91	13.15
2000	11.24	9.99	9.97	12.72	12.49	12.84	14.57	14.77	12.28	14.32	12.18	11.28
2001	10.02	9.30	9.48	10.44	9.77	10.43	12.82	13.34	13.27	13.92	12.10	10.84
2002	9.56	10.46	10.61	10.90	9.98	12.15	12.26	13.53	14.08	15.54	11.27	11.18
2003	8.95	9.73	9.78	10.24	11.03	11.41	12.16	14.18	14.25	13.83	12.59	10.94
2004	10.99	10.73	11.20	9.81	9.77	10.53	10.39	14.24	16.08	12.13	12.20	11.26
2005	9.24	12.14	11.65	11.27	12.36	11.46	12.80	15.83	12.96	11.96	13.08	11.47
2006	10.20	10.17	10.02	11.65	12.51	12.46	14.56	16.44	14.73	13.23	13.45	9.87
2007	8.07	9.69	10.70	10.05	10.49	12.60	12.36	13.76	14.76	14.76	11.91	11.53
2008	10.02	9.79	9.93	9.63	10.62	10.75	13.54	13.21	14.03	11.90	12.25	14.12
2009	9.63	9.24	10.18	10.88	11.32	11.74	10.02	12.04	11.23	12.20	9.59	9.11
2010	7.61	9.58	9.34	9.88	10.16	11.73	11.58	15.09	14.59	13.66	14.33	10.91
2011	9.08	9.39	8.83	9.90	11.04	12.58	12.64	14.39	12.32	12.27	14.15	13.85
2012	10.55	11.37	12.79	11.66	10.37	9.76	12.02	14.31	15.70	14.26	13.72	10.63
2013	10.65	9.52	9.26	10.33	10.65	9.33	11.36	13.45	14.35	12.41	13.14	12.59
2014	11.11	12.43	10.27	10.12	11.38	11.74	12.22	15.33	14.25	16.28	12.55	10.31
2015	10.50	9.40	9.37	10.79	9.78	11.36	10.81	14.64	13.34	12.77	9.69	8.45
2016	9.31	8.41	9.42	11.08	9.56	11.01	12.63	12.73	13.67	12.28	12.34	10.89
2017	8.43	10.10	9.49	10.16	9.33	10.44	11.72	12.22	15.65	13.08	12.17	10.65
2018	9.19	10.33	9.04	10.66	11.01	10.62	13.97	12.95	13.48	11.43	11.46	12.37
2019	10.59	10.45	9.71	11.28	10.70	12.03	13.03	14.57	15.27	14.96	13.94	11.88
2020	12.13	10.57	12.67	14.39	14.30	11.32	14.13	13.68	16.28	15.39	15.10	12.04
2021	10.42	12.54	11.33	12.97	13.13	12.14	15.17	14.41	16.33	13.25	15.26	13.98
2022	10.70	11.35	9.92	11.75	12.26	11.69	14.03	13.25	13.18	12.63	13.69	11.49
2023	9.85	8.74	9.91	10.54	11.95	12.38	12.94	14.44	15.75	13.44	14.42	14.05
Legenda	7.00 a 9.99 °C			10.00 a 12.99 °C			13.00 a 15.99 °C			16.00 a +		

Figura 6. Amplitude térmica mensal para Cerqueira César (SP). Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

A precipitação acumulada (Fig. 7) pode ser interpretada levando em consideração que o eixo horizontal discrimina os anos da série histórica analisada e o eixo vertical esquerdo fornece a soma da quantidade em milímetros de chuva precipitada em cada ano. Há ainda a linha pontilhada preta que representa a tendência geral da série histórica, permitindo observar uma aparente tendência linear ao longo dos anos.

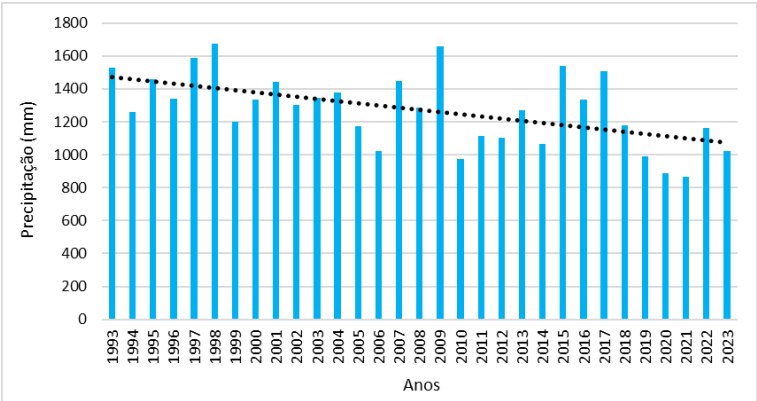


Figura 7. Precipitação acumulada para Cerqueira César (SP). Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

A contagem anual de dias com temperatura máxima diária maior que 25°C (Fig. 8) pode ser interpretada levando em consideração os anos no eixo horizontal e o número de dias em que o evento foi registrado, no eixo vertical esquerdo.

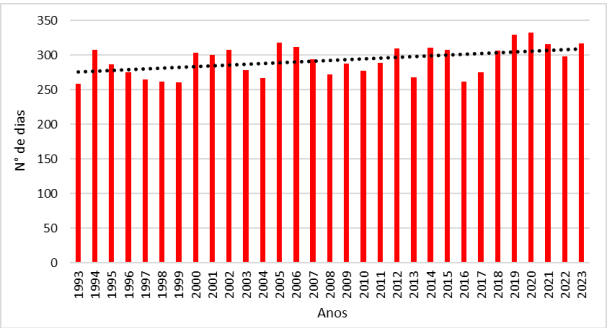


Figura 8. Contagem anual de dias com temperatura máxima diária > 25°C para Cerqueira César (SP). Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Por fim, o docente pode utilizar o Índice de Thom (Fig. 9) para trabalhar as questões relacionadas ao conforto térmico. O índice de Thom é um indicador biometeorológico desenvolvido por Earl C. Thom em 1959 para avaliar o impacto combinado da temperatura do ar e da umidade relativa sobre o conforto térmico humano e animal (Thom, 1959). Em termos práticos, esse índice ajuda os estudantes a compreender por que alguns dias parecem mais abafados e cansativos do que outros, mesmo quando as temperaturas são semelhantes. É uma ferramenta útil para relacionar o clima do dia a dia com o bem-estar e a saúde das pessoas.

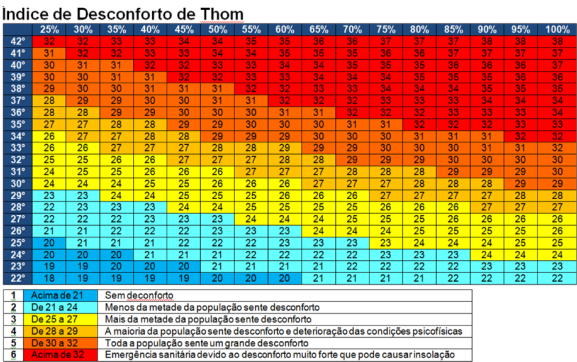


Figura 9. Índice de Desconforto de Thom. Fonte: Stuchi et al. (2019)

Os gráficos fornecidos permitem verificar que, nos dados extraídos do modelo climático, já é possível observar uma tendência de mudança no padrão das variáveis meteorológicas. Essas análises indicam que já é possível observar, atualmente, diminuição da precipitação, leve aumento das amplitudes térmicas e dos dias com temperaturas acima de 25°C. Esses dados ainda não são capazes de revelar mudanças climáticas, mas sim uma tendência na série histórica, ou seja, um indício de que o clima pode estar caminhando para novos padrões. Entretanto, vale ressaltar que tendência não é o mesmo que mudança: a tendência mostra um movimento momentâneo nos dados, enquanto a mudança climática só é reconhecida quando esse movimento se mantém por longos períodos e transforma de maneira duradoura o comportamento do clima. Esses dados, gráficos e discussões podem servir como importantes subsídios para o trabalho em sala de aula, favorecendo o diálogo entre diferentes disciplinas e a compreensão de temas como tendências, mudanças climáticas e eventos extremos, além de seus impactos locais na saúde, no bem-estar e no conforto térmico em Cerqueira César (SP). Ao final (etapas 4 e 5, Criar e Refletir, respectivamente), recomenda-se que, após as análises e discussões em sala de aula sobre o que os gráficos podem representar, o docente, sobretudo ao longo da etapa 5, percorra alguns questionamentos, no sentido de instigar e fomentar o pensamento crítico, visando à busca por soluções específicas para a realidade local. Seguem alguns exemplos que podem ser discutidos ao pensar na construção do protótipo:

- Você já presenciou algum evento climático extremo em sua cidade? Como foi a resposta das autoridades e da população?
- Quais infraestruturas (estradas, prédios, sistemas de esgoto, eletricidade) que você considera que seriam as mais afetadas em caso de um evento climático extremo?
- Que medidas preventivas poderiam ser adotadas pela sua cidade para lidar com eventos climáticos extremos?
- Como os cidadãos, incluindo você e sua família, poderiam se preparar para enfrentar um evento climático extremo?
- Que tecnologias ou inovações poderiam ajudar sua cidade a se tornar mais resiliente a eventos climáticos extremos?

- Você se sente confortável, do ponto de vista térmico, em todos os ambientes que frequenta?
- Em sua casa ou escola, existe um ambiente que é termicamente desconfortável? Quais seriam as razões para isso? Seria possível alguma alteração no mesmo para torná-lo mais confortável? Quais?

Considerações Finais

A proposta apresentada neste Capítulo, no campo da Educação em Mudanças Climáticas, mostra que o uso de dados climáticos locais como recurso pedagógico é uma estratégia potente para aproximar o ensino de mudanças climáticas da realidade dos estudantes. Ao se trabalhar com índices climáticos específicos de Cerqueira César (SP), foi possível não apenas explorar conceitos de Climatologia e eventos extremos, mas também instigar a reflexão crítica sobre seus impactos sociais, ambientais e econômicos. A sequência didática apresentada buscou articular teoria e prática, integrando múltiplas áreas do conhecimento e fortalecendo competências previstas na BNCC, especialmente aquelas relacionadas a análise de dados, interpretação de gráficos e proposição de soluções para problemas reais. Além disso, propostas de ensino e aprendizagem centradas no estudante ampliam o potencial interdisciplinar, permitindo que conceitos de Geografia dialoguem com Matemática, Ciências da Natureza e Ciências Humanas.

A principal contribuição da proposta está na adaptabilidade: embora tenha sido concebida para a realidade de um município específico, a metodologia pode ser replicada em diferentes contextos, bastando que se substituam os dados climáticos pela série histórica local. A flexibilidade permite que cada escola desenvolva materiais personalizados, capazes de gerar maior engajamento discente e relevância social. Por fim, em um cenário global de intensificação de eventos climáticos extremos, formar estudantes capazes de compreender, interpretar e agir frente a esses fenômenos é um compromisso urgente da Educação Básica.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por bolsa concedida a Daniela Resende de Faria (Proc. 143397/2022-2).

Referências

- Bacich, L., & Moran, J. (2018). *Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática*. Porto Alegre: Penso Ed.
- Bacich, L., Tanzi Neto, A. & Trevisani, F. M. (Orgs). (2015). *Ensino Híbrido: personalização e tecnologia na educação*. Porto Alegre: Penso.
- Basu, O., Isabelle, D., & Pineau, S. (2024). Climate change and societal transformation: a cohort-based international experiential learning program with an interdisciplinary focus on environmental education for graduate students. *Environmental Education Research*, 1-23. DOI: <https://doi.org/10.1080/13504622.2024.2390627>.
- Bender, W.N. (2014). *Aprendizagem baseada em projetos*. Educação diferenciada para o século XXI. Porto Alegre: Penso.
- Boudett, K.P., City, E.A & Murnane, R.J (Orgs). (2020). *Data Wise: guia para uso de evidências na educação*. Porto Alegre: Penso.
- Brasil. (2017). *Base Nacional Comum Curricular. Educação é a Base*. Brasília, MEC/Consed/Undime. 600p. URL: <https://bit.ly/4eH80A6>. Acesso 11.11.2025.
- Brumann, S., Ohl, U. & Schulz, J. (2022). Inquiry-Based Learning on Climate Change in Upper Secondary Education: A Design-Based Approach. *Sustainability*. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14063544>.
- Camargo, F. & Daros, T. (2018). *A sala de aula inovadora: estratégias pedagógicas para fomentar o aprendizado ativo*. Porto Alegre: Penso.
- Choudhury, M., & Wu, H. (2023). Disaster Education in the context of postsecondary education: a systematic literature review. *Natural Hazards Review*, 24(3), 04023028. DOI: <https://doi.org/10.1061/NHREFO.NHENG-1778>.
- Dewey, J. (2023). *Experiência e educação*. Rio de Janeiro: Ed. Vozes.
- Eilam, E. (2022): Climate change education: the problem with walking away from disciplines. *Studies in Science Education*, 2022, 58(2), 231-264. DOI: <https://doi.org/10.1080/03057267.2021.2011589>.
- Faria, D. R. de. (2025). *A educação em mudanças climáticas no contexto da educação básica brasileira: um estudo sobre a percepção docente frente aos desafios da atual emergência climática*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto de Geociências. (Tese Dout.). DOI: <https://doi.org/10.25824/redu/5GESOA>.
- Faria, D. R. de. (2025). *Uso de dados climáticos como recursos didático-pedagógicos*. Quick Rubric. URL: <https://www.quickrubric.com/r#/qr/danielaresende/uso-de-dados-climaticos-como-recursos-didatico-pedagogicos> Acesso 11.11.2025.
- Garofalo, D. (2019). *Como levar o STEAM para a sala de aula*. Nova Escola. Publ. 25.06.2019. URL: <https://novaescola.org.br/conteudo/18021/como-levar-o-steam-para-a-sala-de-aula> Acesso 11.11.2025.

- Hattie, J. (2017) *Aprendizagem visível para professores: como maximizar o impacto da aprendizagem*. Porto Alegre: Penso.
- Hattie, J. & Zierer, K. (2019). *10 princípios para a aprendizagem visível*. Educar para o sucesso. Porto Alegre: Penso.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2018). *IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels*. Genebra, Suíça: IPCC. URL: <https://www.ipcc.ch/sr15/>. Acesso 23.09.2025.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2023). *AR6. Press Release: Climate change widespread, rapid, and intensifying*. Genebra, Suíça: IPCC. URL: <https://www.ipcc.ch/2021/08/09/ar6-wg1-20210809-pr>. Acesso 23.09.2025
- Karpudewan, M., & Khan, N. (2017). Experiential-based climate change education: fostering students' knowledge and motivation towards the environment. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 26, 207-222. DOI: <https://doi.org/10.1080/10382046.2017.1330037>.
- McPhillips, L. E., Chang, H., Chester, M. V., Depietri, Y., Friedman, E., Grimm, N. B., Kominoski, J. S., Mcphearson, T., Méndez-Lázaro, P., Rosi, E. J., & Shiva, J. S. (2018). *Defining Extreme Events: A Cross-Disciplinary Review*. *Earth's Future*, 6(6), 771-785. DOI: <https://doi.org/10.1002/2017EF000686>.
- Monroe, M. C., Plate, R. R., Oxarart, A. Bowers, A. & Chaves, W. A. (2019). Identifying effective Climate Change Education strategies: a systematic review of the research. *Environmental Education Research*, 25(6), 791-812. DOI: <https://doi.org/10.1080/13504622.2017.1360842>.
- Mudelsee, M. (2019). Trend analysis of climate time series: A review of methods. *Earth-Science Reviews*, 190, 310-322. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.12.005>.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (s.d.). *Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER)*. Hampton: NASA Langley Research Center. URL: <https://power.larc.nasa.gov/>. Acesso 05.11.2025.
- Neves, D. C. (2025). Educação para os riscos climáticos: uma experiência de aprendizagem na geografia escolar. In: Carneiro, C. D. R. (Org.), & Santos, G. C. (Ed. Técnico). (2025). *Explorando a Terra na Educação Básica, v. 3*. Campinas: Progr. Pós-Grad. Ensino e História de Ciências da Terra, Universidade Estadual de Campinas. p. 165-190. (Série Ciências da Terra na Educação Básica).
- Observatório de Educação. (2022). *Rubricas: o que são e como usar na avaliação formativa*. Instituto Unibanco. Observatório de Educação. URL: <https://observatoriodeeducacao.institutounibanco.org.br>. Acesso 23.10.2025.

- Oliveira, B. V. de., Coltri, P. P., & Faria, D.R de. (2022). *Percepção de risco e prevenção de movimentos de massa: uma proposta de percurso didático para o ensino médio regido pelo movimento STEAM*. In: Congresso Brasileiro de Profissionais de Geociências (II Progeo). Belo Horizonte, MG: Federação Brasileira de Geólogos. v. 1. p. 26-26. ISBN: 978-65-993923-8-2. URL: <https://schenautomacao.com.br/progeo/anaais/trabalhos.php>. Acesso 23.10.2025.
- Parey, S., Malek, F., Laurent, C., & Dacunha-Castelle, D. (2007). Trends and climate evolution: statistical approach for very high temperatures in France. *Climatic Change*, 81, 331-352. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9116-4>.
- Porter, D., Cox, R., & Forssman, V. (2024). Designing agile pathways for climate adaptation skill development. *The Open/Technology in Education, Society, and Scholarship Association Journal*. DOI: <https://doi.org/10.18357/otessaj.2023.3.2.52>.
- Salovaara, J., Vesterinen, V., & Siponen, J. (2025). Envisioning educational pathways for climate change competencies: Insights from a Delphi study. *The Journal of Environmental Education*, 56, 195-207. DOI: <https://doi.org/10.1080/00958964.2025.2471966>.
- Shulman, L. S. (2015). Conhecimento e ensino: fundamentos para a nova reforma. *Cadernos Cenpec | Nova série*, 4(2). DOI: <http://dx.doi.org/10.18676/cadernoscenpec.v4i2.293>.
- Stevenson, R. B., Nicholls, J. & Whitehouse, H. (2017). What is climate change education? *Curriculum Perspectives*, 37(1), 67-71. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41297-017-0015-9>.
- Stuchi, A. M., Santos, F. J. S., Siqueira, M., Baptista, A. C., & Carvalho, T. (2019). Monitorando a temperatura e a umidade da sala de aula com Arduino: uma experiência no formato de oficina do PIBID-Física numa escola pública estadual em Ilhéus/BA. *Revista do Professor de Física*, 3(1), 121-132. DOI: <http://dx.doi.org/10.26512/rpf.v3i1.19440>.
- Tabor, L., & Harrington, J. (2023). Teaching about Local Climates, Global Climate, and Climatic Change. *Journal of Geography*, 122, 155-162. DOI: <https://doi.org/10.1080/00221341.2023.2284390>
- Thom, E. C. (1959). The Discomfort Index. *Weatherwise*, 12(2), 57-61. DOI: <https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>.
- Torres, G.A.L, São Jose, R. V., Zizzo, L. V., Oliveira, J. P., & Coltri, P. P. (2020). Ensino de climatologia a partir do livro didático: perspectivas e propostas alinhadas à climatologia geográfica. *Revista Brasileira de Climatologia*, 27, 539-565. URL: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/14284/7526>. Acesso 18.11.2025.
- Trott, C., & Weinberg, A. (2020). Science Education for Sustainability:

- Strengthening Children's Science Engagement through Climate Change Learning and Action. *Sustainability* 12(16), 6400. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12166400>.
- Wolf, E. (2022). Solucionar para aprender: metodologia STEAM ganha adesão nas escolas. *Educação em Pauta*. Publ. 26.10.2022 às 07:00. URL: <https://sinepe-rs.org.br/educacaoempauta/gestao/solucionar-para-aprender-metodologia-steam-ganha-adesao-nas-escolas/> Acesso 23.10.2025.
- Zabala, A. (1998) *A prática educativa: como ensinar*. Porto Alegre: ArtMed.
- Zhang, X., & Yang, F. (2004). *RClimDex (1.0) user manual*. Downsview, Ontario, Canada: Climate Research Branch Environment Canada. Publ. 10.09.2004. URL: rcc.acmad.org/procedure/RClimDexUserManual.pdf. Acesso 23.10.2025.

Autores (Vol.3)

AILINA TIEMI ASANO OSHIRO

Email: ailinatiemi@usp.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6371876190996327>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0178-176>

Estudante de graduação em Gestão Ambiental pela Universidade de São Paulo (USP). Em formação.

ANDRÉ LOPES DE SOUZA

Email: souzalandre1@gmail.com

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/8010933134044677>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1006-5913>

Geógrafo pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) (2013), Especialista em Educação Básica - Ensino de Geografia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) (2016), atuou até 2024 como geógrafo na Base Territorial Censitária do IBGE, participando da coordenação da revisão conceitual e metodológica dos setores censitários para o Censo 2022 nos temas: urbano e rural, territórios tradicionais e áreas protegidas.

ARIEL MARTINE MILANE

Email: arielmilanimartine@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9750672408218298>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0278-430X>

Graduado em Ciências Biológicas pela Universidade do Grande ABC (2005), mestrado em Geociências pela Universidade Estadual de Campinas (2014) e doutorado em Ciências pela Universidade Estadual de Campinas (2018). Atualmente é professor de Paleontologia na Universidade Estadual do Norte do Paraná. Tem interesse em Paleontologia de vertebrados, Paleontologia de invertebrados e Paleobotânica.

BRUNO BELILA RUSINELLI

Email: brunorusinelli@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1173398481444683>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5725-6504>

Possui graduação em Geologia pela Universidade Estadual de Campinas. Mestre em Geociências pelo Instituto de Geociências (UNICAMP) (2024). Doutorando em Geociências pelo Programa de Pós-Graduação no Instituto de Geociências UNICAMP, com foco em Paleontologia e Geologia de Hidrocarbonetos.

CELSO DAL RÉ CARNEIRO

Email: cedrec@unicamp.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3935044124763265>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9072-6598>

Geólogo (1972), Mestre (1977) e Doutor (1984) pelo Instituto de Geociências USP; Livre Docente nas áreas de Ciências da Terra e Comunicação em Geociências pelo Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) (2010). Membro Associado da Academia Brasileira de Ciências desde 1995. Recebeu da Sociedade Brasileira de Geologia os prêmios *Martelo de Prata* (1982) e *Medalha de Ouro Henry Gorceix* (2008). Foi professor do Instituto de Geociências USP e pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), tendo coordenado a Divisão de Geologia e Recursos Minerais (1989-1992). Está vinculado à Unicamp desde 1986, tendo assumido as funções de Professor Associado II em 2014. É Editor-Chefe de *Terra Didática*, tendo sido editor-chefe da *Revista Brasileira de Geociências* (1983-1989). Aposentou-se em abril de 2017, mas continua a atuar junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino e História de Ciências da Terra, que coordenou entre 2013-2017. Orienta alunos de graduação e pós-graduação, com os quais desenvolve pesquisas em Geologia Estrutural, Tectônica, Educação, História e Comunicação em Ciências da Terra. Coordena há mais de 20 anos a linha de pesquisa denominada “Projeto Geo-Escola”, que desenvolve recursos computacionais e materiais didáticos de apoio ao ensino de Geociências na educação básica. Nos últimos anos, tem desenvolvido pesquisas para aprimorar a comunicação visual, nos campos da Visualização e Representação Tridimensional em Geociências, a partir de produtos cartográficos como mapas, modelos de bacias sedimentares e outros recursos digitais. É um dos autores do livro *Água subterrânea, história da Terra e consciência ambiental: metas do Programa Aquífero Guarani*, que obteve em 2025 o 1º Lugar do *Prêmio Jabuti Acadêmico*, no Eixo Ciência e Cultura, Geografia e Geociências, da Câmara Brasileira do Livro.

CLARA VASCONCELOSEmail: cvascon@fc.up.ptCiencia Vitae: <https://www.cienciavitae.pt/3313-76C3-8F08>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4524-9788>

Professora associada com agregação na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto e investigadora no Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental (CIIMAR). Neste centro, coordena o grupo e a equipa de investigação de Inovação Social e Educacional (SEI) e desenvolve diversas atividades na área da Educação. O seu percurso académico começou com a licenciatura em Geologia, com especialização em Educação (profissionalização em ensino de Biologia e Geologia), pela Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Prosseguiu a sua formação com um Mestrado em Educação e obteve o doutoramento em Educação, com especialização em Psicologia, pela Universidade do Minho. A sua agregação foi realizada na área de Didática das Ciências. A sua principal área de interesse centra-se nas metodologias de ensino, particularmente na Aprendizagem Baseada em Problemas, que estudou na Wake Forest University, na Carolina do Sul, EUA. A sua investigação e atividade docente incidem sobretudo nos domínios da Educação em Biociências e Geociências, Educação Ambiental e Comunicação Científica.

DANIELA RESENDE DE FARIAEmail: dresende7676@yahoo.com.brLattes: <http://lattes.cnpq.br/5783056510367806>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5845-2825>

Geógrafa (Licenciada, UNESP, Rio Claro, SP), Mestre em Ensino e História de Ciências da Terra pelo Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e Doutora em Ciências, pelo mesmo programa. Pesquisadora do laboratório de Educação em Mudanças Climáticas do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (Cepagri/UNICAMP). Professora de Geografia da Educação Básica por 30 anos. Atualmente é Pesquisadora de Pós-Doutorado (Bolsista FAPESP), desenvolvendo pesquisas na área de Educação e difusão científica em mudanças climáticas, associada o Laboratório de Estudos Urbanos (Laberurb), ao Núcleo de Desenvolvimento da Criatividade (Nudecri) e ao Brazilian Institute of Data Sciences (BIOS), todos vinculados à UNICAMP.

DARLAN DA CONCEIÇÃO NEVES

Email: dneves1987@gmail.com

Email: darlan.geo@hotmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2349283982078834>

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5917-4169>

Doutor em Geografia (2023), Mestre em Ensino e História de Ciências da Terra (2018) pelo Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e Licenciado em Geografia (2015) pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). É professor de geografia da rede municipal de ensino de São Paulo desde 2018. É membro dos grupos de pesquisa Geociências e Sociedade (UNICAMP) e Círculo de Bakhtin em Diálogo (UEPB). É revisor científico dos periódicos *Tamoios* (UERJ), *Ensinos de Geografia* (UFF), *Terra Livre* (USP). Tem interesse em temas como mudanças climáticas no ensino de Geografia, análise dialógica do discurso, Educação Ambiental, relações étnico-raciais formação de professores e metodologias para o ensino de Geografia.

ELEN CRISTINA FAHT

Email: elenfaht@usp.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3660479392104110>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1616-1154>

Possui Mestrado pelo Programa Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo (2011), Especialização, na modalidade EaD, em Educação Ambiental (2006) pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial (Senac) de Florianópolis (SC) e Graduação Licenciatura e Bacharelado em Ciências Biológicas (2003) pela Fundação Universidade Regional de Blumenau. Atua como educadora do curso de Licenciatura em Ciências Naturais e do Espaço Ciência Cultura e Educação da Escola de Artes Ciências e Humanidades (EACH) da Universidade de São Paulo (USP), desde 2010 até o momento. Atuou como bolsista-educadora no curso de Licenciatura em Geociências e Educação Ambiental do Instituto de Geociências (IGc) da USP entre 2009 e 2010. Atuou como tutora no curso de Especialização em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo, na modalidade à distância, no projeto intitulado *Redefor-Programa Rede de Formação Docente* nos anos de 2010 e 2011. Atuou como professora no ensino regular do Ensino Fundamental 2, Ensino Médio e na Educação de Jovens e Adultos (EJA) da rede pública municipal e estadual em Blumenau (SC) entre 2003 e 2007.

ELISABETE DE ARAÚJO RODRIGUES

Email: betearaujo@usp.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4723551889692838>ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1480-1070>

Estudante de Gestão Ambiental na Universidade de São Paulo (USP). Foi integrante do Programa Unificado de Bolsa (PUB) pela USP com o Espaço Ciência, Cultura e Educação da Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH) da Universidade de São Paulo (USP), onde colaborou para o desenvolvimento de atividades de pesquisa e extensão da divulgação da Ciência de uma forma mais inclusiva, desenvolvendo materiais pedagógicos para a educação formal e não formal.

FABIANA CURTOPASSI PIOKER-HARAEmail: fpioker@gmail.com fpioker@usp.brLattes: <http://lattes.cnpq.br/9805254088757695>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8739-4599>

Fabiana é bióloga de formação, com doutorado em ecologia. É professora permanente do Programa de Pós-Graduação de Ensino e História das Ciências da Terra UNICAMP, com mais de 13 anos de experiência como educadora na Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH) da Universidade de São Paulo (USP). Atua junto ao curso de Licenciatura em Ciências da Natureza e ao Espaço Ciência, Cultura e Educação da EACH (ECCE), onde trabalha no desenvolvimento de recursos didáticos e na divulgação científica junto ao público escolar. Vem pesquisando e orientando pesquisas, dentre outras, focadas no ensino inclusivo de ciências. Ministrou a disciplina de pós-graduação *Ensino de Ciências da Terra em uma perspectiva inclusiva* em conjunto com a professora Rosely Imbernon, com quem desenvolve, junto ao ECCE, recursos acessíveis para o ensino das Ciências da Terra.

FERNANDO FLÁVIO MARQUES DE ALMEIDA (OBRA PÓSTUMA) [1916-2013]

Membro da Academia Brasileira de Ciências e um dos mais respeitados geólogos do país, nasceu no Rio de Janeiro em 1916. Desenvolveu brilhante carreira acadêmica na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, após graduar-se em Engenharia Civil (1939), tendo assumido a Cátedra em Mineralogia, Petrografia e Geologia, por concurso realizado em 1962. Sua tese de Livre-Docência focalizou a Geologia e Petrologia do Arquipélago de Fernando de Noronha. Aposentou-se pela Escola Politécnica da USP em 1974. Atuou junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral.

Entre 1974 e 1978 foi docente do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Em 1978 ingressou no Instituto de Pesquisas Tecnológicas, até aposentar-se em 1995. Em sua longa vida profissional percorreu o País, publicou 238 trabalhos científicos sobre vários temas das Geociências e capítulos de livros, no Brasil e exterior, além de 12 artigos de divulgação científica e tecnológica. Foi fundador e editor-chefe da *Revista Brasileira de Geociências* (1971-1975). As distinções recebidas incluem: *Prêmio José Bonifácio de Andrada e Silva*, medalha de ouro conferida pela Sociedade Brasileira de Geologia (1963). Prêmio Almirante Álvaro Alberto para a Ciência e Tecnologia, conferido em 1986 pelo Ministro da Ciência e Tecnologia, em conformidade com o CNPq, pela relevante contribuição na área de Ciências da Terra. Vice-Presidente da *Société Géologique de France* (1971-1972), Vice-Presidente da *International Union of Geological Sciences* (1980-1982). Doutor Honoris Causa pela Universidade Estadual de Campinas (1991) e Medalha de Mérito do Conselho Federal de Engenharia e Arquitetura (1995). Homenageado em 2004 com a criação da Medalha de Ouro Fernando Flávio Marques de Almeida pela Sociedade Brasileira de Geologia, a ser entregue no Congresso Brasileiro de Geologia ao autor do melhor trabalho em Geociências publicado no país nos últimos dois anos. Título de Professor Emérito concedido em 2006 pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

FRESIA RICARDI-BRANCO

Email: fresia@unicamp.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3124753907036602>

ORCiD: <https://orcid.org/0000-0003-1004-013X>

Professora do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Desenvolve pesquisas em várias áreas da Paleontologia. Pesquisa tópicos como tafonomia de vegetais (floras recentes e fósseis), bioclastos de carbonato e diagênese de fósseis (vertebrados e plantas). No Quaternário, desenvolve estudos palinológicos. Atualmente, realiza pesquisas sobre *Microbial Induced Sedimentary Structures* (MISS) associadas a icnofósseis. Outro campo de pesquisa que vem explorando nos últimos anos é o uso de metodologias estatísticas na amostragem e análise de dados de fósseis. No campo da divulgação da Paleontologia as pesquisas são focadas na produção de material didático de qualidade para a divulgação da riqueza fóssil do Brasil e da variedade da vida que foi registrada na forma de fóssil. Para desenvolver as pesquisas conta com a colaboração de alunos de graduação e pós-graduação, bem como de colegas de paleontólogos e de outras áreas afins. Desde 2000 faz parte do corpo docente da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) onde tem lecionado a disciplina de Paleontologia para os cursos de Geologia e Ciências biológicas, sozinha ou em colaboração. Também leciona e orienta nos programas de pós-graduação de Geociências e de Ensino e História de Ciências da Terra do IG-Unicamp.

GUILHERME ALMUSSA LEITE TORRES

Email: guialmussa@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7548756488458522>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7388-2508>

Graduado em Geografia pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas, 2020). Mestre em Geografia pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP, 2022). Atualmente é doutorando em Geografia na UNICAMP, tendo realizado parte dos estudos da tese na Université Rennes 2 (França), pesquisando sobre variabilidade e tendências climáticas em regiões tropicais sob diferentes cenários de mudanças climáticas. Atua em projetos vinculados ao Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (Cepagri/UNICAMP), com experiência em análise de séries temporais, modelagem estatística de dados climáticos, construção de índices compostos de vulnerabilidade e avaliação de impactos climáticos em sistemas agroambientais.

HERMOM REIS SILVA

Email: h264268@dac.unicamp.br

Pós-Doutorando na USP, pesquisa em geoética com professores, Doutor pelo programa de Ensino e História de Ciências da Terra do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), na modalidade direta, concluído em 2024, graduação em Licenciatura em Ciências da Natureza pela Universidade de São Paulo (2010). Especialização em Mídias e Ensino a distância, EAD, pela Universidade Virtual do Estado de São Paulo (UNIVESP), em 2025. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geociências, atuando principalmente nos seguintes temas: educação, solo, geoética, ensino e aprendizagem em educação ambiental. É professor de Ciências da Natureza para o Ensino Fundamental II e do Curso Técnico em Farmácia na E. E. Francisco de Paula Conceição Jr., Regional de Ensino Sul-1, São Paulo.

JOAO GABRIEL MYASHIRO

Email: jmiyashiro0803@gmail.com

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/5280691205498410>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9858-8268>

Estudante de graduação em Geologia pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Em formação. Foi bolsista no Programa Institucional de Iniciação Científica (PIBIC).

MARCILENE DOS SANTOS

Email: marcilene.santos@unesp.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8695585354475745>

ORCiD: <https://orcid.org/0000-0002-4883-1511>

Professora da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de Ourinhos; professora colaboradora do PPG em Geociências do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e permanente do PPG de Mestrado Profissional em Geografia da FCT Unesp. Geóloga pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), mestre com distinção e doutora com distinção e louvor em Geociências (IGCE UNESP, Rio Claro). Membro do grupo de pesquisa CNPq *O Solo como registro de mudanças ambientais* da Esalq-USP e Coorganizadora do *DELTA H Encontro Científico em Evolução de Paisagens*, apoiado pelo Instituto Serrapilheira. Como pesquisadora, os principais temas de interesse são: Geomorfologia Tectônica; Evolução de Paisagem; O Mesozoico da Bacia do Paraná; Bacias Sedimentares Cenozoicas; Dinâmica e reorganização de bacias hidrográficas; *Landslides* e capturas de rios; Estudos do Quaternário; Geomorfologia Quantitativa; Geodiversidade, Geoturismo e Geoeducação. Pesquisadora colaboradora em projetos de pesquisa junto às seguintes instituições: UNESP, UFMG, Esalq-USP (PPG em Solos e Nutrição de Plantas), à CUNY (EUA) e ao IG-UNICAMP.

MELINA MARA DE SOUZA

Email: melina.souza@ifsuldeminas.edu.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4598412730460005>

ORCiD: <https://orcid.org/0000-0002-4816-3752>

Possui graduação em Geografia pela Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (2006), Mestre (2010) e Doutora (2014) em Geociências pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), pelo Departamento de Geologia e Recursos Naturais, Instituto de Geociências. Tem experiência na área de Geociências/Geografia, com ênfase em Paleontologia e Reconstituição Paleoambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: palinologia, paleobotânica, paleovegetações, paleoincêndios e geografia física e práticas de ensino em Geociências. Atualmente é Coordenadora do curso de Licenciatura em Geografia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (Ifsuldeminas), Poços de Caldas (MG) e Coordenadora de área do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID) em Geografia da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). É professora do Curso de Licenciatura em Geografia, Licenciatura em Biologia e Tecnologia em Gestão Ambiental no Ifsuldeminas, Campus Poços de Caldas (MG).

PÁBULO MATHEUS DOMIZIANOEmail: p203639@dac.unicamp.brLattes: <http://lattes.cnpq.br/9614111483675699>ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9070-5598>

Possui graduação em Ciências Biológicas (licenciatura) pela Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP) e mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Geociências pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) com ênfase em Paleontologia. Atualmente é doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Geociências na mesma universidade. Foi bolsista nos programas institucionais Programa de Extensão (PIBEX) e Programa de Iniciação Científica (PIBIC), ambos financiados pela Fundação Araucária. Participou como voluntário do Projeto de Extensão de Estruturação do Acervo Biológico do Laboratório de Zoologia da Universidade Estadual do Norte do Paraná.

PAULO GOMES VARELLAEmail: ceuaaustral@gmail.comLattes: <http://lattes.cnpq.br/3634359302208181>ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5279-9800>

Geólogo pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo e pós-graduado em Astronomia pelo Núcleo de Astrofísica Teórica da Universidade Cruzeiro do Sul. Professor aposentado de Astronomia e Ciências da Terra do Planetário e Escola Municipal de Astrofísica de São Paulo, onde chefiou o Observatório Astronômico da Escola, de 1991 a 2002. Autor do livro *Reconhecimento do Céu*, de cartas celestes e coautor do *Guia prático de observação de estrelas e constelações* e do *Guia prático de observação de chuvas de meteoros*. Membro da Sociedade Astronômica Brasileira (SAB).

PEDRO WAGNER GONÇALVESEmail: pedrog@unicamp.brLattes: <http://lattes.cnpq.br/0287343325100831>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6151-0926>

Graduado em Geologia pela Universidade de São Paulo (1982), Mestre em Educação pela Universidade Estadual de Campinas (1989), Doutor em Filosofia pela Universidade Estadual de Campinas (1997), Livre Docente pelo Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (2011). Pesquisa a área interdisciplinar que cruza Ensino de Geologia, História da Ciência e Formação de Professores. Tópicos principais de Pesquisa: James Hutton (1726-1797), formação continuada de professores e Ciência,

tecnologia e Sociedade. Defende que o conhecimento geológico é parte relevante da alfabetização científica para formar cidadãos na sociedade tecnológica. Atualmente é professor do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas.

PRISCILA PEREIRA COLTRI

Email: pcoltri@cpa.unicamp.br

Lattes: Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7282763701085219>

ORCID: <https://orcid.org/https://orcid.org/0000-0002-0807-3410>

Engenharia Agrônoma pela Universidade de São Paulo, Licenciada em Ciências Agrárias também pela USP. Doutora pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), com período sanduíche na Universidade de Rennes 2, França. Pós-Doutorado no «Le Laboratoire des Sciences du Climat et l'Environnement (LSCE)», França. Professor Permanente do Programa de Pós-Graduação em Ensino e História de Ciências da Terra (EHCT), do Instituto de Geociências (IG/UNICAMP) e do Programa de Pós-Graduação Multinidades em Ensino de Ciências e Matemática (PECIM). Pesquisadora do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (Cepagri/UNICAMP) e Coordenadora do Laboratório de Ensino em Clima (LbEduc/Cepagri/UNICAMP). Atua principalmente nas seguintes linhas de pesquisa: Agrometeorologia e Modelagem; Mudanças Climáticas; Climatologia aplicada, Educação e Comunicação em Climatologia e Mudanças Climáticas.

ROGÉRIO PIMENTA

Email: pepper@usp.br

Lattes <http://lattes.cnpq.br/4530167240000383>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8207-1213>

Bacharel em Comunicação Social com habilitação em Rádio e TV pela Universidade São Judas Tadeu (1996) e habilitado nas Artes Cênicas, como ator desde 2005. Atua na área de Arte Educativa dos Serviços Técnicos dos Laboratórios da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH-USP) elaborando elementos didáticos aplicados à educação. Coordenador das atividades teatrais no Programa USP60+ da EACH-USP, em que se desenvolvem e discutem-se cenas relacionadas ao tema: *Relações sociais e familiares na velhice e idadismo*, além de oferecer aulas livres de teatro para mais 3 turmas do USP60+. Diretor e fundador do Grupo Teatral Espalhafatos desde 1999.

RONALDO BARBOSA

Email: professor.ronaldobarbosa@gmail.com.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5415273301691472>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8320-5957>

Ronaldo Barbosa é Engenheiro de Computação, com Mestrado e Doutorado em Ciências, todos obtidos junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino e História de Ciências da Terra da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Atualmente, é Professor Colaborador do Instituto de Geociências da Unicamp e docente em instituições renomadas como Ibmecc-SP e Faculdade Belas Artes. Sua pesquisa concentra-se na vanguarda da Educação e Tecnologia, explorando metodologias de ensino inovadoras e Educação a Distância (EAD). O autor também dedica especial apreço e atenção ao crucial trabalho dos professores na educação básica.

ROSELY APARECIDA LIGUORI IMBERNON

Email: imbernon@usp.br

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/5609320945313608>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7886-1658>

Professora Associada nível 3 da Universidade de São Paulo, orientadora no Programa de Pós Graduação em Ensino e História das Ciências da Terra, da UNICAMP, orientadora no Programa de Pós Graduação em Mudança Social e Participação Política da Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH) da USP. Docente em regime de tempo integral à docência e pesquisa (RDIDP) na EACH-USP junto à Licenciatura em Ciências da Natureza, Bacharelado em Biotecnologia, coordenadora do Espaço Ciência, Cultura e Educação da EACH (ECCE), onde desenvolve atividades de pesquisa e extensão de divulgação e popularização da Ciência, desenvolvimento de recursos didáticos para a educação formal e não formal. Membro da Comissão de Geociências na Educação Básica e da Comissão de Geoética da Sociedade Brasileira de Geologia (SBG).

TIAGO RIBEIRO

Email: tribeiro@fc.up.pt

CiênciaVita: <https://www.cienciavita.pt/4817-6948-E8B0>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7755-9281>

Tiago Ribeiro é Professor Auxiliar Convocado na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP). Obteve o seu doutoramento em Ensino e Divulgação em Ciências (especialidade em Ensino em Ciências) (2023) pela FCUP, com a tese *Abordar o Sistema Terra numa Perspetiva Geoética: Da Ciência Cidadã à Educação em Ciências*, financiada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT). A sua formação académica inclui um Mestrado em

Ensino de Biologia e de Geologia (2018) e uma licenciatura em Biologia (com formação complementar em Geologia) (2016) pela FCUP. Participa em diversas organizações académicas profissionais, sendo: Secretário (2022-) da Organização Internacional de Educação em Geociências, Embaixador Júnior Português (2020-) da Rede Universal de Educação e Investigação Científica e Membro Associado (2023-) da Comissão de Educação em Geociências da IUGS. Tem interesse no desenvolvimento profissional e concluiu programas de especialização, incluindo cursos de Análise de Dados Qualitativos com NVivo (2024) e Estatística e Análise de Dados com SPSS (2021). Também concluiu um curso acreditado intitulado Envelhecimento, Mudanças Climáticas e Cidadania (2020), oferecido pela European University Alliance for Global Health (EUGLOH). Além de sua função como Professor Convidado, Tiago dedica-se como Docente Convidado na Universidade Sénior de Santa Maria da Feira (desde 2022). Participou de diversas atividades, incluindo a mentoria de alunos do programa Universidade Júnior da Universidade do Porto (2017-2023) e a autoria do manual escolar *ComVida 9* para o 9º ano (2023) do 3.º Ciclo do Ensino Básico. Além disso, Tiago contribuiu como Investigador em dois projetos internacionais, incluindo um projeto Erasmus+. Tiago investiga como Co-Investigador Principal do Grupo de Inovação Social e Educacional (SEI) do CIIMAR. Seus interesses de investigação abrangem a educação em contextos formais, não formais e ao longo da vida, visando fomentar a inovação e o impacto social na Educação em Ciências, abordando desafios contemporâneos e promovendo ambientes de aprendizagem inclusivos e acessíveis para públicos diversos.