

Ciência do Sistema Terra em cursos de ensino universitário

Celso Dal Ré Carneiro¹ e Pedro Wagner Gonçalves²

Universidade Estadual de Campinas, Brasil ¹ cedrec@unicamp.br ORCID:
<http://orcid.org/0000-0001-6151-0926>. ² pedrog@unicamp.br ORCID:
<http://orcid.org/0000-0002-9072-6598>.

Resumo: Ciência do Sistema Terra (CST) é um campo interdisciplinar de pesquisa sobre a interação sistêmica das esferas materiais que controlam a evolução da terra. Este artigo analisa a necessidade de inserção de conceitos sobre herança geológica, apoiados na visão sistêmica de Ciência do Sistema Terra, em cursos de graduação. Disciplinas de Geologia Introdutória em cursos universitários de Geologia, Geografia, Biologia e Engenharia, outrora restritas à *descrição* de temas puramente geológicos, gradualmente apropriaram-se da *interação* de processos que envolvem as esferas materiais terrestres: estrutura interna do planeta (geosfera), hidrosfera, atmosfera, biosfera, pedosfera, criosfera, noosfera (esfera social) e espaço estelar. Reconhece-se uma dicotomia similar nos livros didáticos de Geociências. Livros associados às linhas tradicionais de ensino enfatizam a terminologia e baseiam-se em uma visão de ciência taxonômica, fragmentada e distante da vida cotidiana. Livros didáticos alinhados com uma renovação do ensino valorizam o raciocínio do aprendiz e vinculam-se a perspectivas sistêmicas. A abordagem Ciência do Sistema Terra em diferentes cursos de graduação, incluindo-se cursos de formação docente, permite: (a) construir uma visão sistêmica, histórica e integrada da terra; (b) incluir a história do planeta nas abordagens científicas; (c) reconhecer a herança geológica como fator determinante do quadro atual.

Palavras-chave: Ciência do Sistema Terra, ensino universitário de geologia, educação universitária.

Title: Earth System Science in higher education courses

Abstract: Earth System Science (ESS) is an interdisciplinary field of research on the systemic interaction of the material spheres that control the evolution of the earth. This article analyzes the need to include concepts on geological heritage, supported by the systemic view of Earth System Science, in undergraduate courses. Introductory Geology disciplines of higher education courses in Geology, Geography, Biology and Engineering, once restricted to the *description* of purely geological themes, have gradually appropriated the *interaction* of processes involving the Earth's material spheres: the internal structure of the planet (geosphere), hydrosphere, atmosphere, biosphere, pedosphere, cryosphere, noosphere (social sphere) and stellar space. A similar dichotomy is recognized in Geosciences textbooks. Books associated with traditional teaching lines emphasize terminology and are based on a taxonomic view of science that is fragmented and distant from everyday life. Textbooks aligned with a renewal of teaching value the learner's reasoning and are linked to systemic

perspectives. The Earth System Science approach in different undergraduate courses, including teacher training courses, allows: (a) to build a systemic, historical and integrated vision of the Earth; (b) to include the history of the planet in scientific approaches; (c) to recognize the geological heritage as a determining factor of the current situation.

Keywords: Earth System Science, university geology education, higher education.

Introdução

“Nosso entendimento da Terra precisa ser holístico tanto através do tempo como através do espaço” (Frodeman, 2003, p.3)

A perspectiva sistêmica proporcionada pelo campo interdisciplinar de Ciência do Sistema Terra (CST) pode beneficiar a formação de geógrafos, biólogos e engenheiros, bem como outros profissionais. É desnecessário e redundante sublinhar a importância de CST na formação de futuros geólogos na presente análise, embora poucos cursos brasileiros de Geologia incluam a disciplina em suas grades curriculares. Drummond e Markin (2008) assinalam que nos EUA ocorre um fenômeno similar. Por outro lado, a grande defasagem nos padrões curriculares dos cursos brasileiros de Geologia reflete um atraso em relação a demandas urgentes, sobretudo em função dos desastres ambientais, que “provocam impactos na saúde pública, na economia e no meio ambiente” (Gantus-Oliveira, 2023, p.1).

CST abrange o estudo dos processos físicos, biológicos, químicos e sociais que definem as condições atuais e futuras do planeta (Rankey e Ruzek, 2006), reunindo a produção integrada (Mayer, 1993) de diferentes campos do conhecimento cuja investigação detalhada aborda o como, o porquê e sob quais taxas a Terra se modifica. Embora os processos de curto prazo sejam os que mais preocupam a comunidade internacional, devido às perturbações introduzidas no sistema terrestre “pela busca impetuosa da tecnologia e pelo crescimento da população mundial” (Mayer, 2001, p.171), CST objetiva entender o funcionamento do Sistema Terra e as complexas interações entre seus componentes ao longo do tempo.

Atividades de campo e de laboratório desempenham função central nas metodologias ativas de ensino-aprendizagem (Carneiro et al., 2007, 2008, Martins et al., 2011). Ademais, a presença de conteúdos de CST nas abordagens do ensino universitário possibilita focalizar diferentes aspectos da realidade local e valorizar a vivência cotidiana de alunos e professores em relação ao meio ambiente. Para Forgiarini e Auler (2009), é preciso que o “mundo da vida” adentre no “mundo da escola”,

“(…) mediante configurações curriculares baseadas em temáticas contemporâneas vinculadas à comunidade escolar e, complementar a essa dimensão, que as componentes curriculares contribuam para a compreensão e problematização de problemas sociais/locais, visando seu enfrentamento e, se possível, sua superação” (Forgiarini e Auler, 2009, p.400).

Neste artigo os autores examinam o papel da visão sistêmica de Ciência do Sistema Terra no ensino universitário, com base na experiência acumulada de mais de duas décadas de oferecimento de disciplinas de

graduação de Geologia e Geografia na Universidade Estadual de Campinas (Gonçalves e Carneiro, 2008; Carneiro e Gonçalves, 2010). Além de aproveitar nossa experiência docente e de pesquisa, o trabalho objetiva sintetizar a contribuição de outros autores sobre os componentes da visão sistêmica, histórica e integrada da Terra proporcionada por CST.

Propomos que abordagens lastreadas nos conceitos e conteúdos essenciais de Ciência do Sistema Terra estejam presentes tanto em cursos de formação inicial de professores, quanto em outros cursos de graduação, como por exemplo geografia, biologia e engenharia. O enfoque globalizador oferecido por CST deveria estar presente até mesmo em cursos de aprimoramento docente, porque permite explorar conhecimentos sobre geologia e evolução geológica da região onde cada escola se situa, a depender do grau de familiaridade do professor com esse conhecimento mais específico.

Metodologia

A seleção dos documentos analisados foi feita de modo a identificar distintas correntes de pensamento sobre o saber geocientífico fornecido por Ciência do Sistema Terra para investigar as mudanças climáticas e ambientais. O recorte temporal da literatura especializada remonta à metade do século XX, ou seja, desde que floresceu toda uma literatura sobre Geologia como ciência até os estudos pioneiros de caracterização de CST, mediante a utilização das modernas tecnologias de observação e aquisição de dados sobre a Terra. Esses estudos, conforme será visto mais adiante, convergem para uma "Ciência da Sustentabilidade".

Ciência do Sistema Terra

Muitas disciplinas de Geologia Introdutória em cursos universitários, outrora restritas à descrição de temas puramente geológicos, gradualmente apropriaram-se da interação de processos que envolvem as esferas materiais terrestres: estrutura interna do planeta, hidrosfera, atmosfera, biosfera, pedosfera, criosfera, noosfera (esfera social) e espaço estelar. Reconhece-se uma dicotomia similar nos livros didáticos de Geociências: aqueles que se alinham a linhas tradicionais de ensino enfatizam a terminologia e baseiam-se em uma visão de ciência sistemática, taxionômica, fragmentada e distante da vida cotidiana.

Ao longo do século XX, uma autêntica revolução na pesquisa científica revelou pormenores da evolução do planeta como um sistema dinâmico. Isso se deve às tecnologias de observação e monitoramento da Terra e à multiplicação de bases de dados, alimentadas por sistemas remotos. Redes de cooperação em pesquisa rastreiam e interpretam em tempo real imagens e registros dos efeitos dos processos naturais e antrópicos. Desde a década de 1960, as inovações alteraram profundamente os métodos da Geologia, a terminologia e até mesmo a delimitação de campos de pesquisa dentro das Geociências. A própria formulação da Tectônica de Placas resultou, dentre outros fatores, dos avanços tecnológicos em levantamento sísmico do assoalho oceânico (Hodder, 1997). Uma consequência das mudanças é que a expressão "Ciências da Terra" foi aceita e plenamente adotada.

A expressão "Sistema Terra" pode tornar-se lugar comum (Pablos, 2004), mas a compreensão holística dos múltiplos fenômenos, não-linearidades e

retroalimentações que dominam tal sistema (Pitman, 2005) ajuda a identificar implicações das mudanças para a sustentabilidade global e regional (Leemans et al., 2009). A Ciência da Sustentabilidade emerge como novo campo científico, buscando “transcender as preocupações de suas disciplinas básicas e focalizar a compreensão das dinâmicas complexas que surgem a partir de interações entre os sistemas humanos e ambientais” (Clark, 2007, p.1737).

As relações de ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente integram os temas centrais do campo teórico de CST, que busca ainda extrair dos estudos modernos sobre a dinâmica do planeta Terra diversos elementos históricos e epistemológicos. Os processos terrestres operam de maneira integrada, interconectada e complexa. Assim, o entendimento das esferas e dos componentes do sistema melhorou a compreensão das interações que ocorrem tanto no interior de cada uma das esferas, como entre duas ou mais esferas materiais. Programas de pesquisa revelam a necessidade de: (a) obter uma compreensão integrada dos processos, (b) expandir conceitos específicos e conhecimentos interdisciplinares e (c) avaliar como se dá a ação do Homem e, nesse contexto, determinar suas consequências (Turner II, 2002).

Geologia ou Ciência do Sistema Terra?

Para revisar as concepções modernas de Geologia, Ciências da Terra e Ciência do Sistema Terra, convém examinar alguns aspectos da evolução do conhecimento geológico. A aproximação facilita o reconhecimento dos desafios científicos que se apresentaram aos geólogos em diferentes épocas de desenvolvimento das Ciências da Terra. Se não nos perguntarmos sobre o caráter do conhecimento geológico, adotaremos e divulgaremos uma perspectiva da ciência geológica que restringirá o leque de possibilidades implícitas de trabalho e de uso do conhecimento científico para enfrentar os desafios socioambientais de nossa época.

O contato com a literatura que trata a Geologia como ciência (Gonçalves, 1989, 1997) é praticamente coetâneo aos estudos pioneiros sobre livros didáticos de Ciências da Terra destinados ao ensino superior. Em outras palavras, a ideia de valorizar o lado filosófico, metodológico e histórico do conhecimento científico acompanhou o cuidado para examinar os recursos educacionais existentes e, em paralelo, estudar alternativas de produção e uso de material didático.

Geologia como ciência

Embora alguns autores possam identificar sutis diferenças entre os termos Geociências e Ciências da Terra, tomamo-los aqui como sinônimos.

Movidos por interesses acadêmicos, mas também políticos (Amaral, 2014) em torno do Ensino de Geociências (isso ocorreu na época dos dois primeiros Simpósios Nacionais de Ensino de Geologia, 1980 e 1981) houve uma busca de referências que discutissem o caráter científico do conhecimento geológico (p.ex.: Albritton Jr., 1963; Potapova, 2007; Kedrov, 1968). Como percebemos mais tarde, a década de 1960 foi especialmente frutífera para tal reflexão. Poderíamos alinhar muitas mudanças do fazer geologia daquela época, mas talvez seja mais fácil perceber as mudanças a partir de um quadro atual. Se hoje interpretamos a

Geologia sob o enfoque da Ciência do Sistema Terra, quais são os traços cruciais dessa abordagem ambiental? Dispomos de instrumentos que permitem “ver” a Terra inteira, ao mesmo tempo em que geram e integram informação em múltiplas escalas, do regional ao global. Apoiados nesses dados e instrumentos, podemos visualizar as mudanças naturais e aquelas produzidas pelas atividades socioculturais e econômicas. Surgem inúmeras inter-relações possíveis que precisam ser dimensionadas e corretamente interpretadas. Quais mudanças, na atuação prática dos profissionais, apoiam-se nesse modo de ver a Terra?

A abordagem de Ciência do Sistema Terra para estudo dos processos, da evolução e da história da organização, composição e interações das esferas materiais trouxe nova luz à história da Terra, na medida em que permite examinar os processos terrestres como um todo e em suas partes (Hasui et al., 2012). Como consequência, aplica-se a Teoria de Sistemas para tratar fenômenos terrestres: opera-se com a ideia de que os processos naturais são complexos e difíceis de prever, mas, ao mesmo tempo, é viável aplicar diversos modelos matemáticos para modelar o desenvolvimento futuro do planeta. Ciência do Sistema Terra explica uma parcela significativa da longa história da Terra com base em uma teoria integradora e global, a Tectônica de Placas. Todos esses instrumentos e modelos, tomados quase como unanimidade na situação de hoje, não estavam disponíveis aos geólogos da década de 1950. A estimulante descoberta de jazidas minerais importantes encobria a dificuldade de se tratar a Terra como um todo. Os estudos e as pesquisas eram limitados aos continentes e fundamentalmente regionais.

Sérios problemas ambientais encontravam-se restritos aos países centrais (que passaram pela primeira e segunda revoluções industriais nos séculos XVIII e XIX). O modelo explicativo mais geral, conhecido como Teoria Geossinclinal, oriunda de estudos norte-americanos e europeus da segunda metade do século XIX, explicava os mecanismos que determinam a transformação de grandes bacias sedimentares em cordilheiras continentais (Gonçalves, 1990). Os principais fenômenos de formação da crosta terrestre continental, metamorfismo e formação de granitos e, de outro lado, a erosão e a formação de rochas sedimentares podiam ser explicadas por estudos regionais apoiados na teoria geossinclinal. O ciclo das rochas e o conhecimento dos recursos minerais e energéticos gerados pelos processos geológicos garantiam o sucesso da teoria. Ao mesmo tempo, a descoberta de enormes jazidas minerais nas décadas de 1960 e 1970 (p.ex., Carajás, no Brasil), apoiada no conhecimento geológico tradicional, encobria inúmeras dificuldades instrumentais (sobretudo teóricas e conceituais).

Apesar disso, simultaneamente, um conjunto de descobertas iluminava insuficiências tanto do conhecimento da Terra, quanto de seu ensino.

Como decorrência de avanços militares na Segunda Guerra Mundial, surgiram desafios teóricos para os quais a teoria geossinclinal era incapaz de fornecer explicações satisfatórias. Dentre eles podemos citar os levantamentos da topografia e constituição do assoalho oceânico, os avanços da Geofísica em sísmica e magnetometria e a descrição detalhada de longas bacias sedimentares que não se transformaram em cordilheiras. No contexto, a teoria da Tectônica de Placas adquiriu importância e foi apresentada como explicação científica integradora e global, capaz de dar

conta da geologia dos continentes e do assoalho oceânico, com potencial de inovar e influenciar todas as áreas específicas do conhecimento geológico (Hodder, 1997). Sobretudo a partir da década de 1980, quando a Tectônica de Placas já possuía aceitação quase unânime, surgiram interconexões da teoria com o conhecimento do manto. Em outros termos, a antiga Geologia continental, associada a estudos da crosta terrestre, perdeu lugar, ao se recuperar a Terra como entidade e unidade de estudo.

Do ponto de vista do ensino, a Geologia da década de 1950 e seus campos de estudo eram fortemente sistemáticos (ver a diferença entre ciência sistêmica e sistemática em Rojero, 2000). A ênfase vinculou-se ao conhecimento taxonômico, seja nos domínios relativos aos seres vivos (sobretudo na Paleontologia, mas com influência na Estratigrafia), seja no funcionamento mecânico do planeta (Reologia, Geologia Estrutural e Geotectônica) ou, ainda, no domínio da natureza da matéria (Mineralogia e Petrologia). O forte olhar classificatório conduzia à ideia de que cada jazida mineral importante tinha caráter único e fornecia poucos elementos que pudessem ser extrapolados como índices para novas descobertas – os profissionais atuantes na época valorizavam o conhecimento de muitas jazidas minerais como ponto crucial para potencializar novas descobertas. Assim, de certo modo, o ensino criava obstáculos ao desenvolvimento do conhecimento e reduzia os recursos conceituais e teóricos para se avançar nos campos de aplicação da Geologia, sobretudo a Prospeção Mineral.

Este é o pano de fundo para analisarmos livros didáticos.

Livros didáticos de Geologia Introdutória

Livros didáticos destinados ao ensino superior desempenham papel central na formação de futuros profissionais. Além de serem elementos-chaves no processo de veiculação do conhecimento, são instrumentos de aculturação de teorias e formas de pensar. Quando nos debruçamos sobre distintos livros didáticos de Geologia Introdutória, torna-se clara a existência de diferentes “Geologias”, ou seja, a ciência geológica parece adquirir distintas concepções, diferentes delimitações e utiliza modos distintos de organizar os argumentos.

Na época, início da década de 1980, apoiados em cerca de 50 títulos diferentes, todos voltados para Geologia Introdutória, foi possível identificar livros de distintas abrangências de conteúdo: Geologia Física (p.ex. Holmes e Holmes 1979), Geologia Ambiental (p.ex., Tank, 1973), Geociências (p.ex., ESCP, 1973) e Geologia Geral (p.ex. Melendez e Fuster, 1973) – um quadro detalhado da análise encontra-se em Amaral (1981). Evidentemente alguns títulos expressavam combinações de assuntos e se apresentavam como híbridos. Análise específica da obra ESCP (1973), aponta ser inadequado formar uma “visão simplificada da atividade científica”, ao se desconsiderar a própria ciência como obra essencialmente humana, com todas as dúvidas, divergências e conflitos ali presentes, “dentro de contextos sociais complexos” (Gonçalves, 1994, p.200). Ao focalizar a interação de processos naturais e humanos “que modificaram e continuam a modificar o planeta”, a visão de meio ambiente da série ESCP (1973; 1976) continua a ser bastante atual (Carneiro et al., 2025, p.7).

Livros de Geologia Física são estruturados para explicar processos terrestres e seus produtos segundo uma divisão bem definida: agentes externos e internos (ou dinâmica externa e dinâmica interna). Dentre os primeiros, a energia solar é decisiva e inclui toda a dinâmica erosiva e deposicional; nos segundos, o calor interno da Terra é decisivo e engloba terremotos, vulcões etc.

Livros de Geologia Geral, em termos de abrangência, contêm a organização e preservam todos os tópicos comuns à Geologia Física, mas acrescentam o tratamento da história da Terra, usualmente na forma de Geologia Histórica (o que aconteceu em cada um dos diferentes períodos do Tempo Geológico).

Obras de Geociências, por sua vez, apresentam um tratamento que, na década de 1960, era bastante novo: examinam a Terra segundo as esferas materiais, divididas em termos da estrutura do planeta: crosta terrestre, manto e núcleo, mas acrescentam assuntos que não eram tratados em livros de Geologia Geral: hidrosfera, atmosfera e espaço estelar. Geologia Ambiental também era assunto novo nos anos 1960. A amostra de títulos examinados por Amaral (1981) indica que a forma de organização dos livros varia muito entre si; trazem a novidade de estudar aspectos aplicados, como erosão, perda de solo, contaminação, poluição etc. Há também uma organização de tópicos, do seguinte modo: uma parte do livro trata de atividades sociais e econômicas que degradam o ambiente (p.ex., agricultura, poluição, explosão demográfica), outra parte explica fenômenos que afetam negativamente as atividades humanas (p.ex., terremotos, vulcões). Naquele momento do estudo, percebeu-se que muitos tópicos tradicionais de conteúdo simplesmente não faziam parte do escopo dos livros de Geologia Ambiental.

O panorama geral aqui exposto, embora seja esquemático, remete a algumas conclusões relevantes sobre essa época: não havia um conteúdo universalmente aceito como aquele que precisava ser ensinado a alunos de Geologia Introdutória. Independentemente da abrangência, a maioria dos títulos se caracterizou como compêndios que enfatizam a terminologia e a fragmentação. Muitos autores optaram por construir uma espécie de glossário, do qual resultaram livros claramente enciclopédicos. A maioria das obras não mostra o dinamismo da evolução do conhecimento científico.

A análise conduziu a aceitar uma ideia geral e caricata: a existência de uma espécie de identidade distintiva entre livros tradicionais e ensino tradicional, marcado por traços como conteúdo fragmentado, ausência de diálogos, distanciamento dos problemas do cotidiano e da vida, ou seja, um ensino distante das propostas de renovação educacional de autores como Dermeval Saviani ou Paulo Freire. Tornou-se claro também que uma ciência sistemática e taxionômica é absolutamente coerente com a necessidade de domínio da terminologia, ou seja, os alunos deviam aprender a linguagem da Geologia antes de entender os fenômenos do planeta; Conrado Paschoale apresentou o trabalho *Alice no país da Geologia... e o que ela encontrou lá*, no 34º Congresso Brasileiro de Geologia, chamando atenção para o ensino meramente apoiado em terminologia, dentre outros aspectos (ver Imbernon et al., 2023).

Apesar de haver um *mainstream*, alguns títulos de Geociências perseguiam outros conteúdos, menos classificatórios, mais próximos à valorização de raciocínios para identificar fontes de energia, fluxos de energia e matéria, dinâmicas bidirecionais (dependentes das quantidades e fluxos de matéria e energia); alguns deles já usavam o nome sistema e teoria de sistemas; outros, embora desenvolvessem o argumento sistêmico optaram por omitir esse termo. Por outro lado, a literatura sobre Geologia como ciência aclarava uma série de aspectos subsumidos nas alternativas seguidas pelos livros didáticos, ou seja, os livros didáticos podiam ser associados a distintas concepções de objeto de estudo, método e alcance do conhecimento geológico. No final da década de 1950, uma parcela dos geólogos estava profundamente envolvida em discussão eminentemente positivista em torno da pergunta: Geologia é, ou não, ciência?

Na época, as grandes referências de ciências naturais e experimentais eram a Física e a Química, que usam largamente a linguagem matemática; adotam raciocínios indutivos e dedutivos; rejeitam procedimentos analógicos e comparativos. Nada era mais distante da Geologia, que timidamente adotava alguns modelos matemáticos e largamente utilizava o pensamento analógico, comparativo e histórico. O esforço de delimitar a Geologia entre as ciências naturais e experimentais implicava tentar comparar procedimentos geológicos com o método indutivo-analítico da Física (ver p.ex. Kitts, 1977).

Um congresso para discutir o caráter científico da Geologia, realizado em 1960, trouxe uma série de contribuições valiosas para nossa reflexão, que haviam sido reunidas em um volume único, editado por Albritton Jr. (1963). O artigo de Georges G. Simpson (1963), que utiliza sua experiência como paleontólogo para mostrar que Geologia era a reunião de dois diferentes campos, chama especialmente a atenção; o primeiro campo estuda fenômenos regulares e universais, imanes, aproximando-se dos métodos e procedimentos da Física. O segundo campo, por sua vez, é histórico, configuracional, estuda fatos singulares da história da Terra; portanto, suas descobertas não são generalizáveis. O exemplo adotado é especialmente esclarecedor: o Grand Canyon é um evento absolutamente singular na história da Terra, mas erosão e sedimentação são universais e seguem leis válidas em qualquer parte do universo.

Na época, Simpson (1963) chamou nossa atenção quanto à partição da Geologia. O texto nos conduzia a inferir que uma parte da ciência era experimental e pertencia aos cânones das ciências naturais, mas a outra parte (contingencial e histórica) era inerentemente limitada. É difícil aceitar o argumento, porque desvaloriza aspectos específicos e contingentes, coerentes com uma perspectiva sistemática, além de limitar, severamente, a expansão do conhecimento. Explicando de outro modo, encontramos o argumento que dá suporte teórico para a estrutura identificada nos livros de Geologia Geral e Geologia Física: os processos e produtos podiam ser estudados sem considerar a história geológica; por outro lado, a sequência de fatos singulares tornou-se uma coleção diversificada de dados e informações. De certo modo, o enciclopedismo de várias obras didáticas é coerente com tal concepção limitada de ciência geológica.

O lado descritivo da Geologia abrange as feições e eventos naturais, mecanismos dos processos, relações de causa e efeito e interdependências. Objetiva explicar fenômenos, enfatizando o modo de operação dos processos ou a origem de determinada feição. Carneiro et al. (1994) concluem que, como ciência descritiva da natureza, a Geologia preocupa-se com o imanente (as regularidades), e representa um ramo aplicado da Física e da Química, fazendo parte do conjunto das ciências físicas. O lado reconstitutivo histórico da Geologia busca resolver *de que forma* aconteceu determinado fenômeno em particular, superando a explanação descritiva, na medida em que coloca as generalizações em segundo plano, e salienta o aspecto contingente (mutável, irregular) dos fenômenos. Como ciência histórica, a Geologia não apenas estabelece “relações entre as propriedades e processos imutáveis dos materiais e a configuração que o material assume em cada momento de sua evolução” (Carneiro et al. 1994, p.278), mas também:

“(...) admite a possibilidade de que novos processos tenham se envolvido com a transformação considerada. A preocupação com o mutável, com o contingente, com o singular, é que lhe dá o caráter de ciência histórica. Como ciência histórica, a Geologia aborda as seqüências de eventos sob prisma individualizado, procurando sua explanação, assim como procura comprovar a própria explicação das seqüências. O papel de ciência histórica abrange, pois, o de ciência física, embora em cada um possam existir objetivos diferentes” (Carneiro et al., 1994, p.278).

Um texto de poucas páginas, publicado em inglês em 1968, trouxe perspectiva radical para repensar a abrangência, metodologia e alcance do conhecimento geológico. Potapova (2007), original em russo de 1963 (Potapova, 1968), caracterizou as bases teóricas de Ciência do Sistema Terra. Ao explicar os debates e a insuficiência de uma ciência geológica que considerava como seu objeto de estudo a crosta terrestre e utilizando alguns conceitos do materialismo histórico (transformação e contradição), Potapova fez uma transposição para definir Geologia como *ciência histórica da natureza*, ou seja, a missão do conhecimento geológico é estudar o problema geral da história do planeta inteiro. A autora caracterizou o intercâmbio sistêmico de conceitos e explicações entre Geologia e as demais ciências que estudam a Terra em suas partes e que, sobretudo, definem as leis naturais válidas para os fenômenos do presente (Física, Química etc.). A abrangente descrição constitui a base conceitual da ciência geológica exposta em alguns livros de Geociências: o estudo dos fluxos e balanços de energia e matéria responsáveis pelas transformações terrestres; a descrição e caracterização das esferas materiais da Terra e seu funcionamento no presente (sobretudo atmosfera e hidrosfera) para, depois, servir de fundamento para explicar a história do planeta inteiro (caracterizado pelas esferas rochosas, crosta, manto e núcleo e pelo contexto astronômico). Ao se introduzir a Escala do Tempo Geológico, completa-se o conceito denominado por Potapova (2007) de *processo histórico-geológico*. O processo histórico-geológico indica as tendências de desenvolvimento futuro do planeta e contém informes que enriquecem as ciências que estudam o presente.

O pequeno texto não só fundamentara nosso esforço de conceber a Geologia como uma ciência integradora e global dos estudos da Terra – a nosso ver algo essencial em termos de delimitação de conteúdo para construir um ensino mais dialogado e fornecer ideias contextualizadas da ciência – como afagava nosso ego. Potapova (2007), de modo muito resumido, apresenta a História da Geologia e explica que sua trajetória foi diferente de outras ciências naturais originadas a partir de estudos analíticos. Os estudos da Terra começaram tratando de objetos sintéticos – em termos modernos, podemos interpretar que o conhecimento da Terra é intrinsecamente complexo e integrado e não pode ser reduzido às suas partes, embora haja muitos estudos específicos e analíticos em vários campos de conhecimento (Geofísica, Mineralogia, Paleontologia etc.).

Potapova (2007) conclui que a Geologia é a mais geral das ciências que estudam a Terra e admite que cada campo particular poderia ter seus estudos, mas havia necessidade de manter a institucionalização da Geologia – o texto não é especialmente claro quanto aos problemas científicos e institucionais da União Soviética daquela época, mas o argumento se dirige contra a excessiva autonomia da Geofísica, Geoquímica, Paleontologia etc. Nos limites deste artigo, especulamos que houve ali um fenômeno observado mais tarde no Brasil, na década de 1980: crescimento de especialização e institucionalização de áreas específicas do conhecimento geológico. Foram criados, por exemplo, cursos de graduação em Geofísica; foram fundadas novas sociedades científicas que institucionalizariam a especialização, como a Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, a Sociedade Brasileira de Geoquímica e outras associações. Entretanto, o esquema metodológico de Potapova mostra e articula de maneira sintética os grandes grupos de ciências geológicas, dedicadas a compreender o tempo (Estratigrafia), a estrutura (Geologia Estrutural, Geotectônica), a composição material (Mineralogia e Petrologia, Paleontologia), as inter-relações e o desenvolvimento dos grandes grupos ao longo do tempo (Fig. 1).

A aproximação feita por Potapova (2007) tem enorme potencial ao tratar, integradamente, a Terra e o ambiente, indicando que o caminho de avanço para o conhecimento geológico requer incorporar – e vincular-se – à teoria de sistemas, o que já era feito em alguns livros didáticos de Geociências. Os objetos de estudo foram chamados sistemas.

Nas últimas décadas, em todos os campos, as ciências da complexidade têm passado a constituir, ao redor dos sistemas, um arcabouço próprio de conhecimento com grande poder explicativo, permitindo enfocar problemas antigos com uma nova visão mais rica e possibilitando, como resultado da nova visão, formular novos problemas tanto nos campos tradicionais de conhecimento como nos emergentes (Rojeda, 2000).

Embora seja arrojado e sintético, o artigo de Potapova (1968) permaneceu relativamente desconhecido. Ele mostra que o avanço do conhecimento geológico rompeu com os limites da ciência meramente sistemática e voltada para a crosta terrestre e recobrou a tradição de tratar o planeta de modo integrado, ou seja, o caminho da Geologia aproximou-se das abordagens sistêmicas e valorizou os campos aplicados do conhecimento, como a Mineração, Geologia de Engenharia e Ambiental etc.

Ciências que tratam de...

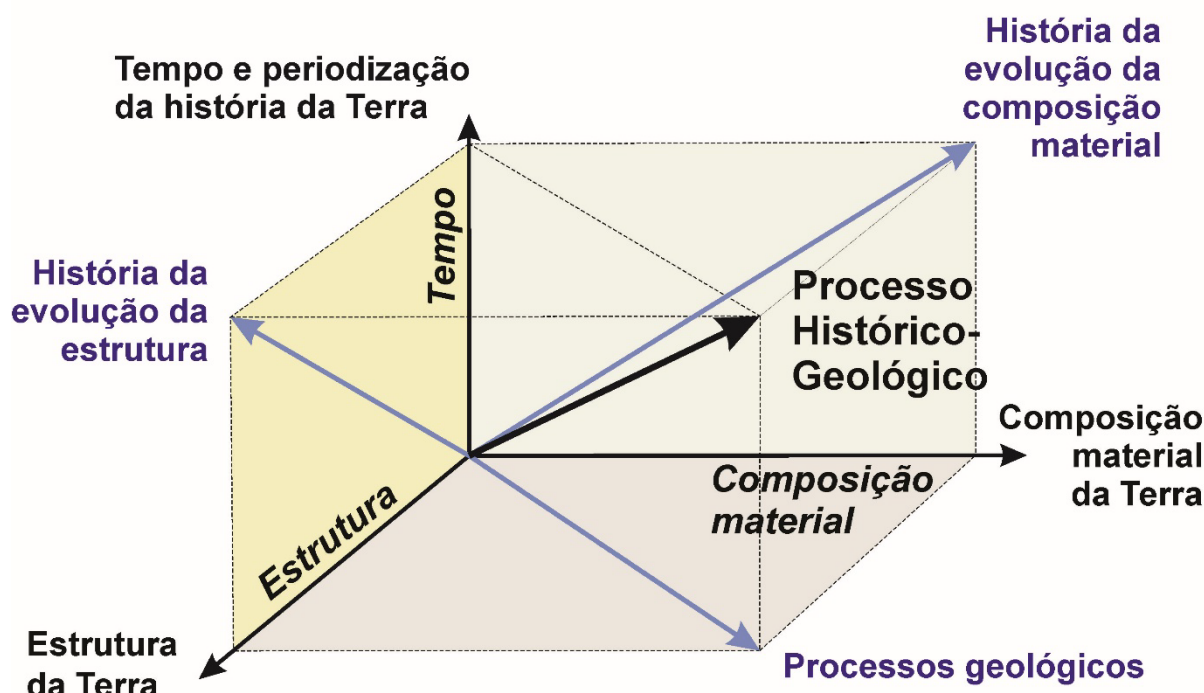


Figura 1. Classificação geral das ciências geológicas (Potapova, 2007)

Anguita Virella (1996) observa que o livro de Keneth Hamblin, de 1975, claramente expõe a trilogia: (a) Tectônica de Placas como paradigma; (b) Teoria de Sistemas como metodologia; (c) Ciências da Terra como ideal.

Um autor, que também não conheceu o trabalho de Potapova (Frodeman, 2012, informação verbal ao autor C. D. R. Carneiro), acompanha uma parcela de seus argumentos. Frodeman (1995) argumenta que Geologia é uma ciência histórica e isso conduz à particularidade de métodos e argumentos. Claramente, os raciocínios indutivo-analíticos são parte dos estudos geológicos, mas são organizados e integrados pela abordagem temporal e histórica de desenvolvimento do planeta e de suas partes. O texto seminal de Frodeman (1995) não enfatiza um fator assinalado por Rudwick (1976): a linguagem visual foi incorporada à Geologia quando esta se tornou uma ciência moderna. A linguagem visual está indissoluvelmente ligada aos procedimentos metodológicos da Geologia: mapas geológicos, perfis e ilustrações específicas são o modo sintético de construir e divulgar teorias, diferentemente do que ocorre na Física, na qual a equação corresponde à síntese do conhecimento.

A abordagem de Ciência do Sistema Terra sublinha o caráter complexo da evolução do planeta e expande o campo de estudo de várias disciplinas. Aplica-se aqui o sentido estrito do termo *complexus*, que corresponde àquilo que é tecido junto, ou seja, constitui uma trama inseparável. Esse contexto torna inadiável estudar as questões ambientais e de risco natural sob uma perspectiva sistêmica – que precisa ser, ao mesmo tempo, histórica e integrada – do planeta Terra. Os termos “Ciências da Terra” e “Ciências Ambientais” constituem uma “distinção desprovida de diferenças”, para

Frodeman (1993, p.3), na medida em que ambos os campos de conhecimento cresceram juntos. Neste ponto esperamos ter deixado claro que *a expressão Ciência do Sistema Terra é quase o nome fantasia da concepção de Geologia como ciência integradora para estudar a história do planeta*. O caminho da Ciência do Sistema Terra abre novas possibilidades de estudos geológicos e ambientais, seja para descobrir e caracterizar bens minerais e energéticos, seja para planejar ou remediar diversos desafios ambientais (erosão, perda de solo etc.).

A perspectiva sistêmica em Geografia

Algumas correntes do pensamento geográfico enfatizam a teoria de sistemas – os Geossistemas – como eixo metodológico de análise. Um sistema é um conjunto organizado do qual emergem propriedades e qualidades que não estavam presentes nos objetos singulares nele reunidos (Pablos, 2004). A Teoria dos Sistemas, enunciada em 1956 por von Bertalanffy (Bertalanffy, 1977) baseia-se na concepção de que uma variedade de objetos de estudo possui semelhanças na estrutura e na organização, “independentemente de qual seja a disciplina que os tenha estudado” (Pablos, 2004). O entendimento implica que o sistema deixa de ser mera “construção intersubjetiva convencional”, para constituir uma entidade e, como tal, assume dimensão ontológica na Teoria Geral de Sistemas (TGS). A frase de Aristóteles “o todo é mais do que a soma das suas partes”, tornou-se “uma das favoritas” de von Bertalanffy (Pablos, 2004).

“Essa concepção de sistema contém uma forma de pensar como um todo, como uma totalidade, o que vemos composto de partes relacionadas entre si e com outras partes que compõem o ambiente externo, ligadas por relações, processos, trocas, que dependem tanto das relações internas, quanto das relações com o ambiente externo” (Covaleda et al., 2005, p.3).

Thrift (2002) cita a crescente relevância da Geografia, assinalando exemplos de avanços, na interação com diversas ciências, tanto da Geografia Humana, quanto da Geografia Física. Aponta que a Geografia, em lugar de tentar consolidar seu próprio território, deve construir um modelo baseado na qualidade do trabalho que produz. Clifford (2002) assinala que atualmente as discussões filosóficas em Geografia Física se concentram no campo da Filosofia da Ciência, o que não atrai grande parte da Geografia Humana contemporânea.

Quais são as conexões possíveis entre o Sistema Terra dos geólogos e o Geossistema dos geógrafos e dos engenheiros? Geografia, de acordo com Pitman (2005) é uma disciplina holística que busca promover a integração de conhecimentos sobre o objeto de estudo considerado, desde a escala regional até a global (Pitman, 2005). O autor atribui às ciências “biofísicas” e ciências sociais idêntica importância para se compreender o estado atual e o futuro do Sistema Terra:

Enquanto a maioria das ciências tornou-se reducionista ao longo dos últimos dois séculos, recentemente descobriu-se que a Terra é um “sistema complexo”, com propriedades “emergentes” que não podem ser explicadas

por meio da compreensão individual das partes componentes (Pitman, 2005).

A compreensão dos chamados fenômenos emergentes é importante contribuição de Ciência do Sistema Terra. A ideia de emergência indica, na teoria dos sistemas complexos, o surgimento de padrões, estruturas ou propriedades cuja explicação é insuficiente se o estudo se limitar aos subcomponentes do sistema. Às vezes os padrões "podem ser explicados, outras vezes parecem aleatórios ou inexplicáveis" (Pitman, 2005, p.139). Padrões que surgem da aparente aleatoriedade podem refletir interações profundas de sistemas complexos. Ao avaliar que Geografia é o campo do conhecimento humano "que abraça a ciência multidisciplinar de Ciência do Sistema Terra", Pitman (2005, p.146) extrai da conclusão uma série de implicações, tanto para a atuação profissional dos geógrafos, que considera em perigo de ser "deixados de lado", como para o próprio ensino de Geografia.

Johnston (2006) critica a visão de Pitman (2005) de que Ciência do Sistema Terra seja uma "reinvenção da Geografia", argumentando que inexistente "invasão de território" pela CST sobre a divisão acadêmica de trabalho dos geógrafos e conclui que Geografia não é a única disciplina de síntese capaz de explicar o quadro geral, mas pode atuar em cooperação intensa com pesquisadores de outras áreas.

Ciência do Sistema Terra e ensino de Geografia

Os aumentos surpreendentes nas movimentações humanas intencionais e não intencionais [de solos] nas últimas décadas são uma consequência da explosão da população mundial e, no caso das atividades intencionais, do desenvolvimento tecnológico (Hooke, 2000, p.845).

Suertegaray (2002) assinala que a "leitura em separado da natureza e sociedade não é mais factível" e conclui que "tanto os conceitos, como os métodos, precisam expressar a materialidade do mundo atual" (Suertegaray, 2002, p.2). Esse é talvez o ponto inicial do interesse da Geografia pela visão sistêmica de CST. Ademais, na medida em que uma parte das ferramentas de análise é quase universalmente acessível aos estudantes por meio de computadores (Barbosa, 2003; 2013), tablets e smartphones, isso permite que os progressos da ciência contribuam para aprimorar a educação em todos os níveis (Hoffman e Barstow, 2007).

Temas polêmicos são estimulantes no ensino de Geografia. Um exemplo é o "aquecimento global". Pesquisas climáticas e geológicas modificaram o entendimento dos numerosos fatores determinantes do clima terrestre e geraram modelos das mudanças globais que compõem um quadro repleto de incertezas e contradições. Se, por exemplo, o modelo climático ainda não está definido, ainda não foi adequadamente compreendido o grau de influência de cada um dos gases-estufa. Assim, não há consenso sobre as múltiplas previsões, quer aquelas mais apocalípticas, quer as mais conservadoras. O exemplo pode ser generalizado para ilustrar um motivo pelo qual os geógrafos, biólogos e engenheiros devam conhecer o Sistema Terra, e acentua, ao mesmo tempo, a relevância de se ensinar tais conteúdos para futuros professores. O exemplo é extensivo a outros cursos

universitários, cujos egressos poderão interferir decisivamente na dinâmica natural.

A distribuição de assentamentos humanos em deltas costeiros no Quaternário (Gonçalves e Carneiro, 2024) é um exemplo de abordagem que permite explorar a aprendizagem da incerteza do conhecimento científico inerente aos sistemas complexos.

A Geografia pode acentuar tanto o forte vínculo entre a produção de gases relacionados ao efeito estufa e os padrões de consumo atuais, mas também ajuda a apontar alternativas e cenários futuros de produção e utilização das fontes de energia. As decisões a serem tomadas para enfrentar o desafio da mudança climática, da qual o aquecimento global é apenas uma vertente, têm sido amplamente debatidas, a partir de diferentes contribuições de especialistas, estudiosos, organismos internacionais, governos e empresas. Uma vez que a agenda política pode ser muito influenciada pelos veículos de mídia (Carneiro e Toniolo, 2012), os meios de comunicação deveriam assumir a função de esclarecer o público sobre estes e outros tópicos. Grande parte dos jornalistas não tem suficiente preparo técnico para lidar com esses temas, embora existam fontes acessíveis e eles possam recorrer a especialistas e consultores.

Diversos trabalhos, como Alvarez Suárez et al. (1992) e Carneiro et al. (2004), assinalam a necessidade de se ampliar o ensino de Geologia na educação básica, que pode favorecer o entendimento dos processos terrestres, de curto, médio e longo prazos. Contudo, o Ensino de Geografia na educação básica brasileira é muito mais universalizado do que o de Ciência do Sistema Terra. Em que pesem eventuais divergências sobre o conteúdo e a abordagem da disciplina escolar de Geografia, esta situa-se no centro da polêmica, ao colocar no espaço (espacializar) as relações complexas entre os interesses econômicos e sociais de diferentes povos e culturas. A Geografia pode acentuar tanto o forte vínculo da produção de gases relacionados ao efeito estufa com os padrões de consumo atuais, mas também é capaz de ilustrar alternativas e cenários futuros de produção e utilização de fontes de energia. Por outro lado, a disciplina Geografia do ensino básico pode se afastar dessas dificuldades e se limitar a aspectos históricos, sociais e culturais, reduzindo a possibilidade de os alunos refletirem sobre as complexas inter-relações de natureza e sociedade, constituição temporal e histórica do ambiente.

Uma vez que a superação de barreiras disciplinares favorece perspectivas tipicamente sistêmicas, somos partidários de abordagens sistêmicas entre as correntes do pensamento geográfico.

É bem conhecido que a elaboração de modelos climáticos depende de abordagens quantitativas; assim, o exemplo ajuda a situar o problema de que inúmeros campos da ciência são cada vez mais impregnados de modelagens matemáticas e ferramentas computacionais que exigem domínio de equações e habilidades de tratamento numérico. Em geral, alunos de cursos universitários de Geografia, quer na área física, quer na área humana, preferem concentrar-se em Geografia e “não gostariam de aprender” Matemática, Física, Química, Biologia, Economia, Política, Direito, Estatística e Ciência da Computação “necessários para a alfabetização em Ciência do Sistema Terra” (Pitman, 2005, p.145). O autor indica ser

considerável a demanda intelectual enfrentada pelos estudantes, para enveredar por temas estudados por outros campos do saber.

Consequências da abordagem sistêmica, histórica e integrada

Em algumas correntes do pensamento geográfico a construção de conhecimentos favorece, em lugar de impedir, a assimilação de abordagens sistêmicas que levem em conta os longos intervalos de tempo da história da Terra. A contribuição de geólogos e outros especialistas de Ciências da Terra pode ser significativa para o ensino-aprendizagem de CST em cursos universitários, pois eles possuem as habilidades, o conhecimento e a experiência necessários para empreender investigações sistemáticas sobre Ciência do Sistema Terra.

Além de ser consistente, a proposta de se inserir CST no ensino de Geografia, Biologia e Engenharia possibilita reconhecer a herança geológica como fator determinante do cenário atual. As Ciências da Terra oferecem dados e conhecimentos específicos locais, bem como permitem o tratamento integrado do planeta inteiro. Dados locais e regionais naturalmente variam de um ponto a outro da superfície da Terra, mas podem despertar nos alunos uma reflexão sobre as relações do homem com o planeta.

A complexidade do processo de interpretação do ambiente natural pelos alunos é, portanto, repleta de dificuldades. Marques e Praia (2009) assinalam a necessidade de desenvolver métodos apropriados de ensino, que exigem diálogo entre os alunos, sob orientação docente. Para os autores as atividades externas à sala de aula estimulam raciocínios que convergem para o “melhor entendimento da natureza e limitações do raciocínio humano”, além de favorecer a auto compreensão (Marques e Praia, 2009, p.23).

Na abordagem CST, os alunos devem explorar as características essenciais, a configuração atual e a história evolutiva de cada uma das esferas, com foco na interação entre elas. Em paralelo, são convidados a estabelecer relações entre a sociedade humana e a natureza. Isso ajuda futuros geólogos, biólogos, geógrafos e engenheiros a construir uma perspectiva social mais sólida e bem fundamentada em Geociências. Do mesmo modo, possibilita que os profissionais disponham de uma “formação cultural que ultrapasse os limites técnicos” de suas respectivas áreas (Gonçalves, 2011, p.29) e permite que futuros professores conciliem conhecimentos de CST com sua experiência e interesses pessoais (Carneiro e Gonçalves, 2010). A estratégia pode se estender para a educação básica. Muitos estudos registram aumento do interesse dos alunos e melhoria de seu desempenho escolar graças ao estudo das características locais e das potencialidades da região onde cada unidade escolar está inserida (Lima, 2013). O olhar local desperta um “movimento gradativo de atribuição de novos valores para a condição humana e pode dar outro sentido ao fator histórico” (Malaquias Júnior, 2012, p.1).

A herança geológica determina o quadro atual

Abordagens sistêmicas devem levar em conta a longa história da Terra. A construção integrada de conhecimentos geológicos e geográficos favorece a abordagem dos longos intervalos de tempo de história da Terra.

Do ponto de vista cultural, Tempo Geológico é uma das ideias “mais relevantes na história do pensamento humano” (Cervato e Frodeman, 2012). Além de ter aplicação prática direta no entendimento da dinâmica terrestre, a compreensão da história da Terra e da vida é fundamental para se entender a natureza e sua história. A educação pode se apropriar intensivamente desses conceitos fundamentais. Ao nos perguntarmos sobre fluxos e intercâmbios de matéria e energia, vinculamos as questões e problemas à dúvida sobre como as coisas começaram, ou seja, nos perguntamos sobre a origem e, uma vez mais, nos reportamos à história da Terra, do Sistema Solar e de todas as coisas que se encontram à nossa volta.

(...) os variados intervalos temporais do Tempo Geológico (por exemplo, o período desde o último Máximo Glacial, as taxas de evolução, ou a duração do tempo que leva para desgastar uma montanha ou substituir uma espécie perdida) oferecem perspectivas de uso prático para empresários, políticos e cidadãos. Além disso, mesmo tomando a mera sugestão de uma perspectiva geológica – ao ver nossas vidas e nossas paisagens dentro do quadro de uma maior extensão de tempo – pode causar em nossos alunos a admiração para a maravilha que é a vida na Terra (Cervato e Frodeman, 2012, p.20).

Produtos gerados pelas tecnologias de observação e monitoramento da Terra aprimoraram a capacidade de investigar e prever fenômenos naturais que ocorrem na superfície terrestre. Cada vez mais pessoas podem ter acesso às técnicas e aos produtos disponíveis, porém o potencial educativo dos recursos não é plenamente aproveitado. Associando-se tais recursos a uma perspectiva temporal dos processos naturais, podem ser introduzidos novos significados a temas e questões usualmente tratados de modo restrito.

Conclusões

A visão sistêmica de Ciência do Sistema Terra – dedicada ao estudo do funcionamento da Terra como um sistema e as interações entre seus componentes ao longo do tempo – é benéfica ao ensino universitário, notadamente em cursos de graduação de Geografia, Biologia e Engenharia, além da formação de professores. As interações entre o conhecimento sobre a Terra, as atividades sociais e econômicas e as consequências de fenômenos naturais sobre sociedades humanas são um tema antigo dos estudos geológicos. Ciência do Sistema Terra permitiu dar um tratamento integrado às múltiplas relações entre os processos naturais e sociais. A noção de que a natureza pode ser vista como fonte de energia e recursos naturais e, ao mesmo tempo, como fonte de informação sobre as transformações que afetam a humanidade, fornece alguns instrumentos conceituais essenciais para todos os profissionais cujas atividades promovam intervenções na natureza, como é o caso de geólogos, geógrafos, biólogos, engenheiros e outras categorias não citadas neste estudo. CST constitui uma base potente para se estruturar atitudes mais responsáveis diante de mudanças que abrangem as dimensões emocional, econômica, cultural e política das sociedades.

Ciência do Sistema Terra permite: (a) enxergar o todo como sendo muito mais do que a soma das partes; (b) construir uma visão sistêmica, histórica

e integrada; (c) inserir a abordagem sistêmica na longa história da Terra; (d) considerar a herança geológica como fator determinante do cenário atual. Estudos de Geografia, Biologia e Engenharia que seguem abordagens sistêmicas recebem um aporte positivo da Geologia ao estender suas escalas de espaço e tempo para a compreensão de processos que seguem modificando a superfície e o interior da Terra ao longo de bilhões de anos. Tudo isso contribui para que as relações entre a questão ambiental e a herança geológica ajudem a prever mudanças sociais e ambientais futuras e serve como horizonte para delimitar e organizar atividades didáticas para a formação de futuros geógrafos, biólogos e engenheiros.

Embora a natureza possa ser descrita por meio de um conjunto de leis físicas e químicas relativamente simples, a abordagem CST permite que os alunos construam uma ideia mais realista: a Terra precisa ser tratada como algo sistêmico, complexo e complicado, cuja magnífica evolução resulta da interação de inúmeros processos.

Em essência, a sociedade não pode mais ignorar as regras, os controles e os padrões sob os quais a natureza funciona, sob pena de ser atingida pelas graves consequências de suas intervenções.

Referências bibliográficas

Albritton Jr., C. C. (Ed.) (1963). *The fabric of geology*. Stanford: Freeman, Cooper & Co.

Alvarez Suárez, R., Berjillos Ruiz, P., Garcia de La Torre, E., Melero Vara, J., Pedrinaci Rodriguez, E., Sequeiros Sanromán, L. (1992). *Treinta razones para aprender más Geología en la educación secundaria*. In: Simposio Enseñanza de la Geología, 7, Santiago de Compostela, 1992. Actas... Santiago de Compostela: AEPECT, p. 231-240.

Amaral, I. A. do. (1981). O conteúdo e o enfoque dos livros de Geologia Introdutória: estudo descritivo e analítico com base na macro-estrutura das obras atuais destinadas ao nível superior de ensino. São Paulo: Univ. São Paulo. Inst. Geoc. 259p. (Dissert. Mestr. Geoc.).

Amaral, I. A. do. (2014). Raízes da mudança curricular ocorrida em 1973 na USP. *Terræ Didática*, 10(3), 161-180. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v10i3.8637311>.

Anguita Virella, F. (1996). Geología y ciencias de la Tierra: etimología y un poco de historia. *Rev. de la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4(3), 177-180.

Barbosa, R. (2003). *Projeto Geo-Escola: recursos computacionais de apoio ao ensino de geociências nos níveis fundamental e médio*. Campinas: Inst. Geoc., Unicamp. 105p. (Dissert. Mestrado Geoc., CD-ROM). DOI: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2003.288019>.

Barbosa R. (2013). *Projeto Geo-Escola: proposta de ensino de Geociências para uma escola inovadora*. Campinas: Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. 105p. (Doutorado, PPPG-Ensino e História de Ciências da Terra). DOI: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2013.920387>.

Bertalanffy, L. von. (1977). *Teoria geral dos sistemas*. Petrópolis: Vozes. 351p.

Carneiro, C. D. R., Gonçalves, P. W. (2010). Earth System Science for undergraduate Geology and Geography courses. *Campinas, Terrae*, 7(1), 29-40.

Carneiro, C. D. R., Toniolo, J. C. (2012). A terra 'quente' na imprensa: confiabilidade das notícias sobre aquecimento global. *Revista Hist. cienc. saúde-Manguinhos [online]*, 19(2), 369-389. (abr.-jun. 2012). DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-59702012000200002>.

Carneiro, C. D. R., Brito-Neves, B. B. de, Amaral I. A. do, Bistrichi, C. A. (1994). O Atualismo como princípio metodológico em Tectônica. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 8(2/4), 275-293.

Carneiro, C. D. R., Gonçalves, P. W., Negrão O. B. M., Cunha C. A. L. (2008). Docência e trabalhos de campo nas disciplinas Ciência do Sistema Terra I e II da Unicamp. *Revista Brasileira de Geociências*, 38(1), 130-142. DOI: <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2008381130142>.

Carneiro, C. D. R., Menegat, R., Gonçalves, P. W. (2025). A saga do livro didático de Geologia: impresso, digital, híbrido? *Boletim Paranaense de Geociências*, 83(1), 1-14. DOI: <https://doi.org/10.5380/bpg.v83i1.98961>.

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: <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2004344553560>.

Cervato, C., Frodeman, R. (2012). *The significance of geologic time: cultural, educational, and economic frameworks*. The Geol. Soc. Am., Special Paper, (486), 19-27. DOI: [https://doi.org/10.1130/2012.2486\(03\)](https://doi.org/10.1130/2012.2486(03)). A importância do tempo geológico: desdobramentos culturais, educacionais e econômicos. Trad. M. C. Briani e P. W. Gonçalves. *Terræ Didática*, 10(1), 67-79. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v10i1.8637389>.

Clark, W. C. (2007). Sustainability Science: A room of its own. Editorial. *Proc. National Academy of Sciences of the USA*, 104(6), 1737-1738. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0611291104>.

Clifford, N. J. (2002). The future of geography: when the whole is less than the sum of its parts. *Geoforum*, 33(3), 431-436. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7185\(02\)00043-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7185(02)00043-X).

Covalada, R., Moreira, M. A., Concesa Caballero, M. (2005). Los significados de los conceptos de sistema y equilibrio en el aprendizaje de la mecánica. Estudio exploratorio con estudiantes universitarios. *Rev. Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 21p.

Drummond, C. N., Markin, J. M. (2008). An analysis of the Bachelor of Science in Geology degree as offered in the United States. *Journal of Geoscience Education*, 56(2), 113-119. DOI: <https://doi.org/10.5408/1089-9995-56.2.113>.

Earth Science Curriculum Project (ESCP). (1973). *Investigando a Terra*. v.1. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 435p.

Earth Science Curriculum Project (ESCP). (1976). *Investigando a Terra*. v.2. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 240p.

FitzGerald, D. M., Fenster, M. S., Argow, B. A., Buynevich, I. V. (2009). Coastal impacts due to sea-level rise. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 36, 601-647. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.35.031306.140139>.

Forgiarini, M. S., Auler, D. (2009). A abordagem de temas polêmicos na educação de jovens e adultos: o caso do "florestamento" no Rio Grande do Sul. *Rev. Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias*, 8(2), 400-421.

Frodeman, R. L. (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. L. (2003). *Geo-logic: Breaking grounds between philosophy and the Earth Sciences*. Albany: State Univ. of New York Press. 184p.

Frodeman, R. L. (2010). O raciocínio geológico: a geologia como uma ciência interpretativa e histórica. Trad. L. M. Fantinel e E. V. D. Santos. *Terræ Didactica*, 6(2), 85-99. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v6i2.8637460>.

Gantus-Oliveira, T. (2023). A formação do geólogo: a necessidade de um currículo contemporâneo para uma ciência cidadã. *Terræ Didactica*, 19(Publ. Contínua), 1-12, e023039. doi: <https://doi.org/10.20396/td.v19i00.8675066>.

Gonçalves, P. W. (1989). *Como se entrelaçam espaço e tempo no conhecimento da Terra?* Campinas: Univ. Est. Campinas, Fac. Educação. 130p. (Dissert. Mestrado Educação). DOI: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.1989.37999>.

Gonçalves, P. W. (1990). Geossinclíneos versus placas: dois paradigmas da Geologia. In: Lopes, M. M., Figueirôa, S. F. M. (1990). *O conhecimento geológico na América Latina: questões de história e teoria*. Campinas: IG-Unicamp. p. 205-229.

Gonçalves, P. W. (1994). *Análise sobre um livro didático de Geologia Introdutória*. In: Congr. Bras. Geol., 38, Baln. Camboriú, 1994. Anais... Baln. Camboriú, SBG. 2: 219-220.

Gonçalves, P. W. (1997). *A luz invisível: o conceito de analogia nas doutrinas natural e moral de James Hutton*. Campinas: Univ. Est. Campinas. 373p. (Tese Dout. Filosofia, Inst. Filos. e Ciênc. Humanas). DOI: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.1997.118686>.

Gonçalves, P. W. (2011). *Memorial Pedro Wagner Gonçalves. Memorial destinado ao Concurso de Livre Docência da Área de Ciências da Terra (Disciplinas Ciência do Sistema Terra I e II, Elementos de Geologia)*. Campinas: IG-Unicamp. 82p.

Gonçalves, P. W., Carneiro C. D. R. (2008). La danza de los continentes en el tiempo geológico. *Rev. de la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16(1), 107-116.

Gonçalves, P. W., Carneiro, C. D. R. (2024). Assentamentos humanos em deltas costeiros: um exemplo didático de Ciência do Sistema Terra. *Terræ Didática*, 20(Publ. Contínua), 1-14, e024030. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v20i00.8673254>.

Hamblin, W. K. (1975). *The Earth's dynamic systems: a textbook in physical geology*. Minneapolis: Burgess.

Hasui, Y., Carneiro, C. D. R., Almeida, F. F. M. de, Bartorelli, A. (Eds.) (2012). *Geologia do Brasil*. São Paulo: Ed. Beca. 900p. (Livro). (ISBN 978-85-62768-10-1).

Hodder, A. P. W. (1997). The transformation of Geology to Earth Sciences: an example of the appropriation of technology by science. *International Journal of Science Education*, 19(5), 553-563. DOI: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0950069970190504>.

Hoffman, M., Barstow, D. (2007). Revolutionizing Earth System Science Education for the 21st Century. Report and recommendations from a 50-State analysis of Earth Science Education Standards. Cambridge MA, TERC. Center for Earth and Space Science Education.

Holmes, A., Holmes, D. L. (1979). *Principles of Physical Geology*. 3 ed. London: Thomas Nelson & sons. 730p.

Hooke, R. L. B. (2000). On the history of humans as geomorphic agents. *Geology*, 28(9), 843-846. Sept. 2000. 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).

Imbernon, R. A. L., Vasconcelos, C., Mansur, K., Gonçalves, P. W., & Carneiro, C. D. R. (2023). Alice no país das rochas e o que ela não encontrou ali: adaptação de título do trabalho de Conrado Paschoale, in memoriam. *Terræ Didática*, 19(Publ. Contínua), 1-6, e023022. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v19i00.8673173>.

Kedrov, B. M. (1968). The geological form of motion in relation to other forms. In: *The interaction of sciences in the study of the Earth*. Moscow: Progress Publ. p.127-147.

Kitts, D. B. (1977). *The structure of geology*. Dallas: Southern Methodist Univ. Press. 180p.

Leemans, R., Asrar, G., Busalacchi, A., Canadell, J., Ingram, J., Larigauderie, A., Mooney, H., ..., Young, O. (2009). Developing a common strategy for integrative global environmental change research and outreach: the Earth System Science Partnership (ESSP). *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(1), 4-13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2009.07.013>.

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>.

Malaquias Júnior, J. R. (2012). *O ensino de Geociências como ponte entre o local e o global: Projeto Geo-Escola em Monte Mor, SP*. Campinas: Inst. Geoc., Unicamp. (Dissert. Mestr. PEHCT). DOI: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2013.901871>.

Marques, L., Praia, J. (2009). Educação em Ciência: actividades exteriores à sala de aula. *Terræ Didactica*, 5(1), 10-26. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v5i1.8637493>.

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.) (2023). *Explorando a Terra na Educação Básica*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas. p. 1-32. (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>.

Mayer, V. J. (1993). *Earth Systems Education*. March 1993 (Updated June 2003). Recuperado de <https://eric.ed.gov/?id=ED359049>.

Mayer, V. J. (2001). A alfabetização global em ciências no currículo da escola secundária. In: Marques, L., Praia, J. (Coords.). (2001). *Geociências nos currículos dos ensinos básicos e secundário*. Aveiro: Universidade de Aveiro. p. 167-190. ISBN:972-789-036-9.

Melendez, B., Fuster, J. M. (1973). *Geología*. Madrid: Ed. Paraninfo. 2v.

Pablos, J. L. (2004). Complejidad y Dualidad en el Sistema Terra. *Rev. de la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 12(3), 243-247.

Paschoale, C. (1984). *Alice no País da Geologia e o que ela encontrou lá*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro, 1984. Anais..., Rio de Janeiro: SBG. v. XI, p. 5.242-5.249.

Pitman, A. J. (2005). On the role of Geography in Earth System Science. *Geoforum*, 36(2), 137-148. (Critical review, gender and skilled migrants: into and beyond the workplace). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2004.11.008>.

Potapova, M. S. (1968). Geology as an historical science of nature. In: *The interaction of sciences in the study of the Earth*. Moscow: Progress, p.117-126.

Potapova, M. S. (2007). Geologia como uma ciência histórica da natureza. *Terræ Didactica*, 3(1), 86-90. [Trad. de: Potapova, M. S. (1968). Geology as an historical science of nature. In: *Interaction of sciences in the study of the Earth*. Moscow: Progress, p.117-126]. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v3i1.8637480>.

Rankey, E. C., Ruzek, M. (2006). Symphony of the spheres: perspectives on Earth System Science Education. *Journal of Geoscience Education*, 54(3), 197-201. DOI: <https://doi.org/10.5408/1089-9995-54.3.197>.

Rojero, F. F. (2000) ¿Una asignatura sistémica o sistemática? *Rev. de la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 8(3), 189-196. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2897439>.

Rudwick, M. J. S. (1976). The emergence of a visual language for geological science 1760-1840. *History of Science*, 14, 149-195. DOI: <https://doi.org/10.1177/007327537601400301>.

Simpson, G. G. (1963). Historical science. In: Albritton Jr., C. C. (Ed.) (1963). *The fabric of geology*. Stanford: Freeman, Cooper & Co.

Suertegaray, D. M. A. (2002). *Novos ritmos da natureza*. Porto Alegre, UFRGS. (Textos e artigos, palestra em Santa Cruz do Sul, UNISC, Encontro Geografia da AGB). 6p.

Tank, R. W. (Ed.) (1973). *Focus on environmental geology*. New York: Oxford Univ. Press. 470p.

Thrift, N. (2002). The future of geography. *Geoforum*, 33(3), 291-298. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7185\(02\)00019-2](https://doi.org/10.1016/S0016-7185(02)00019-2).

Turner II, B. L. (2002). Response to Thrift's "The future of geography". *Geoforum*, 33(3), 427-429. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7185\(02\)00027-1](https://doi.org/10.1016/S0016-7185(02)00027-1).