

**Programa de Pós-Graduação em Educação  
Universidade do Estado do Mato Grosso  
Cáceres - Mato Grosso - Brasil**

Revista da Faculdade de Educação - Vol. 41, (Jan/Dez) de 2025  
ISSN: 2178-7476



## **MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EXPERIMENTAÇÃO CIENTÍFICA: UM OLHAR EPISTEMOLÓGICO**

### **CLIMATE CHANGE AND SCIENTIFIC EXPERIMENTATION: AN EPISTEMOLOGICAL PERSPECTIVE**

### **CAMBIO CLIMÁTICO Y EXPERIMENTACIÓN CIENTÍFICA: UNA PERSPECTIVA EPISTEMOLÓGICA**

**Heydrian Freitas Ferreira**

Mestrando em Ensino (PPGEEn) no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6110-1939>

Email: [heydrianfreitas10@hotmail.com](mailto:heydrianfreitas10@hotmail.com)

**Marcelo Franco Leão**

Doutor em Educação e Ensino de Ciências, professor permanente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9184-916X>

Email: [Marcelo.leao@ifmt.edu.br](mailto:Marcelo.leao@ifmt.edu.br)

**Resumo:** este estudo investiga como diferentes abordagens epistemológicas podem contribuir para compreender e pesquisar as mudanças climáticas a partir da experimentação científica. Justifica-se pela necessidade de superar o reducionismo tradicional e construir uma ciência mais reflexiva e contextualizada. O objetivo é analisar, em perspectiva comparada, as contribuições de Francis Bacon, com o método indutivo-experimental; Edgar Morin, com o pensamento complexo; Fritjof Capra, com a visão sistêmica; e David Ausubel, com a teoria da aprendizagem significativa. A metodologia adotada é uma revisão bibliográfica de caráter teórico-analítico, voltada a identificar convergências e limites dessas concepções. Os resultados esperados indicam que a integração dessas epistemologias pode oferecer um quadro teórico abrangente e robusto para orientar a pesquisa experimental e o ensino de Ciências, favorecendo práticas educacionais mais significativas e ações mais eficazes frente aos desafios ambientais contemporâneos.

**Palavras-chave:** aprendizagem significativa, epistemologia científica, experimentação científica, mudanças climáticas, pensamento complexo.

**Abstract:** This study investigates how different epistemological approaches can contribute to understanding and researching climate change through scientific experimentation. It is justified by the need to overcome traditional reductionism and build a more reflective and contextualized science. The objective is to analyze, from a comparative perspective, the contributions of Francis Bacon, with the inductive-experimental method; Edgar Morin, with complex thinking; Fritjof Capra, with the systemic view; and David Ausubel, with the theory of meaningful learning. The methodology adopted is a theoretical-analytical literature review, aimed at identifying convergences and limitations of

these concepts. The expected results indicate that the integration of these epistemologies can offer a comprehensive and robust theoretical framework to guide experimental research and science teaching, fostering more meaningful educational practices and more effective actions in the face of contemporary environmental challenges.

**Keywords:** meaningful learning, scientific epistemology, scientific experimentation, climate change, complex thinking.

**Resumen:** Este estudio investiga cómo diferentes enfoques epistemológicos pueden contribuir a la comprensión e investigación del cambio climático mediante la experimentación científica. Se justifica por la necesidad de superar el reduccionismo tradicional y construir una ciencia más reflexiva y contextualizada. El objetivo es analizar, desde una perspectiva comparativa, las contribuciones de Francis Bacon, con el método inductivo-experimental; Edgar Morin, con el pensamiento complejo; Fritjof Capra, con la perspectiva sistémica; y David Ausubel, con la teoría del aprendizaje significativo. La metodología adoptada es una revisión teórico-analítica de la literatura, orientada a identificar las convergencias y limitaciones de estos conceptos. Los resultados esperados indican que la integración de estas epistemologías puede ofrecer un marco teórico completo y sólido para orientar la investigación experimental y la enseñanza de las ciencias, fomentando prácticas educativas más significativas y acciones más efectivas ante los desafíos ambientales contemporáneos.

**Palabras clave:** aprendizaje significativo, epistemología científica, experimentación científica, cambio climático, pensamiento complejo.

## Introdução

A crise climática emerge como o desafio do século XXI, demandando não apenas inovações tecnológicas, mas, fundamentalmente, uma profunda reavaliação dos alicerces epistemológicos que sustentam o conhecimento científico (Latour, 2020). Diante da aceleração sem precedentes das mudanças ambientais, a ciência tradicional, frequentemente caracterizada por sua abordagem fragmentada e reducionista, revela-se insuficiente para abarcar a magnitude e a interconexão do problema (Morin; Kern, 2005).

Nesse cenário, a epistemologia, definida por Paviani (2009) como o estudo crítico dos princípios, hipóteses e resultados das diversas ciências, com a finalidade de determinar seus fundamentos lógicos, seu valor e seu alcance objetivo, torna-se uma ferramenta indispensável para repensar os paradigmas que orientam a experimentação e a interpretação dos fenômenos climáticos.

Esta crise epistemológica, como aponta Latour (2020), não é um mero debate acadêmico, mas uma consequência direta da nossa dificuldade em conceber a Terra como um agente ativo, um sistema complexo que reage às nossas ações. A ciência moderna, herdeira de uma tradição que separou a natureza da sociedade, encontra-se em um impasse. Os modelos climáticos, por mais sofisticados que sejam, lutam para incorporar a imprevisibilidade das ações humanas, que não são meras variáveis externas, mas parte intrínseca do sistema climático no Antropoceno.

A superação desse impasse exige, portanto, mais do que dados, exige uma nova “política da natureza”, na qual o conhecimento científico é reconstruído em diálogo com outras formas de saber e com os próprios entes, como por exemplo os rios, florestas e atmosfera que antes eram vistos como passivos.

A urgência é palpável. O aumento de 1,1°C na temperatura média global desde a era pré-

industrial (IPCC, 2021) não é apenas um dado estatístico, é a manifestação de um sistema complexo em desequilíbrio, conectando oceanos, atmosfera, biosfera e as atividades humanas em uma teia de causas recíprocas. Eventos extremos cada vez mais frequentes e intensos, como furacões de categoria 5, megas secas e incêndios florestais de proporções catastróficas, demonstram a necessidade de novos paradigmas experimentais que vão além das limitações do reducionismo científico.

Este artigo propõe um diálogo teórico entre quatro pensadores cujas contribuições, embora distintas, convergem para a construção de uma abordagem mais integrada: Francis Bacon, Edgar Morin, Fritjof Capra e David Ausubel. Bacon, como precursor do método indutivo, estabeleceu a observação sistemática e a experimentação controlada como pilares do conhecimento científico. Em contrapartida, Morin e Capra, críticos do reducionismo, advogam por uma visão que abraça a complexidade e a interconexão dos sistemas. Ausubel, por sua vez, ilumina a dimensão cognitiva, com sua teoria da aprendizagem significativa, crucial para a comunicação e internalização do conhecimento climático.

O objetivo central é, portanto, discutir de que maneira a articulação dessas epistemologias pode sustentar e, ao mesmo tempo, desafiar a prática experimental voltada às mudanças climáticas, oferecendo um modelo mais robusto para a pesquisa e a educação. A atividade foi desenvolvida como requisito de avaliação final da disciplina de Epistemologia: teorias do conhecimento no Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ensino (PPGEEn), nível mestrado do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT) em associação ampla com a Universidade de Cuiabá (UNIC) no primeiro semestre de 2025.

A crise climática, em sua essência, é também uma crise epistemológica. Os modelos reducionistas falham em capturar a complexidade das interações socioambientais, e a separação dos componentes curriculares impede a formulação de respostas integradas e eficazes. A superação desse impasse exige uma ciência que não apenas descreva o mundo, mas que seja capaz de dialogar com suas incertezas e complexidades, transformando conhecimento em ação significativa.

A importância deste diálogo epistemológico torna-se ainda mais evidente quando consideramos que:

pensar a formação humana em suas diferentes esferas a partir de uma estratégia de pensamento que não seja redutora nem totalizante, mas reflexiva, a qual se opõe à racionalidade técnica, é um desafio posto no campo da Educação (Fam; Caixeta; Corrêa, 2022, p. 3).

Nessa perspectiva, a integração das abordagens epistemológicas propostas oferece alternativas concretas para superar as limitações do paradigma científico tradicional, especialmente quando aplicado aos complexos desafios climáticos contemporâneos.

## **Fundamentação Teórica**

A crise climática contemporânea exige uma reavaliação profunda dos paradigmas epistemológicos que sustentam a produção do conhecimento científico. Este artigo busca integrar as contribuições de Francis Bacon, Edgar Morin, Fritjof Capra e David Ausubel para propor uma abordagem mais robusta e contextualizada à experimentação científica e à educação no enfrentamento das mudanças climáticas. A seguir, exploraremos as perspectivas de cada um desses pensadores e como suas ideias podem dialogar para construir uma epistemologia mais adequada aos desafios do século XXI.

### **Francis Bacon e os Alicerces do Método Experimental**

Francis Bacon (1561-1626) é considerado um dos precursores do método científico moderno, defendendo a observação sistemática e a experimentação como pilares para a aquisição do conhecimento. Em sua obra, *Novum Organum* (1620), Bacon propôs um método indutivo que se contrapunha à lógica dedutiva aristotélica, argumentando que o conhecimento deveria ser construído a partir da experiência e da manipulação da natureza (Bacon, 1620).

Para Bacon, a ciência não deveria se limitar à contemplação, mas buscar a aplicação prática para o benefício da humanidade. Sua famosa máxima, “a natureza, para ser comandada, precisa ser obedecida” (Bacon, 1620), ressalta a importância de compreender as leis naturais através da experimentação para, então, dominá-las. Ele também alertou para os “ídolos”, que são os preconceitos e distorções que obscurecem a mente humana, como obstáculos à busca do conhecimento objetivo (Bacon, 1620).

No contexto das mudanças climáticas, a abordagem baconiana é fundamental para a coleta sistemática de dados meteorológicos e a realização de experimentos controlados que visam isolar e compreender variáveis específicas. Os protocolos contemporâneos de monitoramento atmosférico e os experimentos de simulação climática, como o projeto FACE (Free-Air CO<sub>2</sub> Enrichment), exemplificam a aplicação dos princípios baconianos na climatologia (IPCC, 2021). No entanto, o próprio artigo reconhece as limitações do reducionismo baconiano para sistemas complexos, sugerindo a necessidade de integrar essa perspectiva com outras que reconheçam a interconexão e a complexidade dos fenômenos socioambientais.

### **Edgar Morin e o Pensamento Complexo**

Edgar Morin (nascido em 1921), sociólogo e filósofo francês, propõe o “Pensamento Complexo” como uma alternativa ao reducionismo e à fragmentação do conhecimento científico tradicional. Em *Introdução ao Pensamento Complexo* (1990), Morin argumenta que a realidade é

multidimensional e interdependente, e que a ciência moderna, ao compartimentalizar o saber, perde a capacidade de compreender a totalidade dos fenômenos (Morin, 1990).

Morin defende a religação dos saberes através de princípios como o dialógico (associar termos complementares e antagonistas), a recursividade organizacional (onde produtos e efeitos são também causas) e o hologramático (a parte está no todo e o todo está na parte) (Morin, 1990). Sua epistemologia da complexidade reconhece a incerteza, a incompletude e a multidimensionalidade do conhecimento, enfatizando que o conhecimento é uma construção ativa que envolve o sujeito e o objeto (Morin, 1990).

A relevância do pensamento complexo para as mudanças climáticas é inegável. A crise climática não pode ser compreendida por uma única disciplina ou por uma abordagem reducionista, pois envolve interações entre sistemas naturais, sociais, econômicos e culturais. A visão de Morin permite abordar essa interconexão e a incerteza inerente aos sistemas socioambientais, oferecendo um quadro teórico para superar as limitações da abordagem baconiana quando aplicada a esses fenômenos complexos.

### **Fritjof Capra e a Visão Sistêmica da Vida**

Fritjof Capra (nascido em 1939), físico e teórico de sistemas, é um proponente da “Visão Sistêmica da Vida”, que se contrapõe ao mecanicismo cartesiano-newtoniano. Em obras como *A Teia da Vida* (1996), Capra argumenta que a vida deve ser compreendida como um sistema interconectado, auto-organizado e emergente, onde as propriedades do todo não podem ser reduzidas às suas partes isoladas (Capra, 1996).

Capra enfatiza a importância de pensar em termos de relacionamentos, padrões e contexto, e é um defensor da Ecologia Profunda. Este movimento filosófico questiona as premissas antropocêntricas, reconhecendo o valor intrínseco de todos os seres vivos e ecossistemas, e propondo uma mudança de paradigma para uma visão ecocêntrica (Capra, 1996). Para Capra, os problemas ambientais são sintomas de uma crise de percepção, de uma incapacidade de ver o mundo como um todo integrado, e a solução reside em uma mudança de consciência e na adoção de uma visão sistêmica (Capra, 1996).

A visão sistêmica de Capra é crucial para a compreensão das mudanças climáticas, que são fenômenos intrinsecamente sistêmicos e interconectados. Ela reforça a necessidade de uma abordagem global que considere as interações complexas entre os sistemas naturais e humanos. A Ecologia Profunda de Capra, por sua vez, pode embasar a discussão sobre a necessidade de uma mudança de valores e de uma ética ecocêntrica para enfrentar os desafios ambientais contemporâneos, complementando as perspectivas de Bacon e Morin ao oferecer uma lente para a interdependência dos sistemas (Capra, 1996).

## **David Ausubel e a Aprendizagem Significativa**

David Ausubel (1918-2008), psicólogo educacional, desenvolveu a Teoria da Aprendizagem Significativa, que se concentra em como os indivíduos adquirem e retêm novos conhecimentos. Ausubel distingue a aprendizagem significativa da aprendizagem mecânica: a primeira ocorre quando o novo conhecimento é relacionado de forma não arbitrária e substantiva à estrutura cognitiva existente do aprendiz, enquanto a segunda envolve a memorização sem conexão lógica com o conhecimento prévio (Ausubel, 1968).

Para que a aprendizagem seja significativa, é essencial que o aprendiz possua “subsunçores”, conceitos ou ideias relevantes em sua estrutura cognitiva, aos quais o novo conhecimento possa se ancorar. Ausubel também propôs o uso de “organizadores prévios” como ferramentas pedagógicas para ativar ou construir esses subsunçores, servindo como uma ponte entre o que o aluno já sabe e o que precisa saber (Ausubel, 1968). Sua famosa citação, “O fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie nisso os seus ensinamentos” (Ausubel; Novak; Hanesian, 1980), resume a centralidade do conhecimento prévio em sua teoria.

No contexto das mudanças climáticas, a teoria de Ausubel é vital para a comunicação e internalização do conhecimento científico. O artigo destaca a dimensão pedagógica e cognitiva da aprendizagem significativa, essencial para que o conhecimento sobre o clima transcenda os laboratórios e se converta em aprendizagem social e mudança comportamental (Ausubel, 1968). A aplicação dos princípios de Ausubel pode desenvolver estratégias educacionais mais eficazes para conscientizar e engajar a população nos desafios ambientais, garantindo que informações complexas sejam compreendidas e integradas de forma significativa pelos indivíduos (Ausubel, 1968).

## **Metodologia**

O levantamento bibliográfico seguiu os princípios metodológicos estabelecidos por Gil (2019) para pesquisa bibliográfica sistemática e os critérios de rigor científico propostos por Severino (2017) para análise documental. Conforme Gil (2019), a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos, permitindo ao pesquisador cobrir uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente.

Esta abordagem metodológica foi selecionada por sua adequação à natureza epistemológica da investigação, que não visa à coleta de dados empíricos primários, mas sim à análise, interpretação e síntese crítica de diferentes quadros teóricos.

A abordagem qualitativa fundamenta-se na proposta de Minayo (2014), segundo a qual a pesquisa qualitativa trabalha com o universo dos significados, dos motivos, das aspirações,



das crenças, dos valores e das atitudes. Esta abordagem mostra-se adequada para investigações epistemológicas que requerem análise interpretativa e crítica de teorias, permitindo a apreensão das nuances conceituais e das articulações teóricas entre diferentes paradigmas científicos.

O percurso investigativo foi estruturado em três fases distintas, desenvolvidas entre março e abril de 2025, no âmbito da disciplina Epistemologia: teorias do conhecimento no Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ensino (PPGEEn), nível mestrado do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT) em associação ampla com a Universidade de Cuiabá (UNIC) no primeiro semestre de 2025.

O processo de coleta foi estruturado em três etapas distintas: a primeira foi a identificação e seleção das obras primárias dos autores centrais; segunda etapa foi a busca sistemática em bases de dados acadêmicas; e por fim análise crítica e seleção final dos materiais.

Para a primeira etapa, foram consultadas as edições originais e traduções autorizadas de Bacon (*Novum Organum*, 1620), Morin (*Introdução ao Pensamento Complexo*, 1990), Capra (*A Teia da Vida*, 1996) e Ausubel (*Educational Psychology: A Cognitive View*, 1968). A escolha não foi aleatória, mas estratégica, visando representar paradigmas epistemológicos distintos e complementares.

Francis Bacon foi incluído como o modelo do método empírico-indutivo, que fundamenta grande parte da prática científica contemporânea, incluindo a climatologia. Edgar Morin e Fritjof Capra foram selecionados como expoentes do pensamento complexo e sistêmico, respectivamente, oferecendo um contraponto crítico ao reducionismo baconiano e ferramentas conceituais para lidar com a interdependência dos sistemas socioecológicos. Por fim, David Ausubel foi incorporado para introduzir a dimensão pedagógica e cognitiva, essencial para que o conhecimento científico sobre o clima transcenda os laboratórios e se converta em aprendizagem social e mudança comportamental.

Na segunda fase, foi realizado uma busca em bases de dados acadêmicas de ampla circulação, como SciELO, Periódicos Capes e Google Acadêmico. Foram utilizados descritores combinados, tais como: “epistemologia científica AND experimentação”, “mudanças climáticas AND método científico”; “pensamento complexo AND crise ambiental”, “visão sistêmica AND ecologia”, e “aprendizagem significativa AND educação ambiental”. Os critérios de inclusão para artigos secundários foram: publicação nos últimos 10 anos (2014-2024), relevância direta para o tema e contribuição para a articulação entre as teorias e a problemática das mudanças climáticas.

A terceira e mais crucial fase consistiu na síntese analítica do material levantado. Esta etapa transcendeu a mera junção de resumos teóricos. O esforço foi direcionado para a construção de um diálogo crítico entre as perspectivas, identificando pontos de convergência e divergência.

A análise dos materiais coletados fundamentou-se no método de análise de conteúdo proposto por Bardin (2016), seguindo suas três fases estruturantes: pré-análise, exploração do material e tratamento dos resultados. A análise buscou responder à questão central da pesquisa: como a integração dessas epistemologias pode enriquecer a concepção, execução e comunicação

---

da experimentação científica sobre mudanças climáticas? O resultado dessa fase é apresentado na seção 'Resultados e Discussão'.

## **Resultados e Discussões**

A análise das perspectivas epistemológicas de Bacon, Morin, Capra e Ausubel revela um panorama complexo e complementar de abordagens para a experimentação científica no contexto das mudanças climáticas. Os resultados demonstram que cada teoria oferece contribuições específicas que, quando articuladas, proporcionam um modelo teórico mais robusto e adequado aos desafios contemporâneos da pesquisa climática.

### **Francis Bacon e os Fundamentos do Método Experimental Moderno**

A análise da epistemologia baconiana revela sua contribuição fundamental para o estabelecimento dos princípios metodológicos da experimentação científica moderna. Em *Novum Organum* (1620), Bacon estabelece o método indutivo como alternativa ao sistema dedutivo aristotélico, propondo que "a natureza, para ser comandada, precisa ser obedecida" (Bacon, 1620, p. 35). Esta máxima encapsula sua concepção de que o conhecimento científico deve partir da observação sistemática dos fenômenos naturais.

A relevância contemporânea do método baconiano na experimentação climática encontra respaldo teórico nos princípios estabelecidos em *Novum Organum*, onde Bacon (1620) estabelece que a verdadeira interpretação da natureza se consegue através de casos particulares e experimentos adequados e oportunos, onde os sentidos decidem somente sobre o experimento, e o experimento sobre o ponto em questão (BACON, 1620). Esta formulação antecipa os protocolos contemporâneos de validação científica em climatologia, onde a observação empírica sistemática constitui o fundamento para a construção de modelos preditivos sobre mudanças climáticas.

No entanto, a aplicação integral do método baconiano aos estudos climáticos revela limitações significativas que exigem reflexão epistemológica crítica. Fundamentado nas contribuições de Morin, "buscar um novo modelo de ser humano, além das ambições mercadológicas" requer superar as limitações do reducionismo científico tradicional (Fam; Caixeta; Corrêa, 2022, p. 1). Esta superação não implica rejeição do rigor metodológico baconiano, mas sua integração com perspectivas epistemológicas que reconheçam a complexidade inerente aos sistemas climáticos.

Na aplicação aos estudos climáticos, a metodologia baconiana fundamenta os protocolos contemporâneos de coleta de dados meteorológicos. O sistema global de estações meteorológicas, as redes de monitoramento atmosférico e os programas de observação representam a materialização dos princípios baconianos de observação sistemática e acúmulo empírico de evidências.

Exemplos práticos da aplicação baconiana incluem os experimentos de simulação climática



em câmaras controladas, onde variáveis específicas, como a temperatura, umidade e concentração de CO<sub>2</sub>, que são manipuladas para observar seus efeitos isolados sobre sistemas biológicos. O projeto FACE (Free-Air CO<sub>2</sub> Enrichment), que expõe ecossistemas naturais a concentrações elevadas de dióxido de carbono, exemplifica a aplicação contemporânea do método experimental baconiano na pesquisa climática.

A análise revela também limitações significativas da abordagem reducionista baconiana quando aplicada a sistemas complexos como o clima. Latour (2000) argumenta que o isolamento de variáveis em condições controladas não consegue capturar as redes de interação que caracterizam os fenômenos climáticos em sua totalidade. A continuidade implícita no método baconiano mostra-se inadequada para compreender as dinâmicas não lineares e os pontos de variações característicos do sistema climático.

Apesar das limitações, o rigor metodológico baconiano permanece essencial para a validação científica. Sua ênfase na documentação sistemática e na replicabilidade experimental fornece as bases para a construção de consensos científicos, como evidenciado nos relatórios do IPCC, que consolidam milhares de estudos experimentais individuais em sínteses abrangentes.

### **Edgar Morin e o Paradigma da Complexidade na Experimentação**

A teoria da complexidade de Morin oferece uma alternativa ao reducionismo científico tradicional, propondo uma abordagem que integra ordem, desordem e organização em uma compreensão da realidade. Conforme Morin (1990, p. 45), “o pensamento complexo é, antes de tudo, um pensamento que busca superar a disjunção entre sujeito e objeto, entre natureza e cultura, entre ordem e desordem”.

Na experimentação climática, o paradigma da complexidade manifesta-se através de abordagens transdisciplinares que integram dados climatológicos, ecológicos, sociais e econômicos. O conceito de “sistema Terra” desenvolvido pela comunidade científica internacional exemplifica a aplicação prática dos princípios Morinianos, reconhecendo as interações complexas entre atmosfera, hidrosfera, biosfera.

A aplicação do pensamento complexo moriniano à experimentação climática exige uma reformulação fundamental dos pressupostos epistemológicos que orientam a pesquisa científica. Conforme Morin (2000), a educação do futuro deverá ser o ensino primeiro e universal, centrado na condição humana (Morin, 2000), princípio que se estende à formação de pesquisadores capazes de abordar a complexidade climática de forma integrada. Esta perspectiva encontra aplicação concreta nos projetos de experimentação participativa, onde comunidades locais contribuem com conhecimentos tradicionais que enriquecem a compreensão científica dos fenômenos climáticos.

Um exemplo desta integração é evidenciado pelos estudos de (Fontenele; Rosal, 2024) que

vinculam os saberes tradicionais à pesquisa científica formal, demonstrando como o diálogo entre diferentes formas de conhecimento pode enriquecer a experimentação sobre impactos climáticos em ecossistemas específicos. Esta abordagem materializa o princípio moriniano de religação dos saberes, superando a fragmentação disciplinar que caracteriza a ciência tradicional.

O projeto Earth System Models (Modelos do Sistema Terrestre) representa uma aplicação direta dos princípios da complexidade na modelagem climática. Estes modelos integram múltiplos subsistemas (atmosférico, oceânico, terrestre) em simulações que capturam retornos complexos e emergências sistêmicas. Diferente dos modelos lineares tradicionais, incorporam processos de organização e adaptação que caracterizam sistemas complexos.

A perspectiva moriniana requer modificações consideráveis nos desenhos experimentais tradicionais. Em lugar de experimentos que isolam variáveis, ele propõe investigações que observam padrões emergentes em sistemas abertos. Isto se concretiza em abordagens como a experimentação participativa, onde participantes colaboram no desenho e implementação de experimentos, contribuindo com perspectivas que escapam aos protocolos científicos convencionais.

A aplicação da complexidade na experimentação enfrenta desafios significativos relacionados à validação e replicabilidade. A inclusão de múltiplas variáveis e a ênfase em processos emergentes tornam difícil os motivos claros. Além disso, a integração de diferentes tipos de conhecimento (científico, local, tradicional) levanta questões epistemológicas sobre critérios de validade e confiabilidade.

### **Fritjof Capra e a Visão Sistêmica dos Fenômenos Climáticos**

A epistemologia sistêmica de Capra oferece ferramentas conceituais específicas para compreender a natureza interconectada dos fenômenos climáticos. Sua definição de que “os sistemas vivos são redes autopoiéticas de componentes interconectados, onde a totalidade é maior que a soma das partes” (Capra, 1996, p. 45) fornece uma base teórica para abordagens experimentais que privilegiam relações e padrões sobre elementos isolados.

A visão sistêmica de Capra oferece ferramentas conceituais específicas para compreender os fenômenos climáticos como manifestações de redes complexas de interação. Esta perspectiva encontra aplicação prática no desenvolvimento de metodologias experimentais que privilegiam a observação de padrões emergentes sobre a análise de componentes isolados. Como demonstra a pesquisa de Pereira-Silva e Castellanos (2024), a análise sistêmica da paisagem revela-se uma ferramenta eficaz, pois auxilia na proposição de medidas de controle e mitigação de efeitos ambientais negativos.

Na prática experimental, a visão sistêmica se concretiza através de três dimensões principais: redesenho de protocolos experimentais, desenvolvimento de novas formas de modelagem e inovação

nos processos de validação. Cada uma dessas dimensões representa uma aplicação específica dos princípios caprianos à investigação climática.

No redesenho de protocolos experimentais a abordagem sistêmica transforma a concepção tradicional de experimento controlado. Em lugar de isolar variáveis, os protocolos sistêmicos observam redes de interação em condições próximas às naturais. O projeto LTER (Long Term Ecological Research) exemplifica esta abordagem, monitorando ecossistemas inteiros ao longo de décadas para capturar padrões sistêmicos de resposta às mudanças climáticas, outro exemplo são os experimentos de manipulação de ecossistemas, onde intervenções específicas, como exclusão de chuva ou aquecimento experimental, são aplicadas a sistemas ecológicos completos, permitindo observar cascatas de efeitos e processos de autorregulação sistêmica.

Na modelagem sistêmica a visão Capriana inspira o desenvolvimento de modelos climáticos baseados em redes complexas, onde as interações entre componentes são tão importantes quanto os componentes individuais. Modelos de dinâmica de sistemas aplicados à climatologia capturam processos de autorregulação que escapam aos modelos lineares tradicionais.

A aplicação da visão sistêmica enfrenta limitações relacionadas à complexidade computacional e à dificuldade de comunicação de resultados. Modelos sistêmicos produzem resultados com probabilidades em lugar de resultados exatos, o que pode ser mal interpretado por tomadores de decisão acostumados a certezas científicas tradicionais.

### **David Ausubel e as Dimensões Cognitivas da Experimentação Climática**

A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel oferece contribuições fundamentais para compreender e otimizar as dimensões cognitivas e educacionais da experimentação climática. Onde o seu princípio central é “o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece” (Ausubel, 1968, p. 4), tem implicações profundas para o desenho, implementação e comunicação de experimentos sobre mudanças climáticas.

A aplicação da teoria ausubeliana à experimentação manifesta-se em três dimensões principais: desenho pedagógico de experimentos, estratégias de comunicação científica e metodologias de engajamento público. Cada dimensão representa uma contribuição específica para tornar a experimentação climática mais eficaz em termos cognitivos e sociais.

A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel oferece contribuições fundamentais para otimizar a comunicação dos resultados experimentais sobre mudanças climáticas. Como demonstra Camillo, Cueva e Vargas (2020), “existe uma relação entre trabalho cooperativo e aprendizagem significativa em estudantes universitários” (Camillo; Cueva; Vargas, 2020, p. 1), evidenciando que metodologias baseadas nos princípios ausubelianos produzem resultados mais eficazes na construção do conhecimento científico.

A aplicação da teoria ausubeliana à experimentação climática manifesta-se através de estratégias pedagógicas que conectam novos conhecimentos científicos às estruturas cognitivas preexistentes dos aprendizes. Conforme Ausubel (1968), o aprendizado que o estudante assimila ocorre na sala de aula com atividades de interação das novas informações com conhecimentos anteriormente adquiridos. Esta interação torna-se particularmente relevante na comunicação de resultados experimentais sobre mudanças climáticas, onde conceitos científicos abstratos devem ser conectados a experiências concretas dos participantes.

A teoria da aprendizagem significativa orienta o desenvolvimento de experimentos que conectam conceitos científicos abstratos com experiências concretas dos participantes. Experimentos sobre mudanças climáticas baseados em princípios ausubelianos utilizam organizadores prévios, que são conceitos familiares que servem como ponte cognitiva para novos conhecimentos.

Um exemplo prático são os experimentos de jardins climáticos, onde estudantes cultivam plantas em condições que simulam cenários climáticos futuros. Estes experimentos conectam o conhecimento prévio sobre agricultura e jardinagem, o que pode ser familiar aos participantes, com conceitos científicos sobre impactos climáticos, que são os novos conhecimentos, facilitando a aprendizagem significativa.

A teoria ausubeliana fundamenta estratégias que facilitam a análise dos resultados experimentais. A técnica de mapas conceituais, desenvolvida por Novak com base nas ideias de Ausubel, tem sido aplicada para comunicar conexões complexas entre diferentes aspectos das mudanças climáticas, por exemplo.

Estudos demonstram que a apresentação de resultados experimentais através de analogias baseadas em experiências cotidianas, como comparar o efeito estufa ao funcionamento de um carro fechado ao sol, produz compreensão mais duradoura e significativas.

Ausubel ainda orienta o desenvolvimento de metodologias de ciência participativa que engajam comunidades na experimentação. Estas metodologias reconhecem que diferentes grupos possuem diferentes estruturas de conhecimento prévio, exigindo abordagens diferenciadas.

Por exemplo, experimentos sobre impactos climáticos na agricultura utilizam o conhecimento tradicional dos agricultores como ponto de partida, integrando observações locais com medições científicas padronizadas. Esta abordagem não apenas produz dados cientificamente válidos, mas também promove aprendizagem significativa entre os participantes.

O também alerta que experimentos mal projetados podem produzir aprendizagem mecânica, que ocorre quando há apenas a memorização temporária sem compreensão concreta. Para evitar isto, experimentos devem ser cuidadosamente estruturados para conectar-se com conhecimentos prévios relevantes e promover diferenciação progressiva dos conceitos.

## Comparação e integração dos modelos teóricos analisados

A articulação dessas quatro perspectivas resulta em um modelo teórico-metodológico complementar e dinâmico para a experimentação sobre mudanças climáticas. O quadro 1 sintetiza as contribuições e a harmonia entre elas.

Quadro 1: Síntese Comparativa das Epistemologias e suas Contribuições para a Experimentação Climática

Epistemólogo	Teoria principal	Contribuição Central para a Experimentação Climática	Implicação prática
Francis Bacon (1561-1626)	Empirismo e Método Indutivo	Fornece os alicerces do rigor metodológico, da observação sistemática e da experimentação controlada para estabelecer relações causais básicas.	A Camada Fundamental: Garante a validade e a confiabilidade dos dados biofísicos que alimentam os modelos mais complexos, como a medições de temperatura, CO <sub>2</sub> etc.).
Edgar Morin (1921-)	Pensamento Complexo	Exige uma abordagem transdisciplinar que reconheça a interdependência entre sistemas naturais e sociais, a incerteza e o contexto.	A Camada Contextual: Expande o escopo dos experimentos para incluir variáveis sociais, econômicas e culturais, promovendo a integração de saberes e o estudo de fenômenos emergentes.
Fritjof Capra (1939-)	Visão Sistêmica	Oferece ferramentas conceituais para analisar a dinâmica de redes, os padrões de organização e os ciclos de retroalimentação que caracterizam o sistema climático.	A Camada Dinâmica: Permite o desenho de experimentos e modelos que focam nos padrões de interconexão e nos processos em múltiplas escalas, em vez de componentes isolados.

David Ausubel (1918-2008)	Aprendizagem Significativa	Destaca a necessidade de conectar o novo conhecimento científico às estruturas cognitivas pré-existentes do aprendiz para que a aprendizagem seja duradoura e significativa.	A Camada de Interface Social: Orienta o desenho da experimentação e da comunicação científica para que tenham um propósito pedagógico, facilitando a compreensão e o engajamento.
---------------------------	----------------------------	--	---

Fonte: Elaborado pelos autores (2025), com base na pesquisa bibliográfica.

Em suma, um experimento climático ideal, sob a integração das teorias abordadas nesse artigo, começaria com o rigor baconiano na coleta de dados, sendo delimitado pela complexidade moriniana para incluir dimensões socioecológicas, analisado utilizando a teoria sistêmica capriana para entender os padrões de rede e, finalmente, desenhado e comunicado com base nos princípios da aprendizagem significativa ausubeliana para garantir seu impacto social. Esta abordagem transforma a experimentação de uma mera ferramenta de descoberta em um processo cíclico de pesquisa-ação, diretamente ligado à educação e à transformação social.

A integração das quatro perspectivas epistemológicas oferece contribuições significativas para a educação científica e ambiental. A experimentação climática, quando fundamentada neste modelo integrado, torna-se uma ferramenta poderosa para promover letramento científico e engajamento ambiental.

O modelo integrado tem implicações importantes para a formação de professores em ciências e educação ambiental. Professores necessitam desenvolver competências que transcendem o domínio de conteúdos específicos, incluindo habilidades para integrar diferentes perspectivas epistemológicas e promover aprendizagem transdisciplinar. Apesar de suas potencialidades, o modelo teórico integrado enfrenta desafios significativos em sua implementação prática. A articulação de perspectivas epistemológicas diferentes exige competências metodológicas complexas e recursos consideráveis.

A implementação do modelo integrado requer mudanças nas estruturas institucionais da pesquisa científica, tradicionalmente organizadas em disciplinas separadas. A experimentação climática integral demanda colaboração entre áreas que frequentemente operam com paradigmas e linguagens diferentes.

A comunicação de resultados de experimentos integrados é mais complexa que a apresentação de resultados disciplinares tradicionais. Público leigo, tomadores de decisão e mesmo cientistas de outras áreas podem ter dificuldade para compreender e avaliar pesquisas que integram múltiplas perspectivas epistemológicas.



## **Desafios Epistemológicos e Implicações para a Formação de Pesquisadores**

A formação epistemológica integrada requer o desenvolvimento de competências transdisciplinares que transcendem as fronteiras tradicionais entre áreas do conhecimento. Pesquisadores que trabalham com mudanças climáticas necessitam dominar não apenas técnicas experimentais específicas, mas também compreender as interconexões entre sistemas naturais e sociais, as limitações do reducionismo científico e as possibilidades de integração entre diferentes formas de conhecimento.

Esta transformação formativa encontra respaldo na perspectiva moriniana de que a educação do futuro deverá ser o ensino primeiro e universal, centrado na condição humana (Morin, 2000). Aplicada à formação de estudantes, esta perspectiva implica o desenvolvimento de currículos que integrem fundamentos epistemológicos, metodologias experimentais avançadas e competências para o diálogo interdisciplinar.

A implementação prática deste modelo formativo enfrenta obstáculos institucionais significativos. As estruturas universitárias tradicionais, organizadas em departamentos disciplinares, frequentemente dificultam a colaboração transdisciplinar necessária para abordar a complexidade climática. Superar estas limitações requer mudanças organizacionais que favoreçam a criação de grupos de pesquisa integrados e programas de formação que transcendam as fronteiras disciplinares convencionais.

### **Considerações Finais**

A análise das perspectivas epistemológicas integradas revelou que a superação dos desafios climáticos contemporâneos requer não apenas inovações metodológicas, mas também uma transformação dos pressupostos filosóficos que orientam a experimentação científica. Como demonstrado ao longo desta investigação, cada epistemólogo analisado oferece contribuições específicas que, quando articuladas, proporcionam um trabalho teórico mais robusto para a pesquisa climática.

As implicações desta investigação estendem-se além da pesquisa climática, alcançando dimensões educacionais e sociais fundamentais. A experimentação baseada em princípios epistemológicos integrados pode contribuir para a formação de cidadãos mais preparados para compreender e enfrentar os desafios ambientais contemporâneos, promovendo o desenvolvimento de competências científicas e ambientais necessárias para a construção de sociedades sustentáveis.

Estudos futuros devem concentrar-se na implementação e avaliação de programas experimentais baseados no modelo epistemológico integrado proposto. Investigações empíricas que testem a eficácia desta abordagem em diferentes contextos educacionais e de pesquisa poderão fornecer evidências adicionais sobre sua relevância para a educação científica e ambiental contemporânea.

Esta investigação demonstrou que a articulação das perspectivas epistemológicas de Francis Bacon, Edgar Morin, Fritjof Capra e David Ausubel oferece fundamentos teóricos sólidos para o desenvolvimento de abordagens experimentais mais adequadas aos desafios das mudanças climáticas. A análise revelou que cada epistemólogo contribui com dimensões específicas e complementares que, quando integradas, superam as limitações do reducionismo científico tradicional.

Reconhece que a implementação prática do modelo proposto enfrenta desafios significativos, incluindo questões metodológicas, institucionais e de comunicação. No entanto, a urgência da crise climática e a inadequação das abordagens reducionistas tradicionais justificam os esforços necessários para desenvolver e implementar perspectivas epistemológicas mais integradas e eficazes.

Conclui-se que a superação dos desafios climáticos contemporâneos requer não apenas inovações tecnológicas, mas fundamentalmente uma transformação epistemológica que reconheça a complexidade, a sistematicidade e a significância cognitiva dos fenômenos investigados. A articulação das perspectivas de Bacon, Morin, Capra e Ausubel oferece uma contribuição significativa para esta transformação necessária.

## Referências

- AUSUBEL, David Paul. *Educational Psychology: A Cognitive View*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- AUSUBEL, David Paul; NOVAK, Joseph Donald; HANESIAN, Helen. *Psicologia Educacional*. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- BACON, Francis. *Novum Organum*. Londres: William Rawley, 1620.
- BARDIN, Laurence. *Análise de Conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2016.
- CAMILLO, Javier Giraldo Huaman; CUEVA, Francis Esmeralda Ibarguen; VARGAS, Isabel Menacho. *Trabalho cooperativo e aprendizagem significativa em matemática em estudantes universitários de Lima*. Educação & Formação, Fortaleza, v. 5, n. 3, p. e3079, 2020. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/redufor/article/view/3079>. Acesso em: 5 set. 2025.
- CAPRA, Fritjof. *A Teia da Vida: Uma Nova Compreensão Científica dos Sistemas Vivos*. São Paulo: Cultrix, 1996.
- FAM, Antônio Eustáquio de Oliveira; CAIXETA, Natália Maria Pereira; CORRÊA, Thiago Henrique Barnabé. *A docência universitária sob a ótica do pensamento complexo*. Polymatheia, Fortaleza, v. 15, n. 26, p. 1-20, 2022. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/revistapolymatheia/article/view/6879>. Acesso em: 5 set. 2025.
- FONTENELE, Laryany Farias Vieira; ROSAL, Louise Ferreira. *Diálogos sobre a temática de plantas medicinais no IFPA – Conceição do Araguaia*. Práticas Educativas, Memórias e Oralidades, Fortaleza, v. 6, p. e14576, 2024. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/revpemo/article/view/14576>. Acesso em: 5 set. 2025.
- GIL, Antonio Carlos. *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- IPCC. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.
- LATOUR, Bruno. *Políticas da Natureza: Como Fazer Ciência na Democracia*. Bauru: EDUSC, 2000.

LATOUR, Bruno. *Onde Aterrizar? Como se Orientar Politicamente no Antropoceno*. Rio de Janeiro: Bazar do Tempo, 2020.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. *O Desafio do Conhecimento: Pesquisa Qualitativa em Saúde*. 14. ed. São Paulo: Hucitec, 2014.

MORIN, Edgar. *Introdução ao Pensamento Complexo*. Lisboa: Instituto Piaget, 1990.

MORIN, Edgar; KERN, Anne Brigitte. *Terra-Pátria*. 6. ed. Porto Alegre: Sulina, 2005.

MORIN, Edgar. *Os sete saberes necessários à educação do futuro*. 2. ed. São Paulo: Cortez; Brasília, DF: UNESCO, 2000

PAVIANI, Jayme. *Epistemologia: Problemas e tendências contemporâneas*. Caxias do Sul: EDUCS, 2009.

PEREIRA-SILVA, Erico Fernando Lopes; CASTELLANOS, José Manuel Crespo. O construtivismo crítico e transformador para uma educação em paisagem. *Práticas Educativas, Memórias e Oralidades*, Fortaleza, v. 7, p. e14389, 2024. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/revpemo/article/view/14389>. Acesso em: 5 set. 2025.

SEVERINO, Antonio Joaquim. *Metodologia do Trabalho Científico*. 24. ed. São Paulo: Cortez, 2017.

**Recebido em 29 de setembro de 2025**

**Aceito em 20 de novembro de 2025**

**Publicado em 11 de dezembro de 2025**