

ABORDAGEM DOS SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS COMO LENTE TEÓRICA PARA PESQUISAS EM CIÊNCIA AMBIENTAL

Silvia Sayuri Mandai - silvia.mandai@usp.br
Guilherme Prado Alves - guilhermepradoalves@usp.br
Lyvia Amado Oliveira - lyvia.oliveira@usp.br
Renata Utsunomiya - renata.utsunomiya@usp.br
Laize Sampaio Chagas Silva - laizesampaio@usp.br

* Submissão em: 14/10/2023 | Aceito em: 10/12/2023

RESUMO

Mudanças ambientais têm imposto desafios às formas de produção de conhecimento, já que estas são amplamente pautadas em metodologias reducionistas e cartesianas. Considerando esse pressuposto e as incertezas da relação sociedade-natureza, este ensaio teórico discute a aplicabilidade da abordagem de sistemas socioecológicos em ciência ambiental. Para isso, apresentamos seu histórico e principais características, e relacionamos esta abordagem com a ciência pós-normal e abordagem biocultural. Debates a necessidade da ampliação da comunidade de pares e de uma mudança de paradigma na organização social, apresentando a ideia do *Buen Vivir*. Concluímos que a abordagem de sistemas socioecológicos é uma lente teórica potencial para compreender a realidade complexa e suas relações socioecológicas.

Palavras Chaves: Ciência pós-normal; Participação social; Relações socioecológicas; Sistemas complexos.

APPROACH OF SOCIOECOLOGICAL SYSTEMS AS A THEORETICAL LENS FOR RESEARCH IN ENVIRONMENTAL SCIENCE

ABSTRACT

Environmental changes have posed challenges to knowledge production methods, given that these are largely based on reductionist and Cartesian methodologies. Considering this assumption and the uncertainties of the society-nature relationship, this theoretical essay discusses the applicability of the socioecological systems approach in environmental science. To do so, we present its history and main characteristics and relate this approach to post-normal science and the biocultural approach. We discuss the need for expanding the peer community and a paradigm shift in social organization, introducing the concept of *Buen Vivir*. We conclude that the socioecological systems approach is a potential theoretical lens for understanding complex reality and its socioecological relationships.

Keywords: Post-normal science; Social participation; Socioecological relationships; Complex systems.

1 INTRODUÇÃO

O planeta Terra tem passado por mudanças globais que se intensificaram principalmente após a Segunda Revolução Industrial, com avanços tecnológicos, crescimento da população, globalização e aumento de projetos de crescimento econômico, como infraestrutura linear, urbanização, agropecuária e usinas de produção energética (STEFFEN *et al.*, 2015; MORAN *et al.*, 2018). Tais alterações estão relacionadas aos modos de produção, consumo e descarte e ao distanciamento da relação ser humano-natureza nas populações marcadas pelo paradigma da modernidade (HOOPER *et al.*, 2005; CHIN *et al.*, 2017), que resultaram em efeitos planetários em cascata, sobrecarregando a capacidade de suporte da Terra, por exemplo, em relação à manutenção climática e da biodiversidade (STEFFEN *et al.*, 2015).

Pela intensidade e frequência das alterações planetárias provocadas pelas atividades antrópicas, inclusive nas condições geofísicas da Terra, houve a proposição de uma nova época geológica chamada Antropoceno (WATERS *et al.*, 2016). Este termo é informalmente utilizado para se referir a um período em que os impactos antrópicos modificaram, em escala geológica, certa estabilidade de 10 a 12 milhões de anos do Holoceno, e as condições de vida na Terra (CRUTZEN, 2002; CASTREE, 2017). Tais mudanças têm acentuado as vulnerabilidades e tensões socioambientais e evidenciam as grandes desigualdades sociais (BIGGS *et al.*, 2022a), de gênero (TAVARES; CALGARO, 2020), étnicas e de poder (LATOURE, 2020). Por exemplo, os efeitos deletérios do aquecimento global, intensificados pelas atividades humanas, promovem o aumento do nível do mar e, em regiões litorâneas, tornam ainda mais vulneráveis os grupos de menor poder aquisitivo. Biggs *et al.* (2022a) também citam o caso da Etiópia, em que a intensa degradação ambiental tem acarretado impactos significativos no sistema de produção de alimentos e na segurança política do país (MOHAMED 2017; BAHRU *et al.* 2019). Ambos os exemplos destacam a interdependência entre os sistemas biofísicos e sociais, bem como a complexidade de suas relações. Estas condições impõem desafios para cientistas, atores políticos e organizações da sociedade civil (FOLKE *et al.* 2016; PREISER *et al.*, 2018), suscitando a necessidade de um novo paradigma científico que incorpore os desafios de um planeta em rápida transformação socioambiental e climática (SCHOON; VAN DER LEEUW, 2015).

Observa-se, portanto, que os objetos de estudo e as relações que permeiam o campo da sustentabilidade são dotados de complexidade, incerteza e não-linearidade, o que impede sua modelagem e análise a partir de perspectivas estritamente instrumentalizadas, disciplinares e

puramente numéricas (JACOBI; GIATTI; AMBRIZZI, 2015). Desse modo, é preciso considerar as diversas escalas e particularidades da relação ser humano-natureza de maneira integradora e interdisciplinar (SOUSA, 2022). Ou seja, para lidar com os desafios emergentes do Antropoceno, é urgente a adoção de abordagens que reconheçam a natureza sistêmica das interações entre ecossistemas naturais e sociedades humanas (LIU *et al.*, 2015; FOLKE *et al.*, 2016). Nesse panorama, a lente dos sistemas socioecológicos complexos se apresenta como uma abordagem teórica oportuna para compreender essas interações complexas e dinâmicas entre os sistemas biofísicos e sociais de forma integrada, uma vez que pesquisadores de diferentes campos têm considerado cada vez mais que ambos os sistemas são interdependentes e inseparáveis (FOLKE *et al.* 2016; REYERS *et al.* 2018; BIGGS *et al.*, 2022a). Esta proposição ainda é amparada por Biggs *et al.* (2022a), que reconhecem essa lente teórica como um importante campo de pesquisa na emergente ciência para a sustentabilidade.

Dada a crescente importância da integração entre sistemas sociais e biofísicos para a pesquisa inter e transdisciplinar em sustentabilidade, este ensaio teórico apresenta um panorama geral sobre a abordagem dos sistemas socioecológicos, debatendo o histórico do conceito, principais características, relações epistemológicas e tendências em pesquisa. Este ensaio emerge de discussões realizadas pelo Grupo de Pesquisa Planejamento e Gestão Ambiental (PLANGEA)¹, cujos pesquisadores vêm realizando trabalhos sobre as relações entre Sociedade e Natureza desde 2007, adotando, dentre outras, a abordagem dos sistemas socioecológicos. Dessa maneira, o trabalho apresenta-se como um referencial introdutório para o desenvolvimento de pesquisas científicas.

2. HISTÓRICO E CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS

Até a década de 1970, as abordagens teóricas sobre o manejo de bens comuns se concentravam em solucionar problemas relacionados à má gestão e esgotamento dos recursos naturais. As abordagens eram predominantemente reformistas, pouco transformadoras e buscavam essencialmente a melhoria na gestão dos recursos por meio do controle dos excessos das práticas tradicionais. Não se pode negar que tais avanços foram necessários para os aprimoramentos na gestão socioambiental, porém ainda eram insuficientes (BERKES; FOLKE, 1998). Para o aprimoramento do manejo de recursos naturais, havia a necessidade de

¹ sediado na Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH-USP)

se compreender, de forma integrada, as relações entre os sistemas sociais e ecológicos (MORETTO *et al.*, 2021). Visto que as problemáticas em torno da relação ser humano-natureza não se restringem às dinâmicas biológicas (JACOBI; GIATTI; AMBRIZZI, 2015), logo se suscitou a necessidade de desenvolver novas abordagens, que incluíssem as dimensões políticas, econômicas, institucionais e socioculturais.

Paralelamente às discussões sobre gestão dos bens comuns, outro debate no campo da Economia também estava se desenvolvendo. A teoria econômica, por muito tempo, não tinha nenhuma escola que considerasse a finitude dos recursos naturais em suas práticas e dinâmicas, gerando diversas externalidades e injustiças socioambientais. Na visão da economia neoclássica, o sistema biofísico era ilimitado e subjugado ao sistema econômico, ou seja, a capacidade de suporte dos ecossistemas e a finitude dos recursos não eram equacionadas no sistema econômico (CAVALCANTI, 2007; MENUZZI; SILVA, 2015). Contudo, alguns estudiosos passaram a criticar a ideia de “infinitude dos recursos naturais”, como Daly e Georgescu-Roegen. Ambos fazem parte de um campo do conhecimento interdisciplinar conhecido como Economia Ecológica, que trata o sistema econômico como um subsistema de um universo biofísico maior, ou seja, a Economia Ecológica reconhece os limites planetários. Georgescu-Roegen, por exemplo, utilizou as leis da termodinâmica (campo da física) para propor e discutir como a economia deveria internalizar as externalidades socioambientais na função de produção. Para tanto, seria necessária uma adequada gestão dos componentes e processos ecossistêmicos para que as atividades antrópicas operassem dentro dos limites planetários (FARLEY; VOINOV, 2016).

Em meio a essas discussões, a abordagem dos sistemas socioecológicos surge na década de 1990, entre cientistas dos sistemas de recursos naturais comuns e da Economia Ecológica (BIGGS *et al.*, 2022a), resultando na coalizão de pesquisadores de campos disciplinares (COLLINS *et al.*, 2011). Antes da abordagem integrada dos sistemas socioecológicos, a economia e as ciências sociais consideravam os sistemas naturais apenas como fonte de recursos para geração de capital ou para a manutenção dos modos de vida das populações humanas (GUNDERSON; HOLLING, 2002; BERKES, COLDING, FOLKE 2003). Em 1998, Fikret e Berkes uniram as abordagens provenientes da gestão de recursos comuns e Economia Ecológica e ressaltaram a importância da organização econômica, social, política e institucional na mediação da relação entre seres humanos e serviços ecossistêmicos. Desde então, o campo dos sistemas socioecológicos vem se consolidando como área do conhecimento e como lente teórica, o que permitiu a expansão de pesquisas em sistemas

socioecológicos, principalmente nos EUA, Suécia, Austrália e África do Sul (BIGGS *et al.*, 2022b). Nesse contexto, Biggs *et al.* (2022b) estimaram cerca de 13 mil publicações sobre sistemas socioecológicos após a publicação da *framework* de Berkes e Folke (1998), que englobam principalmente os campos das ciências ambientais, sociais e econômicas. Juntamente com o desenvolvimento do campo de sistemas socioecológicos, novos métodos também foram se desenvolvendo. Em 2022, o *Routledge Handbook of Research Methods for Social-Ecological Systems* (“Manual Routledge de Métodos de Pesquisa em Sistemas Socioecológicos”, tradução nossa) reuniu os principais métodos aplicados em sistemas socioecológicos ao redor do mundo, apresentando também exemplos de aplicação e *frameworks* que auxiliam no delineamento de pesquisas (BIGGS *et al.*, 2022b).

Inúmeras definições de sistemas socioecológicos estão presentes na literatura, de forma bastante complementar. De modo geral, os sistemas socioecológicos são definidos como sistemas complexos multinível e hierárquicos aninhados, em que elementos e processos sociais e ecológicos operam intrinsecamente em conjunto, por meio de interações bidirecionais, produzindo resultados que retroalimentam o sistema em um ciclo adaptativo (GUNDERSON; HOLLING, 2002; HOLLING, 2001; FOLKE, 2006; WILLSTEED *et al.*, 2018). Nessa perspectiva, o ser humano é compreendido como parte intrínseca e inseparável da natureza, influenciando e sendo influenciado pelos sistemas sociais e biofísicos simultaneamente. Do mesmo modo, o sistema biofísico influencia e é influenciado pelo sistema social. Assim, diferentemente dos campos disciplinares da ecologia ou biologia, o arcabouço dos sistemas socioecológicos inclui explicitamente o sistema social e os componentes humanos em suas análises sobre interações ecológicas, ou seja, um sistema socioecológico compreende componentes biofísicos a partir de sua conexão intrínseca com sistemas socioculturais e econômicos (ANDERIES; JANSSEN; OSTROM, 2004). De maneira geral, um sistema socioecológico envolve subsistemas geográficos, biológicos, econômicos e culturais, que produzem interações constantes entre si, em diferentes escalas espaciais e temporais (WALKER *et al.*, 2002; LIU *et al.*, 2007; OSTROM, 2009).

Na concepção dos sistemas socioecológicos, os conceitos de ambiente e sociedade devem ser tratados como uma unidade indivisível, e a compreensão de suas dinâmicas não pode ser alcançada em plenitude quando tais conceitos são observados em isolamento ou separados um do outro (BERKES; FOLKE, 1998). Ainda, os sistemas socioecológicos extrapolam a soma entre os processos e componentes dos sistemas sociais e biofísicos, por conta dos mecanismos de *feedback* (retroalimentação) do sistema socioecológico

(MITCHELL, 2016; PREISER *et al.*, 2018; BIGGS *et al.*, 2022a). Dessa forma, um sistema socioecológico é um sistema integrado e coeso em si mesmo, sendo que os *feedbacks* entre as interfaces social e ecológica determinam e estruturam a dinâmica geral do sistema (BIGGS; SCHLÜTER; SCHOON, 2015). Em síntese, analisar as relações entre os sistemas é mais importante do que apenas cada sistema e seus componentes individualmente.

O funcionamento de um sistema socioecológico é dinâmico: seus componentes e subsistemas múltiplos interagem constantemente entre si em padrões não-lineares, em múltiplas escalas temporais e espaciais, produzindo resultados imprevisíveis (HOLLING, 2001; BUSCHBACHER, 2014; PREISER *et al.*, 2018; WILLSTEED *et al.*, 2018). Esse dinamismo dos sistemas tende a gerar ordem e estrutura dentro de certa estabilidade, principalmente por conta dos mecanismos de *feedback* positivo (FOLKE *et al.*, 2010), sem que suas trajetórias exatas possam ser predeterminadas (BUSCHBACHER, 2014). Os sistemas socioecológicos podem ser caracterizados por serem sistemas abertos, dinâmicos, constituídos de forma relacional, com capacidades adaptativas, dependentes do contexto em que estão inseridos e por terem causalidade complexa (PREISER *et al.*, 2018).

Além das características aqui descritas, os sistemas socioecológicos operam como ciclos adaptativos, ou seja, as dinâmicas dos sistemas compreendem mudanças na estrutura e no funcionamento dos sistemas socioecológicos ao longo do tempo (WALKER *et al.*, 2006). O ciclo adaptativo apresenta quatro fases de mudanças, resultantes da dinâmica interna do sistema socioecológico e de influências externas. A primeira fase do ciclo adaptativo é a fase de crescimento (r), caracterizada pelo estágio em que o sistema acumula biomassa, nutrientes e alta resiliência (e.g., aumento da riqueza do ecossistema, da produtividade, fortalecimento das relações sociais, da confiança mútua etc.). Na fase de crescimento, as interações entre os componentes do sistema socioecológico aumentam e mais recursos e energia são necessários para mantê-las. Tais características dão origem à segunda fase - conservativa (K) - em que o crescimento do sistema se torna mais lento, os seus componentes estão mais conectados e estáveis e, portanto, estão menos flexíveis à mudança.

As características das duas primeiras fases levam o sistema socioecológico a acumular vulnerabilidades e a capacidade de resistir a perturbações externas diminui (WALKER *et al.*, 2006). A estrutura vulnerável e a baixa resiliência do sistema socioecológico tornam o mesmo suscetível a crises e transformações. Nesse contexto, qualquer evento externo (e.g., um incêndio florestal, instabilidades políticas e econômicas) pode levar o sistema à fase de liberação (Ω), na qual os recursos acumulados são liberados, as conexões entre os

componentes são interrompidas e o controle de *feedback*, enfraquecido (GUNDERSON; HOLLING, 2002). Deste modo, o sistema passa a operar na fase de reorganização (α), a última fase da trajetória de mudança do sistema socioecológico e a menos conhecida. Na fase de reorganização, inicia-se um processo de reestruturação do sistema com muitas oportunidades de trajetória e potencial disponível de opções futuras (HOLLING, 2001; GUNDERSON; HOLLING, 2002). A passagem da fase de liberação para a fase de reorganização é um período de rápida reorganização, sendo esta trajetória inerentemente imprevisível e incerta. Nas duas últimas fase do ciclo adaptativo, todo o capital e experiência acumulados podem ser reordenados e novas combinações entre os componentes do sistema socioecológico podem resultar em uma nova fase, porém similar à fase de crescimento anterior, ou então combinações inesperadas podem resultar na mudança total da estrutura do sistema (HOLLING, 2001; WALKER *et al.*, 2004; WALKER *et al.*, 2006).

A panarquia é a representação de um conjunto de ciclos adaptativos aninhados de maneira hierárquica, em diferentes escalas de espaço e tempo (GUNDERSON; HOLLING, 2002; BIGGS *et al.*, 2022a). A panarquia remete à natureza adaptativa e evolutiva dos sistemas socioecológicos e o funcionamento dos ciclos adaptativos aninhados e a comunicação entre eles determinam a sustentabilidade do sistema (HOLLING, 2001). A *framework* da panarquia destaca que o comportamento do sistema socioecológico, em condições sustentáveis e independentemente da escala, dependerá da interação entre os componentes da mesma escala e das interações com sistemas em menor ou maior escala - *feedbacks* positivos (GUNDERSON; HOLLING, 2002; BERKES; ROSS, 2016). Portanto, o conceito de panarquia caracteriza sistemas complexos de pessoas e natureza dinamicamente organizados e estruturados, que leva em consideração escalas espaciais e temporal (ALLEN *et al.*, 2014).

A panarquia pode ser aplicada na compreensão do funcionamento dos sistemas socioecológicos ao considerar que sistemas sociais e ecológicos interagem juntos e que os múltiplos níveis de sistemas interagem por meio de *feedback* mútuo (BERKES; ROSS, 2016). Cada nível é influenciado por processos internos (e.g., as relações dentro de uma comunidade), mas também é afetado por ações de níveis menores (e.g., indivíduo, unidade familiar) e por agentes de mudança de níveis superiores (e.g., políticas públicas nacionais, demanda do mercado internacional) (BERKES; ROSS, 2016). Os diferentes níveis possuem relação de interdependência e coevoluem.

As relações entre os sistemas socioecológicos como panarquia sugerem que as interações que ocorrem de “cima para baixo” e de “baixo para cima” entre as escalas, são essenciais para manter a característica criativa e conservadora do sistema (HOLLING, 2001). Além disso, a panarquia serve para compreender que a dinâmica de mudança em um sistema exige inseri-lo em um contexto maior, que possa abranger a sua história, intervenções e políticas públicas. E, deste modo, seja possível indicar quais processos de aprendizagem foram mantidos e quais mudanças foram necessárias para a continuidade do sistema (HOLLING; GUNDERSON; PETERSON, 2002).

A estabilidade de um sistema, em meio a mudanças e pressões internas ou externas, juntamente com sua capacidade de adaptação, habilidade de auto-organização e aprendizagem, faz parte da resiliência do sistema (WALKER *et al.*, 2004; LEVIN *et al.*, 2012; PREISER *et al.*, 2018). A resiliência é uma das propriedades emergentes de sistemas socioecológicos, que se refere à capacidade do sistema de enfrentar e absorver distúrbios e perturbações, e ainda assim manter suas funções, estruturas, identidade e mecanismos de *feedback* fundamentais (WALKER *et al.*, 2004; FOLKE *et al.*, 2005; RESILIENCE ALLIANCE, 2010). Em sistemas socioecológicos resilientes, o distúrbio é considerado uma oportunidade para a aprendizagem e reorganização; em sistemas vulneráveis, por outro lado, mínimos distúrbios causam consequências drásticas (FOLKE *et al.*, 2006).

Ainda que sistemas socioecológicos sejam dinâmicos, acredita-se que eles operem em torno de uma faixa de operação considerada normal (GUNDERSON; HOLLING, 2002). A faixa de operação normal é definida pelo conjunto de condições que permite o sistema manter e reproduzir sua estrutura, funcionalidades e redes de *feedback*, em um equilíbrio dinâmico. Neste contexto, a resiliência é uma das propriedades que permite o sistema orbitar esta faixa de operação normal, sem que ele se afaste ou permaneça por muito tempo distante dela, o que diminui as chances de ruptura ou supressão de componentes importantes para o sistema socioecológico (MORETTO *et al.*, 2013). Apesar dos estudos em resiliência terem como base o campo da ecologia, tal recorte também passou a ser integrado à perspectiva dos sistemas socioecológicos na década de 1990. O intuito de integrar a resiliência aos sistemas socioecológicos tem sido manter a capacidade dos sistemas biofísicos em fornecer serviços ecossistêmicos, mesmo quando o sistema encontra-se impactado (BUSCHBACHER, 2016).

Biggs *et al.* (2012) propuseram sete princípios para manter a resiliência de um sistema socioecológico: 1) manter a diversidade e redundância; 2) gerenciar a conectividade; 3) gerenciar variáveis lentas e *feedbacks*; 4) adotar o pensamento de sistemas adaptativos

complexos; 5) promover a aprendizagem do sistema; 6) ampliar a participação; e 7) promover sistemas de governança policêntricos. Contudo, Biggs *et al.* (2015) apontam que tais princípios precisam ser analisados com cuidado e discutem que há situações em que tais estratégias podem não manter a resiliência, mas sim, diminuí-la. Por exemplo, a conectividade (ecológica e/ou social) pode aumentar ou diminuir a resiliência de um sistema socioecológico. Por um lado, pode aumentar o fluxo gênico ou de informações e auxiliar na manutenção do sistema; e por outro, a conectividade pode aumentar a dispersão de invasores (e.g., espécies exóticas) e doenças. Outro exemplo foi a dispersão do vírus COVID-19 e suas variáveis, a qual foi intensificada pelo processo de globalização e constante fluxo de pessoas ao redor do mundo. Contudo, esta mesma globalização permitiu a difusão de informações, auxiliando na tomada de decisões e nos protocolos a serem implementados. Ao mesmo tempo, esta conexão possibilitou a difusão de notícias falsas e de desinformação. Este exemplo traz a complexidade de pontos que devem ser geridos ao tratar de situações dotadas de não-linearidade. Por isso, a existência de críticas em se propor princípios estanques para gerenciar a resiliência de um sistema. Nesse sentido, Buschbacher (2016, p. 302) coloca que o “valor de cada princípio para aumentar a capacidade de resiliência depende de COMO o princípio é implementado”.

Ainda sobre a resiliência, Buschbacher (2014) acrescenta que “ser resiliente não é necessariamente uma característica positiva” (BUSCHBACHER, 2014, p. 18). Por exemplo, não é interessante manter a resiliência de sistemas que estão em regimes de insegurança alimentar ou ausência de direitos humanos - um sistema nestas configurações representa uma “armadilha de pobreza” (BUSCHBACHER, 2014). Por outro lado, é importante fomentar a resiliência de comunidades indígenas e tradicionais, cujas relações socioecológicas, modos de vida e visões de mundo estão intrinsecamente ligadas ao meio ambiente com perspectivas biocêntricas e/ou cosmocêntricas (DEGAWAN, 2020; IPBES, 2022). Nesse contexto, Buschbacher (2014) enfatiza que a pergunta-chave no século XXI é: como manter resiliência planetária de modo a cumprir com as necessidades humanas sem extinguir os serviços e processos essenciais do meio ambiente? Nesse sentido, o dossiê “Avaliação da Resiliência Socioecológica como Ferramenta para a Gestão da Fronteira Amazônica”, na revista *Sustentabilidade em Debate*, reuniu diversos casos que discutem a resiliência de sistemas socioecológicos, com ênfase na Amazônia frente a projetos de infraestrutura (ATHAYDE *et al.*, 2016). O dossiê destaca a relevância da governança adaptativa e a necessidade de melhorias na gestão ambiental multissetorial.

É importante destacar que não existe uma única forma universalmente aceita para o tratamento de sistemas socioecológicos. Pelo contrário, inúmeras *frameworks*² (arcabouços teóricos-metodológicos) sobre os sistemas socioecológicos têm sido propostas para atender diferentes contextos e objetivos (ver revisão de Biggs *et al.*, 2022b). Não é o objetivo deste ensaio teórico analisar exaustivamente os diversos enquadramentos dessa abordagem, mas destacamos um dos arcabouços teóricos amplamente adotados nas pesquisas em sistemas socioecológicos: a *framework* proposta por Ostrom (2009), e modificada por McGinnis (2011) e McGinnis e Ostrom (2014). Este arcabouço aborda componentes ecológicos e sociais de forma integrada e fornece insumos para a análise de diversos níveis hierárquicos e subsistemas em quatro componentes principais: Unidade de Recurso (UR), Sistema de Recurso (SR), Sistema de Governança (G) e Usuário (U). O sistema de recurso é representado pelo ambiente natural de onde as unidades de recurso são extraídas; as unidades de recurso são bens extraídos do ambiente natural, utilizados como matéria-prima para cadeias produtivas, para consumo ou para trocas comerciais; os usuários são os indivíduos - ou grupos de indivíduos - que realizam a extração das unidades de recurso do sistema; e o sistema de governança compreende o arranjo institucional que determina e orienta as atitudes dos atores dentro do sistema socioecológico (OSTROM, 2009; MCGINNIS, 2011). Todos esses componentes estão interligados por meio de interações em diversos níveis, produzindo resultados que constantemente retroalimentam o sistema, e ainda estão sujeitos a influências de fatores externos, como configurações sociopolíticas e econômicas (OSTROM, 2009).

Apesar de proeminentes em estudos de sustentabilidade no Antropoceno, os sistemas socioecológicos complexos ainda são escassamente compreendidos e gerenciados, especialmente por serem normalmente mediados a partir de perspectivas disciplinares (GAIN *et al.*, 2020). Este tratamento tem levado a falhas no endereçamento das complexidades, incertezas e não-linearidade dos sistemas socioecológicos (MORETTO *et al.*, 2021), resultando em inúmeras problemáticas socioambientais, como mudanças no clima, perda de biodiversidade e degradação de recursos naturais (GAIN *et al.*, 2020).

² Usualmente traduzido como “arcabouço teórico-metodológico”. Como não há uma clareza sobre a tradução do termo, optamos por mantê-lo em inglês.

3. DISCUSSÕES E TENDÊNCIAS NA PESQUISA EM SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS

Como apresentado na seção anterior, os sistemas socioecológicos emergiram de uma confluência entre conhecimentos disciplinares e se configuram como uma lente teórica interdisciplinar. Beneficiando-se de abordagens interdisciplinares e sistêmicas para interpretar a realidade, os estudos em sistemas socioecológicos permitem a compreensão das propriedades emergentes que surgem de interações complexas. Nesse sentido, esta seção discute como a abordagem dos sistemas socioecológicos, enquanto lente teórica para pesquisas em ciência ambiental, enquadra-se nos pressupostos científicos da ciência pós-normal, uma vez que tais pesquisas requerem a consideração da incerteza, da complexidade e das relações multiníveis no intuito de contribuir para a resolução de problemas da pós-modernidade (FUNTOWICZ; RAVETZ, 1993; 1997). Para tanto, esse tópico faz alusão ao debate entre a ciência convencional e a ciência pós-normal.

A ciência convencional ou normal é marcada pela produção disciplinar, dentro de um paradigma convencional marcado pelo modo hegemônico de produção científica caracterizado pelo pensamento positivista e métodos cartesianos, os quais resultaram na hiperespecialização e fragmentação do saber científico (ALVARENGA *et al.*, 2011). No entanto, a ciência convencional não tem sido capaz de fornecer respostas adequadas para problemas marcados por elevadas incertezas, múltiplos interesses e demanda de ações de curto prazo para o seu enfrentamento (FUNTOWICZ; RAVETZ, 1993; GIATTI, 2019). Além disso, as análises disciplinares, como propostas pela ciência normal, têm se mostrado insuficientes para lidar com a complexidade dos sistemas, resultando em problemas analíticos, éticos, soluções limitadas e resultados contraditórios (MORIN, 2005). Segundo Souza (2002), a hegemonia da ordem científica positivista não corresponde mais às incertezas e questões complexas da sociedade contemporânea e mesmo aos avanços científicos. Em outras palavras, apesar da ciência normal ter ganhado em rigor, perdeu em complexidade (SANTOS, 2002).

Com a evolução dos debates para lidar com problemas complexos, houve a proposição da ciência pós-normal, que representa uma transição paradigmática e incorpora em seus pressupostos a coalizão entre disciplinas e estudos mais integrados em uma proposta de democratização da ciência (FUNTOWICZ; RAVETZ, 1993). A ciência pós-normal reconhece a necessidade de se analisar o todo ao invés de fragmentos. Dessa maneira, a ciência pós-normal impõe mudanças nos aspectos técnico, metodológico e epistemológico da produção científica (FUNTOWICZ; RAVETZ; 1997; ALVARENGA *et al.*, 2011). Dentre as diversas

abordagens para lidar com problemas socioambientais marcados pela incerteza e relações complexas na ciência pós-normal, apontamos que a abordagem de sistemas socioecológicos seria uma delas. Assim, algumas considerações serão feitas para relacionar a abordagem de sistemas socioecológicos aos pressupostos científicos da ciência pós-normal.

Um dos pressupostos científicos da ciência pós-normal é incluir as incertezas inerentes dos fenômenos (FUNTOWICZ; RAVETZ, 1993; MORIN, 2005; 2010; GIATTI, 2013), visto que a qualidade dos resultados não significa eliminar completamente as incertezas, mas sim gerenciá-las adequadamente, integrando os diversos pontos de vista dos atores sociais envolvidos (RAVETZ, 2004). Apesar disso, ainda há limitações metodológicas em incluir incertezas e a natureza emergente dos sistemas complexos adaptativos (PREISER *et al.*, 2022). Santos (2002) e Popper (1993) criticam a simplificação arbitrária da realidade e o caráter probabilístico da ciência normal e defendem a interdependência sem nexo de causalidade dos fenômenos complexos. Do mesmo modo, principalmente pelo seu dinamismo e complexidade, a abordagem dos sistemas socioecológicos necessita incluir as incertezas presentes nas relações socioecológicas de maneira interdisciplinar e participativa. Assim, a pesquisa em sistemas socioecológicos normalmente envolve a combinação e adaptação de diferentes métodos visando a integrar as interdependências entre os sistemas sociais e biofísicos (FISCHER *et al.*, 2015; DE VOS; BIGGS; PREISER, 2019).

Outro pressuposto da ciência pós-normal é a ampliação da comunidade de pares, a qual se refere à participação de diferentes atores na geração, organização e aplicação do conhecimento (FUNTOWICZ; RAVETZ, 1993). Isso significa sair do olhar estritamente acadêmico e envolver novas partes no debate das questões socioambientais. É importante destacar, porém, que a ciência pós-normal não exclui o conhecimento científico convencional ou a expertise disciplinar produzida pela ciência normal (SANTOS, 2002). A ciência pós-normal reforça o quão fundamental é integrar os diversos conhecimentos, saberes, valores culturais e éticos ao lidar com problemas de natureza complexa (GIATTI, 2019; SULAIMAN; JACOBI; TUR, 2019). Em outras palavras, a participação social, em seus diversos níveis, é uma condição para a identificação e compreensão dos problemas e para a construção de estratégias de enfrentamento (WALTNER-TOEWS; WALL, 1997; WALTNER-TOEWS, 2001; BIGGS *et al.*, 2022a). Nesse sentido, os estudos em sistemas socioecológicos têm buscado incorporar a pluralidade de perspectivas na compreensão das relações e mudanças socioecológicas. Para tanto, são necessários métodos que facilitem o diálogo e a participação entre uma ampla variedade de partes interessadas, permitindo a

articulação de saberes técnicos e locais. Alguns exemplos metodológicos são a pesquisa-ação, entrevistas, oficinas, cartografia social, estudos de caso, observação participante, mapeamento participativo e telemetria (PREISER *et al.*, 2018). Como mencionado, Biggs *et al.* (2022b) reuniram diferentes métodos e experiências nesse sentido.

Igualmente, no contexto Latino-americano em 2019 foi lançado o livro *Socioecological systems of Latin American: Complexities and Challenges* (Sistemas socioecológicos da América Latina: complexidades e desafios, tradução nossa) organizado por Delgado e Marín (2019), em que autores de diferentes países do continente tratam da abordagem dos sistemas socioecológicos desde uma perspectiva latino-americana e incorporam um foco científico pós-normal orientado para ação. Além disso, este livro considerou as complexidades ecossistêmica e sociocultural, consistidos pela diversidade, heterogeneidade e raízes culturais e ancestrais do continente, chamando atenção para os Andes, sítios Incas e a floresta Amazônica que somam mais de 16 mil anos de história ambiental (DELGADO; MARÍN, 2019).

Essa transição paradigmática vem subsidiar processos de governança, pela incorporação e envolvimento de variados atores estatais e não estatais, por exemplo, na formulação e implementação de políticas públicas, na tomada de decisão para o enfrentamento de problemas complexos (RAVETZ, 2004) e na criação de soluções e planos estratégicos (GIATTI, 2013). Zanotti (2018) afirma que a não consideração das relações de poder é uma deficiência da abordagem de sistemas socioecológicos, porém a noção de sistemas de governança policêntricos (BIGGS *et al.*, 2022a) pode endereçar essa lacuna. Ao assumirem o processo de co-produção de conhecimento, os estudos em sistemas socioecológicos têm incluído a prática de reflexividade e reciprocidade. A reflexividade tangendo não somente a um processo de reflexão sobre os pressupostos que sustentam o modo de produção da pesquisa, mas também o papel e a posição da pesquisadora e pesquisador na produção do conhecimento; e a reciprocidade envolvendo equitativamente as diferentes partes interessadas na pesquisa, produzindo, ao mesmo tempo, resultados práticos (BIGGS *et al.*, 2022a).

Uma das visões de mundo difundidas pela América Latina é a do *Buen Vivir* (“Bem Viver”, em português) de Sumak Kawsay (origem kichwa), que traz uma reflexão sobre a eudaimonia - “valores associados a uma vida boa” (CHAN *et al.*, 2016, p. 1462) - e uma visão holística sobre a maneira como enxergamos as relações e o meio ambiente (JACQUES, 2020). Essa cosmovisão emerge de epistemologias e práticas ancestrais andinas (ACOSTA, 2016).

Trata-se de um dos conceitos anticapitalistas que abarca o desenvolvimento plural em um movimento de respeito e integração do ser humano à natureza, que busca “revalorizar diversidades culturais e modos de vida suprimidos pela homogeneização imposta pelo Ocidente” (JACQUES, 2020). Tal cenário requer um grande esforço político e lutas sociais para uma igualdade biocêntrica, isto é, reconhecer não apenas os direitos humanos, mas também os direitos da natureza (ACOSTA, 2016).

O Bem Viver, na visão de Acosta (2016), questiona radicalmente as tendências desenvolvimentistas, especialmente àquelas pautadas pelo conceito de “progresso”, e se fundamenta na cosmovisão de povos indígenas, em que a promoção da qualidade de vida se distancia da ideia ocidental de “bem-estar” e muito se aproxima de uma relação harmônica entre ser humano e natureza. Acosta (2016, p. 123) aponta que “para libertar a Natureza da condição de mero objeto de propriedade dos seres humanos, foi - e continua sendo - necessário um grande esforço político para reconhecê-la como sujeito de direitos”.

Essa visão de mundo prevê uma ruptura civilizatória e uma nova maneira de organização da sociedade que reintegre a solidariedade entre os seres humanos e a natureza (JACQUES, 2020). O Bem Viver é uma abordagem relacional, cujos valores não estão presentes em elementos da natureza, mas derivam de relações e responsabilidades com estas, como hábitos e ações que conduzem a um bem viver (CHAN *et al.*, 2016). Com isso, os seres humanos não apenas se baseiam em valores instrumentais ou intrínsecos da natureza, mas de valores que emergem da relação humanos-natureza que, para algumas visões de mundo bio/eco/cosmocêntricas, são valores sobre viver “da natureza” ou da “natureza como parte de nós” (IPBES, 2022) e, portanto, também envolvem outros como valores sagrados (CHAN *et al.*, 2016).

Nesse sentido, apesar da abordagem de sistemas socioecológicos trazer a importância de se integrar as relações socioecológicas ao lidar com questões socioambientais marcadas pela complexidade, há críticas quanto a ausência de um olhar mais aprofundado sobre as visões de mundo de povos indígenas e comunidades tradicionais, por ser uma abordagem com foco nas interações (ZANOTTI, 2018). Por exemplo, os povos indígenas possuem epistemologias e ontologias próprias que refletem nas relações histórico-culturais com o território que estão intrinsecamente ligados aos seus modos de vida e práticas culturais, como espiritualidade, ritos, costumes, transmissão de conhecimento intergeracional (memórias e conhecimento que são passados entre gerações, sobretudo oralmente) e formas próprias de organização social (GAVIN *et al.*, 2015). Isso coloca em questão a importância da

transdisciplinaridade na co-construção de conhecimento junto a esses povos, demandando um esforço para diálogo entre produção científica convencional (dita ciência ocidental ou normal) e os sistemas de conhecimento locais (TRESS *et al.*, 2005). Zanotti (2018) argumenta que a abordagem biocultural possui potencial de romper essas divisões entre abordagens interacionais, como a de sistemas socioecológicos, e abordagens relacionais, que consideram diferentes visões de mundo. Abordagens bioculturais são construídas a partir de perspectivas culturais com base local e englobam “valores, conhecimentos e necessidades” reconhecendo *feedbacks* entre bem-estar humano e ecológico e que podem auxiliar medir a resiliência de sistemas socioecológicos (STERLING *et al.*, 2017a; 2017b). Dessa forma busca-se evidenciar a importância das relações com o meio ambiente ao re-aproximar a relação ser humano-natureza, que, por muito tempo, foi negligenciada nos campos teóricos e práticos.

As abordagens bioculturais se inserem em estudos sobre sistemas socioecológicos para integrar os aspectos culturais e biofísicos (e.g., RAYNE *et al.*, 2019; BOCK *et al.*, 2021; DEMEULENAERE *et al.*, 2021), com o objetivo de amenizar as perdas culturais e de biodiversidade, bem como garantir os direitos humanos das populações tradicionais (GAVIN *et al.*, 2015). Gavin *et al.* (2015) propõem oito princípios para a conservação biocultural, dos quais destacam-se: adaptar as intervenções conservacionistas ao contexto socioecológico; conceber e utilizar estruturas institucionais diversas e aninhadas; incorporar os direitos e responsabilidades distintos de todas as partes; e respeitar e incorporar diferentes visões de mundo e sistemas de conhecimento no planejamento da conservação biocultural.

Franco-Moraes *et al.* (2021) propuseram que as pesquisas em conservação biocultural de povos indígenas e populações tradicionais contemplem uma abordagem histórico-ecológica e cultural, segundo quatro componentes: visão de mundo, instituições sociais, sistema de gestão e conhecimento local. Segundo os autores, a visão de mundo embasaria todos os outros componentes, enquanto as normas e as formas de organização do território e da sociedade seriam propostas e colocadas em prática com base nessa visão de mundo. Por fim, a gestão dos sistemas ocorreria segundo essas instituições e o conhecimento local se daria sob influência dos outros três componentes, isto é, visão de mundo, instituições e gestão (FRANCO-MORAES *et al.*, 2021). Portanto novas abordagens do campo da ciência ambiental estão lançando olhares sobre aprimorar as divisões entre sistemas biofísicos e socioculturais, considerando que os sistemas socioecológicos são compreendidos sobre diferentes visões de mundo.

Pela interdependência ser humano-natureza, Souza (2002) coloca que, ao passo em que o ser humano explora a natureza, explora também o ser humano, como é o caso das desigualdades sociais que criam condições sub-humanas. Assim, um novo paradigma e novas abordagens científicas não podem ser apenas científicas, têm que ser também sociais (SANTOS, 2002). Isso significa enfraquecer uma posição autoritária das ciências da natureza sobre os outros saberes, visando a um conhecimento total, buscando uma interface com o senso comum e trazendo o sujeito ao objeto (SANTOS, 2002). Portanto, a mudança de paradigma científico proposta pela abordagem dos sistemas socioecológicos, ao colocar o ser humano como parte integrante do sistema natural e dos ecossistemas (MORAES, 2019), também acompanha mudanças no paradigma socioeconômico. Dentro desta perspectiva, o modelo de produção capitalista deve ser revisto, uma vez que ele é incompatível com a manutenção de equilíbrios socioecológicos (DOURADO; GRADE, 2020). Para Santos (2020), os atores políticos e institucionais foram induzidos a crer que o capitalismo é a única alternativa viável para o desenvolvimento socioeconômico, porém esta ideia da imbatibilidade do hipercapitalismo é um tanto quanto frágil e reducionista. Por isso, deixamos como reflexão esse conceito anticapitalista do *Buen Vivir* como cosmovisão para a produção científica e desenvolvimento plural, em um movimento de luta social de respeito e integração do ser humano à natureza.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As mudanças ambientais globais impõem a necessidade de novos paradigmas científicos, que possam responder aos desafios dos limites planetários e injustiças socioambientais, entendendo que a ciência normal constituída pelo pensamento disciplinar e cartesiano não se apresenta mais com o potencial de resolução dos problemas contemporâneos. Dessa forma, abordagens sistêmicas são necessárias para a compreensão das relações sociais e ecológicas de maneira integradora, como é o caso da abordagem dos sistemas socioecológicos apresentada neste ensaio teórico. Ao invés de analisar os sistemas sociais e ecológicos separadamente, esta é uma lente teórica interdisciplinar focada nas relações socioecológicas e que busca entender suas interações e interdependências em diferentes escalas espaciais e temporais. Para considerar tais variações espaço-temporais e a capacidade de suporte do sistema socioecológico, as abordagens de ciclo adaptativo, panarquia e resiliência têm sido empregadas em pesquisas sobre sistemas socioecológicos.

A abordagem dos sistemas socioecológicos entende os sistemas formados pela relação sociedade-natureza como adaptativos complexos, formados a partir de interações não-lineares, que resultam em causalidades incertas e imprevisíveis. Assim, as perspectivas inter e transdisciplinares são fundamentais para o entendimento da complexidade das relações entre sociedade e natureza de forma sistêmica. A ampliação da comunidade de pares para a co-produção de conhecimento é essencial na compreensão dos fenômenos e elaboração de medidas para lidar com os desafios contemporâneos. Com base nessas características, apontamos que a abordagem dos sistemas socioecológicos se beneficia dos pressupostos da ciência pós-normal, ao adotar uma perspectiva interdisciplinar, incluir as incertezas ligadas às complexidades inerentes aos fenômenos e destacar a relevância da comunidade de pares ao longo do processo de produção de conhecimento.

Interseccionada com a abordagem de sistemas socioecológicos, a abordagem biocultural expande a lente dos sistemas socioecológicos levando em consideração perspectivas relacionais, culturais, locais e diferentes visões de mundo. Nesse sentido, apresentamos a cosmovisão andina do *Buen Vivir*, a qual propõe uma ruptura civilizatória que integre os direitos da natureza e direitos humanos. À medida que pesquisas ambientais incorporam componentes sociais, culturais, econômicos e institucionais em suas elaborações, o acoplamento de diversos campos do conhecimento se torna ascendente nos desenvolvimentos teóricos e metodológicos para a análise e compreensão plena dos variados fenômenos interligados. Além disso, pesquisas em sistemas socioecológicos se mostram potenciais para o entendimento da realidade, construção de estratégias adaptativas e contribuições a processos de governança que reconheçam as percepções locais, as vulnerabilidades socioambientais e os limites planetários em longo prazo. Assim, apontamos que a perspectiva relacional socioecológica requer uma mudança de paradigma, que inclua as pluralidades e (re)integre as relações socioecológicas na produção do saber científico, na organização social, econômica e política para que se possa repensar modelos políticos e econômicos que visem à justiça ambiental, equidade social e que superem as premissas do capitalismo.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 - e do Programa Institucional de Internacionalização (PRINT) processo nº 88887.716072/2022-00. Agradecemos o apoio financeiro dos processos nº 2019/17113-9 e nº 2020/07372-4 da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Por fim, agradecemos a parceria com a Rede Internacional de Pesquisa em Barragens Amazônicas/ Amazon Dams Network (RBA/ADN).

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, A. **O Bem Viver: Uma Oportunidade Para Imaginar Outros Mundos**. São Paulo: Editora Elefante, 2016.
- ALLEN, C. R. *et al.* Panarchy: Theory and Application. **Ecosystems**, v. 17, n. 4, p. 578–589, 2014.
- ALVARENGA, Augusta Thereza de *et al.* **Histórico, fundamentos filosóficos e teórico-metodológicos da interdisciplinaridade**. In: PHILIPPI, A.; SILVA NETO, A. J. Interdisciplinaridade em Ciência, Tecnologia e Inovação. Barueri: Manole, 2011.
- ANDERIES, J.; JANSSEN, M. A.; OSTROM, E. A framework to analyze the robustness of social-ecological systems from an institutional perspective. **Ecology and Society**, v. 9, n. 1, 2004.
- BAHRU, B.; BOSCH, B. A. C.; BIRNER, R.; ZELLER, M. Drought and Child Undernutrition in Ethiopia: A Longitudinal Path Analysis. **PLoS ONE**, v. 14, n. 6, p. e0217821, 2019. doi:10.1371/journal.pone.0217821.
- BERKES, F.; COLDING, J.; FOLKE, C. **Navigating social-ecological systems: building resilience for complexity and change**. Cambridge University Press, 2003.
- BERKES, F.; FOLKE, C. **Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience**. Melbourne: Cambridge University Press, 1998.
- BERKES, F.; ROSS, H. Panarchy and community resilience: Sustainability science and policy implications. **Environmental Science and Policy**, v. 61, p. 185-193, 2016.
- BIGGS, R. *et al.* Toward principles for enhancing the resilience of ecosystem services. **Annual Review of Environment Resources**, v. 37, n. 1, p. 421–448, 2012.
- BIGGS, R. *et al.* **What are social-ecological systems and social-ecological systems research?** In: BIGGS, R. *et al.* The Routledge Handbook of Research Methods for Social-Ecological Systems. Ed. Routledge, 2022a, 526 p.
- BIGGS, R.; DE VOS, A.; PREISER, R.; CLEMENTS, H.; MACIEJEWSKI, K. S. M. **The Routledge Handbook of Research Methods for Social-Ecological Systems**. Ed. Routledge, 2022b, 526 p.
- BIGGS, R.; SCHLÜTER, M.; SCHOON, M. **An Introduction to the Resilience Approach and Principles to Sustain Ecosystem Services in Social-Ecological Systems**. In: BIGGS, R.; SCHLÜTER, M.; SCHOON, M. (Orgs.). Principles for Building Resilience: Sustaining

Ecosystem Services in Social-Ecological Systems. Cambridge: Cambridge University Press, 2015, 1–31 p.

BINDER, C. R.; HINKEL, J.; BOTS, P. W. G.; PAHL-WOSTL, C. Comparison of Frameworks for Analyzing Social-ecological Systems. **Ecology and Society**, v. 18, n. 4, 2013.

BOCK, E.; HUDSON, L.; ISAAC, J.; VERNES, T.; MUIR, B.; WHAP, T.; DULFER-HYAMS, M.; MCLEAN, M.; FELL, D. Safeguarding our sacred islands: Traditional Owner-led Sea Country governance, planning and management in Australia. **Pacific Conservation Biology**, v. 28, n. 4, p. 315–329, 2021. <https://doi.org/10.1071/PC21013>.

BUSCHBACHER, R. A Teoria da Resiliência e os Sistemas Socioecológicos: como se preparar para um futuro imprevisível? **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, v. 09, n. 2003, p. 11–24, 2014. Disponível em: <<http://www.resilience2014.org/>>. Acesso em 05 jan. 2020.

BUSCHBACHER, R. O estado da arte para aplicação do pensamento de resiliência em sistemas socioecológicos. **Sustentabilidade em Debate**, v. 7, n. 2, p. 298–300, 2016. <https://doi.org/10.18472/sustdeb.v7n2.2016.19842>.

CASTREE, N. **The Anthropocene and planetary boundaries**. In: RICHARDSON, D.; CASTREE, N.; GOODCHILD, M. F.; KOBAYASHI, A.; LIU, W.; MARSTON, A. (eds.). *The International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment, and Technology*. Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltda., 2017.

CAVALCANTI, C. Sustentabilidade: mantra ou escolha moral? uma abordagem ecológico-econômica. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 35–50, 2012. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142012000100004>.

CHAN, K. M. A.; BALVANERA, P.; BENESSAIAH, K.; CHAPMAN, M.; DÍAZ, S.; GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; GOULD, R.; HANNAHS, N.; JAX, K.; KLAIN, S.; LUCK, G. W.; MARTÍN-LÓPEZ, B.; MURACA, B.; NORTON, B.; OTT, K.; PASCUAL, U.; SATTERFIELD, T.; TADAKI, M.; TAGGART, J.; TURNER, N. Why protect nature?

Rethinking values and the environment. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 113, n. 6, p. 1462–1465, 2016. <https://doi.org/10.1073/pnas.1525002113>.

CHIN, A.; BEACH, T.; LUZZADDER-BEACH, S.; SOLECKI, W. D. Challenges of the Anthropocene. *Anthropocene*, v. 20, n. Editorial, p. 1–3, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2017.12.001>.

COLLINS, S. L.; CARPENTER, S. R.; SWINTON, S. M.; ORENSTEIN, D. E.; CHILDERS, D. L.; GRAGSON, T. L.; GRIMM, N. B.; MORGAN, G. J.; HARLAN, S. L.; KAYE, J. P.; KNAPP, A. K.; KOFINAS, G. P.; MAGNUSON, J. J.; MCDOWELL, W. H.; MELACK, J. M.; OGDEN, L. A.; PHILIP, R. G.; SMITH, M. D.; WHITMER, A. C. An integrated conceptual framework for long-term social-ecological research. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 9, n. 6, p. 351–357, 2011. <https://doi.org/10.1890/100068>.

CRUTZEN, P. J. Geology of mankind. *Nature*, v. 415, n. January, p. 2002, 2002. <https://doi.org/10.1038/415023a>.

DEGAWAN, M. Povos indígenas: vulneráveis, mas resilientes. *In*: UNESCO. O Correio da UNESCO, n. 2, p. 29-31, 2020.

DELGADO, L. E.; MARÍN, V. H. *Social-ecological systems of Latin American: Complexities and Challenges*. Springer-Verlag GmbH, 1ed., 2019. 472p.

DEMEULENAERE, E.; YAMIN-PASTERNAK, S.; RUBINSTEIN, D. H.; LOVECRAFT, A. L.; ICKERT-BOND, S. M. Indigenous spirituality surrounding Serianthes trees in Micronesia: Traditional practice, conservation, and resistance. *Social Compass*, v. 68, n. 4, p. 548–561, 2021. <https://doi.org/10.1177/00377686211032769>.

DOURADO, N. P.; GRADE, M. Decrescimento e Bem Viver: Paradigmas para o mundo pós-pandemia? *Revista Brasileira de Educação Ambiental*, v. 15, n. 4, p. 380-401, 2020.

FARLEY, J.; VOINOV, A. Economics, socio-ecological resilience and ecosystem services. *Journal of Environmental Management*, v. 183, p. 389–398, 2016. DOI 10.1016/j.jenvman.2016.07.065.

FOLKE, C. Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, v. 16, n. 3, p. 253-267, 2006.

FOLKE, C.; BIGGS, R.; NORSTRÖM, A. V.; REYERS, B.; ROCKSTRÖM, J. Social-ecological resilience and biosphere-based sustainability science. *Ecology and Society*, v. 21, n.3, 2016.

FOLKE, C.; CARPENTER, S. R.; WALKER, B.; SCHEFFER, M.; CHAPIN, T.; ROCKSTRÖM, J. Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society*, v. 15, n. 4, p. 20, 2010. <https://doi.org/10.5751/ES-03610-150420>.

FOLKE, C.; HAHN, T.; OLSSON, P.; NORBERG, J. Adaptive governance of social-ecological systems. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 21, p. 441-473, 2005.

FOLKE, C.; JANSSON, Å.; ROCKSTRÖM, J.; OLSSON, P.; CARPENTER, S. R.; STUART CHAPIN, F.; CRÉPIN, A. S.; DAILY, G.; DANELL, K.; EBBESSON, J.; ELMQVIST, T.; GALAZ, V.; MOBERG, F.; NILSSON, M.; ÖSTERBLUM, H.; OSTROM, E.; PERSSON, Å.; PETERSON, G.; POLASKY, S.; WESTLEY, F. Reconnecting to the biosphere. **Ambio**, v. 40, n. 7, p. 719–738, 2011.

FRANCO-MORAES, J.; CLEMENT, C. R.; CABRAL DE OLIVEIRA, J.; OLIVEIRA, A. A. de. A framework for identifying and integrating sociocultural and environmental elements of indigenous peoples' and local communities' landscape transformations. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 2, p. 143–152, 2021. DOI 10.1016/j.pecon.2021.02.008.

FUNTOWICZ, S.; RAVETZ, J. Ciência pós-normal e comunidades ampliadas de pares face aos desafios ambientais. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 4, n. 2, p. 219-230, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-59701997000200002>

FUNTOWICZ, S.; RAVETZ, J. Science for the post-normal age. **Futures**, v. 25, n.7, p. 739-755, 1993.

GAIN, A. K.; GIUPPONI, C.; RENAUD, F. G.; VAFEIDIS, A. T. Sustainability of complex social-ecological systems: methods, tools, and approaches. **Regional Environmental Change**, v. 20, n.102, 2020.

GAVIN, M. C.; MCCARTER, J.; MEAD, A.; BERKES, F.; STEPP, J. R.; PETERSON, D.; TANG, R. Defining biocultural approaches to conservation. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 30, n. 3, p. 140–145, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.12.005>

GIATTI, L. L. **Aproximações e metodologias para ampliar a comunidade de pares**. In: JACOBI, P. R.; TOLEDO, R. F.; GIATTI, L. L. *Ciência Pós-Normal: ampliando o diálogo com a sociedade diante das crises ambientais contemporâneas*. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da USP, 2019, 168 p. DOI: 10.11606/9788588848375.

GIATTI, L. L. **Uma contribuição à ciência pós-normal: Aplicações e desafios da ampliação da comunidade de pares em contextos socioambientais e de saúde** [tese de livre-docência]. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública/USP, 2013.

GUNDERSON, L. H.; HOLLING, C. S. **Panarchy: understanding transformations in human and natural systems**. Washington D. C.: Island Press, 2002.

HOLLING, C. S. **Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems.** Ecosystems, 2001.

HOLLING, C. S.; GUNDERSON, L. H.; PETERSON, G. D. **Sustainability and Panarchies.** Em: GUNDERSON, L. H.; HOLLING, C. S. (Eds.). Panarchy. London: Island Press, 2002. p. 103.

HOOPER, D. U.; CHAPIN, F. S.; EWEL, J. J.; HECTOR, A.; INCHAUSTI, P.; LAVOREL, S.; LAWTON, J. H.; LODGE, D. M.; LOREAU, M.; NAEEM, S.; SCHMID, B.; SETÄLÄ, H.; SYMSTAD, A. J.; VANDERMEER, J.; WARDLE, D. A. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. **Ecological Monographs**, v. 75, n. 1, p. 3–35, 2005. <https://doi.org/10.1890/04-0922>.

IPBES. **Thematic Assessment Report on the Sustainable Use of Wild Species of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.**

IPBES secretariat, Bonn, Germany, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6448567>

JACOBI, P. R.; GIATTI, L.; AMBRIZZI, T. **Interdisciplinaridade e mudanças climáticas: caminhos de reflexão para a sustentabilidade.** In: PHILIPPI, A.; FERNANDES, V. (orgs.). Práticas da Interdisciplinaridade no Ensino e Pesquisa. São Paulo: Manole, 2015.

JACQUES, F. V. S. O “buen vivir” e a construção de uma nova sociedade. **Novos Cadernos NAEA**, v. 23, n. 3, p. 105–119, 2020. <https://doi.org/10.5801/ncn.v23i3.8481>.

LATOUR, B. **Onde aterrar? Como se orientar politicamente no Antropoceno.** Rio de Janeiro: Bazar do Tempo, 2020.

LEVIN, S. *et al.* Social-ecological systems as complex adaptive systems: Modeling and policy implications. **Environment and Development Economics**, v. 18, n. 2, p. 111–132, 2012. DOI: 10.1017/S1355770X12000460.

LIU, J.; DIETZ, T.; CARPENTER, S. R.; ALBERTI, M.; FOLKE, C.; MORAN, E.; PELL, A. N.; DEADMAN, P.; KRATZ, T.; LUBCHENCO, J.; OSTROM, E.; OUYANG, Z.; PROVENCHER, W.; REDMAN, C. L.; SCHNEIDER, S. H.; TAYLOR, W. W. Complexity of Coupled Human and Natural Systems. **Science**, v. 37, p. 1513-1516, 2007.

LIU, J.; MOONEY, H.; HULL, V.; DAVIS, S. J.; GASKELL, J.; HERTEL, T.; LUBCHENCO, J.; SETO, K. C.; GLEICK, P.; KREMEN, C.; LI, S. Systems integration for global sustainability. **Science**, v. 347, n. 6225, 2015.

MCGINNIS, M. D. An Introduction to IAD and the Language of the Ostrom Workshop: A Simple Guide to a Complex Framework. **Policy Studies Journal**, v. 39, n. 1, p. 169-183, 2011.

MCGINNIS, M. D.; OSTROM, E. Social-ecological system framework: Initial changes and continuing challenges. **Ecology and Society**, v. 19, n. 2, p. 30, 2014. <https://doi.org/10.5751/ES-06387-190230>.

MENUZZI, T. S.; SILVA, L. G. Z. Interação entre economia e meio ambiente: uma discussão teórica. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 9-17, 2015.

MITCHELL, M. **Complexity: a guided tour**. New York: Oxford University Press, 2016.

MOHAMED, A. A. Food Security Situation in Ethiopia: A Review Study. **International Journal of Health Economics and Policy**, v. 2, n. 3, p. 86–96, 2017.

MORAES, A. R. **Serviços ecossistêmicos em uma paisagem rural serrana: contribuições para a resiliência socioecológica**. Tese (Doutorado em Ecologia) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, p. 195, 2019.

MORAN, E. F.; LOPEZ, M. C.; MOORE, N.; MÜLLER, N.; HYNDMAN, D. W. Sustainable hydropower in the 21st century. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 115, n. 47, p. 11891–11898, 2018. <https://doi.org/10.1073/pnas.1809426115>.

MORETTO, E. M.; ATHAYDE, S.; DORIA, C. R. C.; GALLARDO, A. L. C. F.; ARAUJO, N. C.; DUARTE, C. G.; BRANCO, E. A.; PULICE, S. M. P.; ROQUETTI, D. R. Gestão Adaptativa na Etapa de Acompanhamento da Avaliação de Impacto Ambiental. **Estudos Avançados**, v. 35, n. 103, 2021.

MORETTO, E. M.; SILVA, G. D.; ROQUETTI, D. R.; ZUCA, N. L. **A vulnerabilidade ambiental como propriedade sistêmica emergente: subsídios conceituais para o planejamento e a gestão de recursos hídricos**. In: JACOBI, P. R.; MORETTO, E. M.; BEDUSCHI, L. C.; SINISGALLI, P. A. (orgs.). *Aprendizagem social na gestão compartilhada de recursos hídricos*. São Paulo: ANNABLUME Editora, 2013.

MORIN, E. **O desafio da Complexidade**. In: MORIN, E. *Ciência com Consciência*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005, p. 175-195.

OSTROM, E. A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. **Science**, v. 325, p. 419-422, 2009.

POPPER, K. **A lógica da pesquisa científica**. São Paulo: Cultrix, 1993.

PREISER R, SCHLÜTER M, BIGGS R, GARCÍA MM, HAIDER J, HERTZ T, KLEIN L. **Complexity-based social- ecological systems research philosophical foundations and**

practical implications. *In:* BIGGS, R. et al. The Routledge Handbook of Research Methods for Social-Ecological Systems. New York: Routledge; 2022. p. 27–46. doi: 10.4324/9781003021339

PREISER, R.; BIGGS, R.; DE VOS, A.; FOLKE, C. Social-ecological systems as complex adaptive systems: organizing principles for advancing research methods and approaches. **Ecology and Society**, v. 23, n. 4, 2018.

RAVETZ J. The post-normal science of precaution. **Futures**, v. 36, n. 3, p. 347–357, 2004.

RAYNE, A.; BYRNES, G.; COLLIER-ROBINSON, L.; HOLLOWS, J.; MCINTOSH, A.; RAMSDEN, M.; RUPENE, M.; TAMATI-ELLIFFE, P.; THOMS, C.; STEEVES, T. E. Centring Indigenous knowledge systems to re-imagine conservation translocations. **People and Nature**, v. 2, n. 3, p. 512–526, 2020. <https://doi.org/10.1002/pan3.10126>.

RESILIENCE ALLIANCE. Assessing Resilience in Social-Ecological Systems: Workbook for Practitioners. Version 2.0. Resilience Alliance, 2010.

REYERS, B. et al. Social-ecological systems insights for navigating the dynamics of the Anthropocene. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 43, p. 267-289, 2018.

SANTOS, B. S. **A Cruel Pedagogia do Vírus**. Coimbra: Almedina, 2020.

SANTOS, Boaventura de Sousa. **Um Discurso Sobre as Ciências**. Editora Cortez, 2002.

SCHOON, M.; VAN DER LEEUW, S. The shift toward social-ecological systems perspectives: insights into the human-nature relationship. **Natures Sciences Sociétés**, v. 23, n.1, p.166-174, 2015.

SOUSA, V. S. **Resiliência socioecológica e sustentabilidade: uma discussão sobre as contribuições e desafios.** *In:* NUNES, M. S. (Org.). Estudos em Direito Ambiental - Territorialidade, Racionalidade, Decolonialidade. Campina Grande: Licuri, 2022.

STEFFEN, W.; RICHARDSON, K.; ROCKSTRÖM, J.; CORNELL, S. E.; FETZER, I.; BENNETT, E. M.; BIGGS, R.; CARPENTER, S. R.; DE VRIES, W.; DE WIT, C. A.; FOLKE, C.; GERTEN, D.; HEINKE, J.; MACE, G. M.; PERSSON, L. M.; RAMANATHAN, V.; REYERS, B.; SÖRLIN, S. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. **Science**, v. 347, n. 6223, 2015. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>.

STERLING, E. J.; FILARDI, C.; TOOMEY, A.; SIGOUIN, A.; BETLEY, E.; GAZIT, N.; NEWELL, J.; ALBERT, S.; ALVIRA, D.; BERGAMINI, N.; BLAIR, M.; BOSETO, D.; BURROWS, K.; BYNUM, N.; CAILLON, S.; CASELLE, J. E.; CLAUDET, J.; CULLMAN, G.; DACKS, R.; JUPITER, S. D. Biocultural approaches to well-being and sustainability

indicators across scales. **Nature Ecology and Evolution**, v. 1, n. 12, p. 1798–1806, 2017. Doi: 10.1038/s41559-017-0349-6.

STERLING, E.; TICKTIN, T.; MORGAN, T. K. K.; CULLMAN, G.; ALVIRA, D.; ANDRADE, P.; BERGAMINI, N.; BETLEY, E.; BURROWS, K.; CAILLON, S.; CLAUDET, J.; DACKS, R.; EYZAGUIRRE, P.; FILARDI, C.; GAZIT, N.; GIARDINA, C.; JUPITER, S.; KINNEY, K.; MCCARTER, J.; WALI, A. Culturally grounded indicators of resilience in social-ecological systems. **Environment and Society: Advances in Research**, v. 8, n. 1, p. 63–95, 2017. <https://doi.org/10.3167/ares.2017.080104>.

SULAIMAN, S.; JACOBI, P. R.; TUR, A. A. **Riscos e desastres naturais: contribuições da Ciência Pós-normal para um novo paradigma de conhecimento e gestão**. In: JACOBI, P. R.; TOLEDO, R. F.; GIATTI, L. L. *Ciência pós-normal ampliando o diálogo com a sociedade diante das crises ambientais contemporâneas*. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da USP, 2019, 168 p.

TAVARES, E. G.; CALGARO, C. Consequências humanas das mudanças climáticas na Era do Antropoceno. **Culturas Jurídicas**, v. 7, n. 18, p. 211-229, 2020.

TRESS, G.; TRESS, B.; FRY, G. Clarifying integrative research concepts in landscape ecology. **Landscape Ecology**, vol. 20, no. 4, p. 479–493, 2005. <https://doi.org/10.1007/s10980-004-3290-4>.

WALKER, B. et al. A Handful of Heuristics and Some Propositions for Understanding Resilience in Social-Ecological Systems. **Ecology and Society**, v. 11, n. 1, p. 1–15, 2006.

WALKER, B.; CARPENTER, S.; ANDERIES, J.; ABEL, N.; CUMMING, G. S.; JANSSEN, M.; LEBEL, L.; NORBERG, J.; PETERSON, G. D.; PRITCHARD, R. Resilience management in social-ecological systems: a working hypothesis for a participatory approach. **Conservation Ecology**, v. 6, n. 1, 2002.

WALKER, B.; HOLLING, C. S.; CARPENTER, S. R.; KINZIG, A. Resilience, Adaptability and Transformability in Social– ecological Systems. **Ecology and Society**, v. 9, n. 2, p. 5, 2004. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.95.258101>.

WALTNER-TOEWS, D. An ecosystem approach to health and its applications to tropical and emerging diseases. **Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro**, v. 17, p. 07-36, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2001000700002>.

WALTNER-TOEWS, D.; WALL, E. Emergent perplexity: In search of post-normal questions for community and agroecosystem health. **Social Science and Medicine**, v. 45, n. 11, p. 1741-1749, 1997.



WATERS, C. N.; ZALASIEWICZ, J.; SUMMERHAYES, C.; BARNOSKY, A. D.; POIRIER, C.; GALUSZKA, A.; CEARRETA, A.; EDGEWORTH, A. D.; ELLIS, E. C.; ELLIS, M.; JEANDEL, C.; LEINFELDER, R.; MCNEILL, J. R.; RICHTER, D. D.; STEFFEN, W.; SYVITSKI, J.; VIDAS, C.; WAGREICH, M.; WILLIAMS, M.; ZHISHENG, A.; GRINEVALD, J.; ODADA, E.; ORESKES, N.; WOLFE, A. P. The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. *Science*, v. 351, n. 6269, 2016.

WILLSTEED, E. A.; BIRCHENOUGH, S. N. R.; GILL, A. B.; JUDE, S. Structuring cumulative effects assessments to support regional and local marine management and planning obligations. *Marine Policy*, v. 98, n. September, p. 23–32, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.09.006>.

ZANOTTI, L. **Biocultural Approaches to Conservation: Water Sovereignty in the Kayapó Lands**. In: Rozzi et al. (eds) From biocultural; homogenization to biocultural conservation. Ecology and ethics, vol 3. Springer, Dordrecht, p. 343–359, 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99513-7_22.