

Título do Projeto: *Transição para sustentabilidade e o nexó água-agricultura-energia: explorando uma abordagem integradora com casos de estudo nos biomas Cerrado e Caatinga*

Pesquisador Responsável: Dr. Jean Pierre H. B. Ometto

Instituição Sede: Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Resumo:

Os biomas Cerrado e Caatinga possuem os principais estoques de terras disponíveis para expansão agrícola no Brasil, além de possuírem áreas de elevado potencial solar e eólico. Seus recursos naturais são essenciais para a regulação do clima e bem-estar humano. O objetivo geral desta proposta é, através de uma abordagem participativa, que integre métodos qualitativos e quantitativos das ciências naturais e sociais em múltiplas escalas, propor estratégias que permitam a transição para um futuro sustentável nestes dois biomas, através da definição de cenários e indicadores que reconciliem as dimensões econômicas, sociais e ambientais (os três pilares da sustentabilidade) na produção agrícola, energética e uso de recursos naturais. O projeto está organizado em etapas com objetivos específicos. A **Etapa 1** consiste na produção de indicadores sobre as dimensões social, econômica, institucional e ambiental da área de estudo, visando à construção de índices de sustentabilidade que reflitam a situação atual (*passado e presente*) em alinhamento com demandas nacionais. A **Etapa 2** foca no *futuro* da área de estudo, através da construção de cenários qualitativos e quantitativos, construídos de modo participativo. Elementos de histórias sobre o futuro serão quantificados, gerando projeções espacialmente explícitas de mudanças de uso da terra, do clima regional e seus impactos (traduzidos em um conjunto expressivo de indicadores socioambientais, incluindo recursos hídricos, vegetação, biodiversidade, agricultura, energia, descargas elétricas atmosféricas, ciclos biogeoquímicos, entre outros). Por fim, a **Etapa 3** engloba atividades de síntese entre as escalas, assim como de análise de mecanismos de transformação social visando alcançar a sustentabilidade (*trajetórias*).

Project Title: *Transition to sustainability and agriculture-energy-water nexus: exploring an integrated approach with case studies in the Cerrado and Caatinga*

Project Coordinator: Dr. Jean Pierre H. B. Ometto

Head Institution: Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Summary: The Cerrado and Caatinga biomes have the largest available stock of land for agricultural expansion in Brazil, besides having vast areas of high solar and wind potential. Their natural resources are also vital for climate regulation and for human survival and well-being. The general objective of this proposal is to explore how a participatory approach, integrating qualitative and quantitative methods of the natural and social sciences at multiple scales, could support the transition to a sustainable future in these two biomes, through the definition of scenarios and indicators that reconcile the economic, social and environmental (the three pillars of sustainability) in food production and use of natural resources. To achieve this purpose, the project is divided into phases with specific goals. **Phase 1** includes the organization and analysis of data on the social, economic, institutional and environmental dimensions of the study area to build sustainability indexes that reflect the current situation (*past and present*). **Phase 2** focuses on the future of the study area, by constructing qualitative and quantitative scenarios, built in a participatory manner. Elements of stories about the future will be quantified by generating spatially explicit projections of land use change, regional climate and its impacts (translated into a significant set of social-environmental indicators, including water, vegetation, biodiversity, agriculture, energy, lightning, biogeochemical cycles, among others). Finally, **Phase 3** involves the synthesis of activities between the scales, and the analysis of social transformation mechanisms to achieve sustainability (*trajectories*).

1. Enunciado do Problema

Os desafios ambientais atuais são sem precedentes em seu escopo e complexidade. Estamos no “Antropoceno”, um termo que ressalta que a humanidade, de maneira coletiva, constitui uma força que é geológica no seu impacto, alterando o funcionamento dos sistemas geofísicos e biológicos do planeta. No topo das ameaças de grande escala estão as alterações climáticas e o esgotamento e degradação dos processos ecológicos naturais importantes para a manutenção dos serviços ecossistêmicos fundamentais para o bem-estar da humanidade.

Atualmente, grande parte da superfície terrestre do planeta já sofreu modificações por demandas de área para agricultura e expansão das cidades, onde os biomas naturais foram transformados (ELLIS, 2015). Os desafios que se colocam para alimentar uma população estimada em 10 bilhões de pessoas em 2050 são enormes (FOLEY *et al.* 2011, GODFRAY *et al.*, 2010). De maneira análoga, este aumento populacional coloca forte pressão sobre as demandas atuais e futuras de energia e aumento das emissões de gases do efeito estufa (GEE). O recado dos relatórios do IPCC é claro: ainda temos tempo para prevenir as alterações planetárias mais desastrosas. Mas teremos que agir decisivamente dentro dessa década na busca de um modelo de desenvolvimento observando os três pilares da sustentabilidade: a) o bem-estar humano (demonstrativamente correlato à igualdade social e política); b) o funcionamento da economia adequada à maioria; e c) a preservação ambiental a longo prazo.

Os recém-lançados **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS** (em inglês, “*Sustainable Development Goals*” – SDG) visam orientar as agendas e políticas públicas dos Estados membros da Organização das Nações Unidas (ONU) até o ano de 2030, conforme pode ser visto no site: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals>. Eles procuram aprimorar deficiências dos Objetivos do Milênio, tratando as metas ambientais e econômicas de uma forma holística, e incluindo as questões da pobreza, da desigualdade social e dos direitos humanos. Neste contexto, este projeto visa apoiar o processo de atingir os ODS no Brasil, preenchendo um vazio de conhecimento na ciência ambiental no país. Além disso, observando as recomendações de maior participação social em processos de decisão, o projeto visa também criar maior capacidade nacional para entender os desafios de conciliar o uso dos recursos nacionais com as necessidades de energia, água e alimentos saudáveis e em quantidades adequadas. Neste contexto, explora-se a pergunta: *como avaliar as trajetórias de sustentabilidade frente às pressões ambientais e antrópicas, conciliando a segurança alimentar, energética e hídrica ao bem-estar da população?* Este questionamento nos remete às problemáticas que o desenvolvimento convencional tem trazido, e, neste sentido, reforça o

papel dos ODS no escopo deste projeto, com destaque para a erradicação de pobreza, erradicação da fome, água limpa e saneamento, energia limpa, cidades e comunidades sustentáveis, ação climática, vida terrestre, paz, justiça e fortalecimento institucional, e, parcerias necessárias na construção destes objetivos. Para viabilizar a implantação os ODS, a ONU e parceiros (2017) recomendaram o uso de um conjunto de indicadores em nível global e salientam a importância da aplicação destes de forma específica em cada país.

Devido à sua extensão territorial e abundância de recursos naturais (solo, água e luz), o Brasil ocupa uma posição estratégica global para a produção de alimentos e biocombustíveis. Importante mencionar que terras disponíveis para expansão agrícola vêm se tornando um recurso cada vez mais escasso em várias regiões do globo (LAMBIN & MEYFROIDT 2011; LAMBIN *et al.* 2013). Na prática, a expansão da fronteira agrícola já se concentra nas regiões tropicais (GIBBS *et al.* 2010; HANSEN *et al.* 2009). No Brasil, os biomas Cerrados e Caatinga são apontados como os principais estoques de terras disponíveis para conversão (SOARES-FILHO *et al.*, 2014, BOUCHLE *et al.* 2015), além de possuírem vastas áreas de elevado potencial solar e eólico.

A região conhecida como MATOPIBA¹ pode ser considerada a fronteira agrícola mais ativa do Brasil atualmente. Parques eólicos e de energia solar estão em ampla expansão no Nordeste Brasileiro. No entanto, a transição das áreas de vegetação remanescente para sistemas antrópicos poderá trazer implicações em relação à perda de biodiversidade, regulação do regime hidrológico e climático, além de afetar as já complexas relações socioeconômicas locais e questões urbanas (como a periferização). Por exemplo, a destruição da vegetação nativa reduz o abastecimento dos aquíferos, os quais já se mostram em estado de declínio por conta de uso insustentável para a produção de *commodities* agrícolas (RICHEY *et al.* 2015). Por combinarem diversos elementos relevantes para onexo água-agricultura-energia, estes dois biomas foram selecionados como área focal desta proposta. Além dos elementos acima citados, destacam-se a existência de áreas com suscetibilidade à desertificação no semiárido (MMA, 2005), alta ou iminente vulnerabilidade às mudanças climáticas (OBERMAIER & ROSA, 2013), além da desigualdade socioeconômica histórica (IBGE, 2013).

Porém, onexo água-agricultura-energia implica e requer o entendimento do problema em múltiplas escalas e se caracteriza como intrinsecamente complexo. Assim, sua gestão requer novas abordagens, incluindo a investigação inovadora que possa capacitar a tomadas de decisão nas esferas públicas e privadas em favor da sustentabilidade com equidade e bem-estar humano.

¹ Acrônimo formado pelas primeiras letras dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia.

Dessa forma, o objetivo geral do projeto é *explorar como uma abordagem participativa, que integre métodos qualitativos e quantitativos das ciências naturais e sociais em múltiplas escalas, pode apoiar a transformação para a sustentabilidade nos biomas Cerrado e Caatinga, considerando as definições de cenários e indicadores que reconciliem os três pilares da sustentabilidade na produção agrícola, energética e uso de recursos naturais.*

A premissa subjacente é de que os desafios apresentados pela necessidade de uma transformação para a sustentabilidade requerem muito mais do que soluções técnicas (PARK *et al.*, 2008). São necessárias mudanças sociopolíticas e culturais profundas e estruturais, incluindo repensar as instituições atuais, inclusive as normas dominantes (também na ciência, tal como a valorização diferencial das ciências naturais *versus* as ciências humanas ou as artes), costumes culturais e o baixo nível e qualidade da participação pública nas decisões realmente importantes (DRYZEK, 2014). Abordagens participativas e normativas para construção de cenários, concebidas a partir de uma “visão do futuro” compactuada entre os participantes do processo, vêm ganhando espaço e sendo amplamente utilizada na área ambiental no contexto de transição para sustentabilidade² (VERGRAGT & QUIST, 2011). Recentemente, por exemplo, na quinta edição do Relatório do Panorama Ambiental Global – *Global Environment Outlook – GEO5* (UNEP, 2012) – a tradicional abordagem exploratória (“*onde plausivelmente estamos indo para?*”) migrou para uma abordagem de cenários normativos (“*o que queremos e como vamos chegar lá?*”). O que está por trás desta tendência é justamente a urgência em encontrar soluções e iniciar processos de mudança (IPCC, 2014). Na abordagem normativa, o cenário se desenvolve mediante a discussão de *trajetórias* (ações, obstáculos) ligando o futuro visualizado ao presente através de métodos de *backcasting* (VERGRAGT & QUIST, 2011). Esta abordagem tem sido sugerida como “uma alternativa para o planejamento tradicional e uma ferramenta para avançar quando lidando com mudanças climáticas” (GIDDENS 2009). A construção desse tipo de cenário é fio condutor deste projeto. O foco será a discussão da sustentabilidade do nexos água-agricultura-energia em território relevante no meio rural - considerando também sua conexão com os centros urbanos (tanto pela demanda por produtos agrícolas, energia e água, quanto por absorver os impactos das mudanças no território rural, incluindo na estrutura fundiária). A proposta utiliza como base para a construção das visões

² “*The essence of sustainability is to harmonize economic development with social goals and environmental preservation. At its core is the moral imperative that current generations should pass along an undiminished world to their descendants. To a large degree, sustainability is a challenge to think about the long-range future and, in so doing, to rethink the present. Sustainable development brings the question of the future to the strategic forefront of scientific research, policy deliberation, forward-thinking organizations, and the concerns of citizens*” (RASKIN, 2005).

compactuadas entre diversos atores/setores o conceito de “*territórios sustentáveis*”³. Estas visões e seus impactos serão quantificados através de um conjunto de modelos computacionais em diferentes domínios (uso da terra, clima, vegetação, hidrologia, agricultura, energia, ciclos biogeoquímicos), subsidiando a análise e discussão de possíveis trajetórias para alcançar a sustentabilidade do território como um todo.

O Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), instituição sede desta proposta, tem em sua missão conduzir estudos e avaliar impactos de mudanças regionais e globais nos sistemas sociais-econômicos-ambientais. O CCST desenvolve pesquisas que auxiliam na busca de soluções cientificamente embasadas que auxiliam a sociedade brasileira a caminhar em direção a um desenvolvimento sustentável, seguro e socialmente justo, no que se refere ao acesso à alimentação, recursos hídricos, energia e saúde. Criado em 2009, o Centro está organizado academicamente em três eixos temáticos principais relacionados ao monitoramento de variáveis ambientais, análise integrada de dados e modelagem, resultando em estudos de diagnósticos e cenários nas diversas vertentes relacionadas ao Sistema Terrestre.

O projeto aqui proposto busca estrategicamente organizar de forma coordenada e integrada o seu corpo de pesquisadores para apresentar diagnósticos e reflexões visando soluções para uma problemática de ciência aplicada de cunho ambiental, mas que traz como elementos causais o componente social e a respectiva estruturação territorial. O CCST participa da definição de novos paradigmas científicos que vêm sendo apresentados pela comunidade internacional, em particular no escopo do *Future Earth* e do *Belmont Forum*. Na construção da proposta, buscou-se a colaboração com instituições sediadas na área de estudo, em especial a CODEVASF (Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Paraíba), o INSA (Instituto Nacional do Semiárido), a EMBRAPA semiárido, o Centro Regional do INPE no Nordeste (CRN/INPE) e universidades federais da região (Universidade Federal de Alagoas, Universidade Federal do Ceará, Universidade Federal da Paraíba, Universidade Federal de Pernambuco, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Universidade Federal do Rio Grande do Norte). Além disso, pesquisadores de diversos outros institutos também irão colaborar no projeto, incluindo: Universidade de São Paulo, Universidade Federal de São Paulo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal de Goiás, Universidade Federal

³ Território sustentável é “*um mosaico de usos de terra complementares, gerenciados de forma integrada, que permitam conservar a biodiversidade e manter tanto a dinâmica dos processos ecológicos quanto a dinâmica socioeconômica de um determinado território*” (Viera et al., 2005).

de Minas Gerais, Museu Paraense Emílio Goeldi, Fundação Oswaldo Cruz, EMBRAPA Meio Ambiente e CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais).

A fim de estudar a problemática exposta, será adotada uma abordagem multi-escala, com intervenção de estudo nos Biomas Cerrado e Caatinga (escala Biomas), regiões hidrográficas federais que se inserem nestes biomas (escala Regional) e alguns municípios selecionados (escala Local). A Figura 1 apresenta a localização dos biomas e as regiões hidrográficas da escala Regional. A Figura 2 ilustra alguns dados de pressão antrópica e estado ambiental no nexo água-agricultura-energia, em destaque a escala Regional.

Escala Biomas – Biomas Cerrado e Caatinga. O Cerrado é um dos maiores *hotspots* de biodiversidade do mundo (MYERS *et al.*, 2000) e a Caatinga o bioma sul americano proporcionalmente menos estudado e com menor área sob conservação no Brasil (ICMBio, 2015; LEAL *et al.*, 2005). Esses biomas também servem de recarga hídrica para três das maiores bacias hidrográficas da América do Sul: Rio Amazonas, Rio Paraguai e Rio São Francisco (VALENTE *et al.*, 2013). A estabilidade e o funcionamento de outros ecossistemas, principalmente a Amazônia, dependem fortemente da integridade biológica dos biomas Cerrado e Caatinga (MALHADO *et al.*, 2010). Em termos de aptidão agrícola (IBGE, 2006), o Cerrado e a Caatinga (Figura 1) apresentam 58% e 63% de suas terras como boas ou regulares, respectivamente. Não obstante, tais condições ambientais favoráveis vêm sofrendo variações com os efeitos das mudanças climáticas (FENG *et al.*, 2013). Como consequência, no Cerrado, pode ocorrer aumento de eventos climáticos extremos, como altas taxas de evaporação e quantidade de dias secos consecutivos, o que, por sua vez, poderá afetar a agricultura de subsistência, pecuária e agroindústria, além de induzir o aumento do consumo de energia hidroelétrica e do risco de incêndios (NOBRE *et al.*, 2007). Na Caatinga, as consequências podem levar ao aumento de risco de aridização, perda de biodiversidade, diminuição da disponibilidade e qualidade hídrica, com diminuição de recarga de aquíferos a partir da década de 2050, com impactos na agricultura de subsistência, saúde humana, migração, turismo e geração de emprego (NOBRE *et al.*, 2007). Tais cenários climáticos tornam-se preocupantes, tendo em vista que a maior parte da produção nacional de grãos, carne e cana-de-açúcar está concentrada nessa região, sobretudo no Cerrado (IBGE, 2006). No período 2005-2014, por exemplo, a área cultivada com soja no MATOPIBA aumentou 86%, ao passo que o aumento observado em escala nacional no mesmo período foi de 29% (CONAB, 2015). O desenvolvimento da agricultura de larga escala na Caatinga tem sido realizado sob a dependência do uso da irrigação, tendo como principal fonte o rio São Francisco (ANA, 2012). A pecuária no país também está concentrada nos dois biomas (EMBRAPA, 2014). Estima-se

que a crescente demanda interna e externa por *commodities* agrícolas e carne deva pressionar ainda mais a expansão agropecuária nessa região durante as próximas décadas (DALLA-NORA *et al.*, 2014). Apesar do empuxo da expansão e transformação das atividades citadas, com exceção das áreas de expansão do etanol, todas elas encontram-se próximas, se não inclusas, da região do semiárido brasileiro, em áreas de tensão ecológica dos biomas do Cerrado e da Caatinga, ou, na própria Caatinga.



Figura 1 – Localização dos biomas e as bacias hidrográficas dos rios Parnaíba e São Francisco

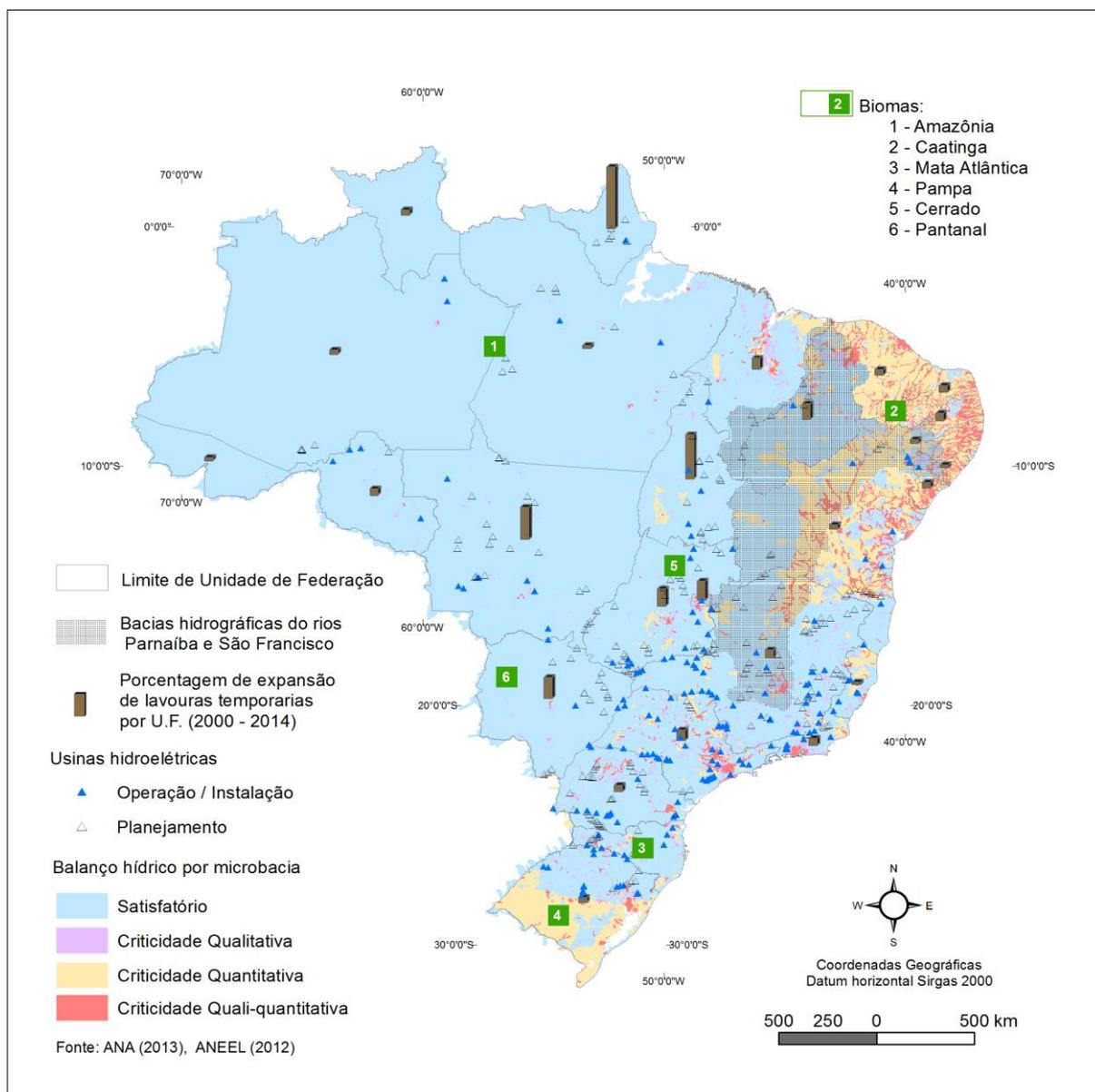


Figura 2 – Localização de alguns dados de pressão antrópica e estado ambiental no nexos água-agricultura-energia no Brasil.

Escala Regional (Regiões hidrográficas São Francisco e Parnaíba): na escala Regional serão selecionadas duas áreas de estudo contíguas, localizadas no limite entre os dois biomas. Considerando o foco desta proposta (nexo água-agricultura-energia), serão selecionadas duas regiões hidrográficas (Rehidro) federais que se inserem nos biomas Cerrado e Caatinga: São Francisco e Parnaíba (Figuras 1 e 2). Também serão elencadas as bacias hidrográficas que possuem transposição com as citadas Rehidro. O conceito de Rehidro foi introduzido pela Resolução n. 32/2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), como “o espaço territorial brasileiro compreendido por uma bacia, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas com características naturais, sociais e econômicas homogêneas ou similares, com

vistas a orientar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos”. Nesse sentido, um tópico fundamental nas duas Rehidros é a questão da disponibilidade hídrica e os conflitos em relação aos diversos usos. Ainda, trechos das bacias estão inseridas no MATOPIBA, que sobreposição 18,11% da bacia do São Francisco e 20,16% da bacia do Parnaíba (EMBRAPA, 2014), ampliando a tendência à incorporação desses territórios à lógica da produção agrícola do país. Para ambos os casos, processos de diferenciação e acirramento das desigualdades socioambientais são caracterizados pela dualidade entre uma imensa maioria de pequenos municípios com baixa dinâmica demográfica, predominantemente rurais e caracterizados pela estagnação econômica e, na outra ponta, pela consolidação de polos isolados de modernização intensa, dotados de estruturas econômicas fortes, tipicamente voltados à expansão da fronteira agropecuária. Em contraponto à essa baixa dinâmica, existem dezenas de municípios com potencial para transição agroecológica (MMA, 2011)⁴.

Escala Local: Em cada uma das regiões hidrográficas (São Francisco e Parnaíba), será selecionado um município (com características socioambientais distintas) no qual serão realizadas análises mais específicas de processos sociais – através de atividades participativas – e entendimento das interações entre determinados processos biofísicos (dinâmica da água e nutrientes no sistema solo-planta-atmosfera) e sociais em escala mais detalhada. Ressalta-se que o objetivo da seleção deste município não é representatividade, pois seriam necessários vários municípios, considerando a enorme diversidade da região – e o orçamento do projeto não permitiria. O objetivo é principalmente aplicar a metodologia numa escala local.

Para atingir os objetivos gerais propostos, o projeto está organizado em etapas, com objetivos específicos em cada uma delas, conforme estrutura ilustrada na Figura 3. A **Etapa 1** produzirá índices de sustentabilidade para o presente, a partir da identificação e produção de uma expressiva quantidade de indicadores na dimensão socioambiental advindos de fontes secundárias e de modelos observacionais. Na **Etapa 2** serão gerados índices de sustentabilidade para o ano de 2050 a partir da construção de cenários participativos, atualização de indicadores e modelos quantitativos. Serão representados futuros “Sustentáveis” e “Convencionais”. Na **Etapa 3** serão interpretadas as possíveis trajetórias para a sustentabilidade, de forma analítica

⁴ Como contraponto e exemplificando a diversidade da região, pode-se mencionar mais uma categoria de municípios, além desses dois tipos que representam o agronegócio e o de economia estagnada. Trata-se da experiência de comunidades de dezenas de municípios de capacitação para transição agroecológica. Existem ONGs em Pernambuco (Centro Sabiá), Paraíba (ASPTA e ASA-PB), RN (SEAPAC e projeto Dom Helder) que promovem ações de adaptação ao semiárido em muitos casos baseados nos princípios da sustentabilidade. É um processo participativo que envolve organização social das comunidades.

e sintética. Em todas estas etapas haverá interação com os setores da sociedade (sociedade civil, setor produtivo e órgãos governamentais).

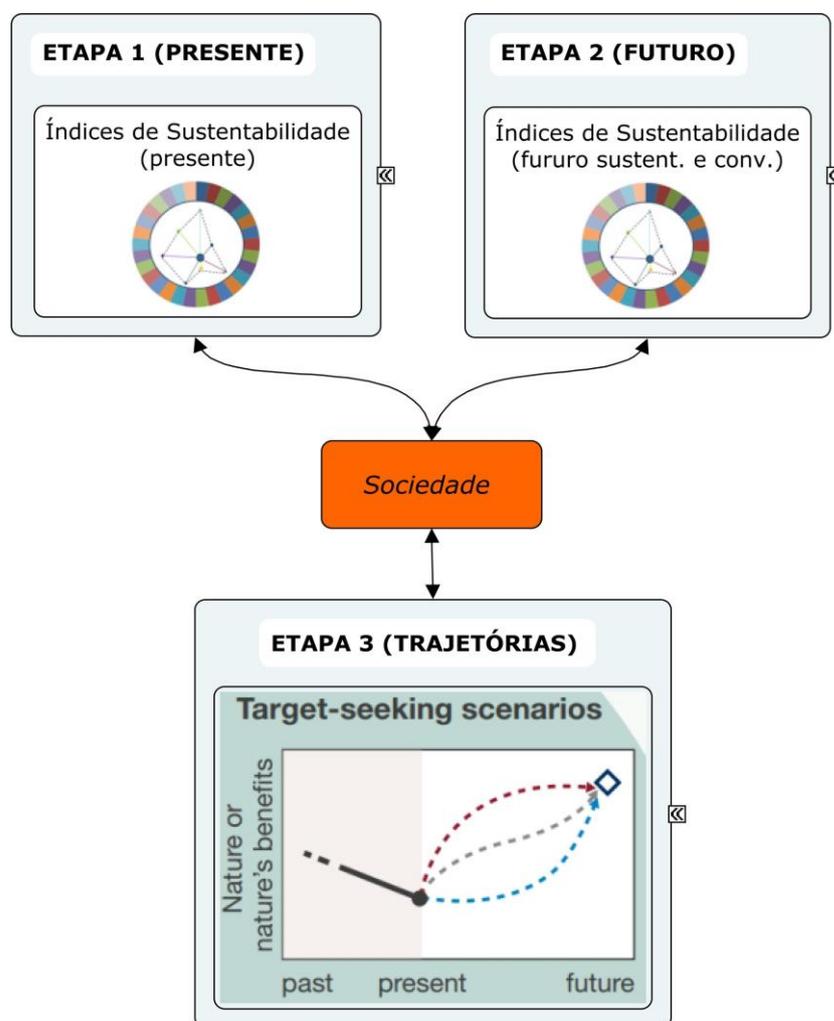


Figura 3 – Estrutura das etapas do projeto com seus respectivos produtos

Para a coordenação científica do projeto, de cunho interdisciplinar e interinstitucional, buscou-se traduzir a lógica de atuação institucional do CCST em relação a problemas de cunho ambiental e de mudanças globais. Nesse sentido, a estruturação do projeto está ligada a uma sistematização de coordenação científica e operacional de acordo com a lógica de Pesquisadores Principais (PP) da FAPESP, conforme relacionado abaixo:

- a) A parte relacionada a **DIAGNÓSTICOS E CENÁRIOS** será de responsabilidade do pesquisador Peter Mann de Toledo (CCST/INPE);
- b) Os temas de **MODELAGEM** das várias áreas de enfoque ficarão sob a coordenação do pesquisador Celso von Randow (CCST/INPE);

- c) Os trabalhos envolvendo **OBSERVAÇÕES** em campo e a infraestrutura logística de apoio ficarão sob o cuidado da pesquisadora Laura De Simone Borma (CCST/INPE).
- d) A estrutura e processos de **DISSEMINAÇÃO DE DADOS**, incluindo organização e processos de divulgação científica, ficará sob responsabilidade do pesquisador Pedro Ribeiro de Andrade Neto (CCST/INPE).
- e) A **COORDENAÇÃO GERAL** do projeto será do pesquisador Jean Pierre Henry Balbaud Ometto (coordenador do CCST/INPE).

2. Resultados Esperados

- 1) O desenvolvimento de um método participativo para definição de cenários e mecanismos de transformação social, combinando elementos qualitativos e quantitativos das ciências naturais e sociais, método esse que possa ser aplicado em outros contextos geográficos.
- 2) A construção de cenários localmente desejados e plausíveis para um futuro sustentável (considerando os três pilares da sustentabilidade: social, econômico e ambiental) para a área de estudo, em múltiplas escalas.
- 3) Definição de indicadores de sustentabilidade úteis para guiar e monitorar ações para atingir os cenários desejados, compostos a partir de indicadores das dimensões sociais, econômicas, institucionais e ambientais. Para a área de estudo, o projeto irá gerar um conjunto de indicadores na escala municipal, de região hidrográfica e bioma, no presente e futuro, de acordo com cenários alternativos.
- 4) Cada uma das etapas irá produzir artigos científicos específicos em revistas indexadas, sobre os seguintes temas:
 - **Etapa 1:** indicadores de sustentabilidade em múltiplas escalas; desenvolvimento dos indicadores ambientais; resultados das análises qualitativas, em especial dos trabalhos de campo na escala local; método de regionalização para identificação de áreas homogêneas.
 - **Etapa 2:** processo de construção de cenários; projeções de mudanças de uso da terra e climáticas; impactos destas mudanças nos indicadores para os cenários.
 - **Etapa 3:** resultados integrados do projeto; metodologia multi-escala; limites da participação e comparação de métodos participativos para transformação social.
- 5) Uma plataforma de disseminação de dados na Internet que visa tornar acessível a toda comunidade científica e à sociedade os principais dados, produtos e resultados do projeto.

- 6) Por fim, a consolidação de um modelo de pesquisa interdisciplinar/transdisciplinar, um dos desafios da ciência atual, considerando que: “*Science is expected, more than ever, to provide critical knowledge to help guide humanity’s path towards plausible, desirable and novel futures in the Anthropocene*” (BAI *et al.* 2015, p.8)

3. Desafios Científicos e Tecnológicos e Métodos para Superá-los

O desafio científico central do projeto é a integração das ciências sociais e naturais, por meio de métodos qualitativos e quantitativos, em uma abordagem aplicável a processos de transformação social em uma dada região. Para tanto, adotamos uma perspectiva multi-escalar na área selecionada para estudo – região do MATOPIBA – que apresenta diversos conflitos no nexo água-agricultura-energia, os quais poderão ser potencializados pelos impactos das mudanças climáticas.

A integração entre escalas e disciplinas pode ser mencionada como um segundo desafio científico e tecnológico importante do projeto, conforme ressalta GALLOPIN (1996) em relação aos indicadores de sustentabilidade. Indicadores de sustentabilidade vem sendo utilizados desde a Conferência Mundial sobre Meio Ambiente – ECO-92 e ajudam na avaliação do progresso dos países em direção à sustentabilidade (KRONEMBERGER *et al.*, 2008). Cabe ressaltar que apesar do uso crescente de vários métodos e respectivos indicadores para a avaliação do desenvolvimento sustentável, este processo de análise ainda é um desafio para os institutos de pesquisas e órgãos governamentais (KRAMA, 2009).

Além dos indicadores, serão utilizados dois índices de sustentabilidade, o **Barômetro da Sustentabilidade** (BS) e o Índice dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (IODS). Desenvolvido por PRESCOTT-ALLEN (2001), o BS integra dois grandes eixos: o Bem-Estar Humano (BEHum) e o Bem-Estar Ambiental (BEAmb). Cada um desses eixos se subdivide em cinco dimensões. Para a sociedade considera-se: saúde e população, riqueza, conhecimento e cultura, comunidade e equidade. Para o meio ambiente tem-se: terra, ar, água, espécies e utilização de recursos (VAN BELLEN, 2004). Como este método é versátil e tem uma arquitetura aberta, é possível adaptá-lo para realidade local, pois a escolha dos indicadores está condicionada à existência, consistência dos dados e facilidade de mensuração (KRONEMBERGER *et al.*, 2008). Por sua vez, o IODS, desenvolvido por SACHS *et al.* (2017), foi elaborado para instrumentalizar e acompanhar a evolução dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para todos os países membros da ONU. Foram recomendados mais de 230 indicadores para o desenvolvimento do IODS, sendo que 150

possuem definições consolidadas e muitos destes não possuem dados suficientes dentre os países membros para seus respectivos cálculos (SACHS *et al.*, 2017). Neste sentido, a ONU recomenda que os países membros realizem investimentos em relação a suas estatísticas e indicadores domésticos de sustentabilidade. Os indicadores globais do IODS são subdivididos e calculados conforme os 17 ODS (SACHS *et al.*, 2017), apresentando variação de quantidade de indicadores conforme cada ODS. O ODS 3 é o que possui mais indicadores recomendados, enquanto que os ODS 1, 10 e 11 possuem apenas três indicadores recomendados, respectivamente.

A seguir serão descritas as principais etapas e atividades para alcançar os objetivos propostos. Sua estrutura é apresentada na Figura 4.

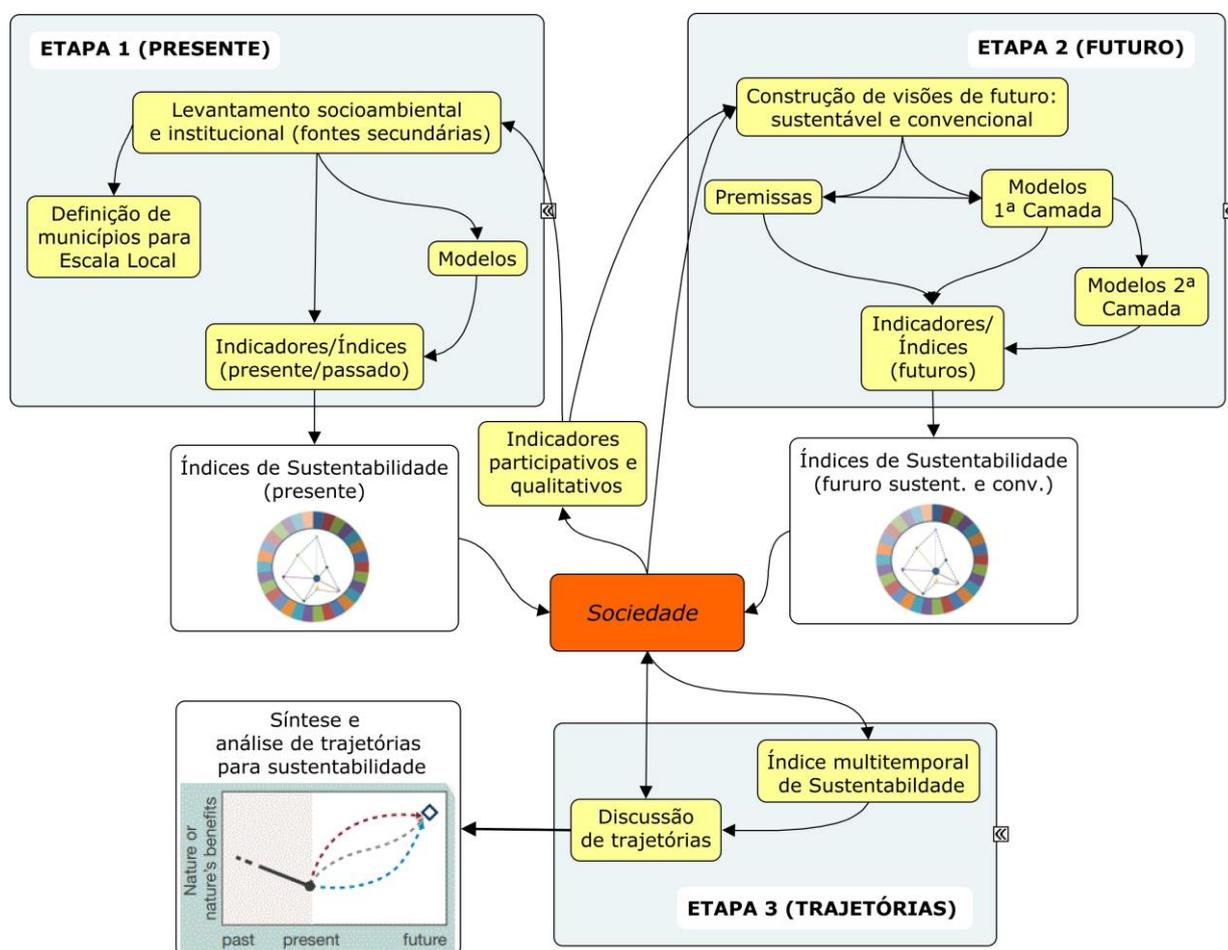


Figura 4 – Estrutura das etapas do projeto com respectivas ações e produtos.

3.1. Etapa 1: Levantamento e índices de sustentabilidade social, ambiental, econômico e institucional em múltiplas escalas para o presente

Os objetivos gerais desta etapa incluem o levantamento de informações *quantitativas e qualitativas* sobre as dimensões sociais, ambientais, econômicas e institucionais nas diferentes

escalas. Os processos identificados nesta etapa devem elucidar as principais problemáticas a serem abordadas na discussão de cenários, incluindo a identificação de indicadores, de atores e de conflitos no nexo água-agricultura-energia (Seção 3.2.2). Esta etapa inclui também a organização de um banco de dados espacialmente explícito para o projeto e a seleção dos municípios para análise na escala local. O Item 3.1.1 descreve a construção de indicadores para a escala Biomas e escala Regional. O Item 3.1.2 descreve o processo de seleção das áreas de estudo na escala local para a construção de indicadores de forma participativa. O Item 3.1.3 apresenta os objetivos e métodos para o levantamento de informações qualitativas, em especial de trabalho de campo, planejados para esta etapa.

3.1.1 Análise dos padrões socioambientais nas escalas Biomas e Regional

Indicadores socioambientais

O propósito desta etapa é gerar um conjunto inicial de indicadores que forneça uma visão holística da situação atual da área de estudo nas escalas Biomas e Regional. Trata-se de um primeiro passo na construção de índices de sustentabilidade atuais, para estas escalas, cuja unidade territorial de análise será o município. Inicialmente, serão realizadas oficinas com os setores da sociedade (civil, setor produtivo e órgãos governamentais) com o intuito de direcionar a construção dos principais indicadores de sustentabilidade de forma qualitativa. Tomando como base os marcos de referência (limites aceitáveis), os indicadores qualitativos servirão como norteadores para o levantamento de dados socioambientais de fontes secundárias, podendo, posteriormente, auxiliar na delimitação de indicadores primários, distribuídos nas seguintes dimensões: social, econômica, institucional e ambiental.

Além daqueles coletados a partir de fontes externas, o projeto irá construir 27 indicadores sócio-ambientais, organizados nas seguintes categorias: Degradação da Terra (3), Quantidade Hídrica (3), Qualidade Hídrica (1), Energia (3), Conservação Florestal / Biodiversidade (6), Gases de Efeito Estufa – GEE – e Ciclos Biogeoquímicos (1), Descargas Elétricas Atmosféricas / Urbanização (2) e Riscos Climáticos (1). A Tabela 1 apresenta sucintamente a descrição do método de cálculo de cada indicador. Importante mencionar que as metodologias propostas combinam o uso de dados espacialmente explícitos (dados *in situ* obtidos no presente projeto e por meio de parcerias locais), sensoriamento remoto e a utilização / desenvolvimento de modelos computacionais nas diversas áreas de conhecimento dos pesquisadores que integram o projeto. A relação causal e efeitos de retro-alimentação dos efeitos entre os diferentes fenômenos físicos, biológicos e de intervenção humana serão analisadas detalhadamente ao

longo do projeto. Extensa bibliografia suporta a interpretação de um espaço no território de forma integrada, como sintetizado a seguir.

Expansão Agrícola – Clima – Vegetação – Biodiversidade

Como pano de fundo dos estudos, entende-se que as terras disponíveis para *expansão agrícola* vêm se tornando um recurso cada vez mais escasso em várias regiões do globo. Na prática, a expansão da fronteira agrícola já se concentra prioritariamente nas regiões tropicais, e no Brasil, os biomas Cerrado e Caatinga são apontados como os principais estoques de terras disponíveis para conversão. Todavia, a transição de áreas naturais para sistemas antropizados pode trazer maiores implicações em relação à perda de biodiversidade, regulação do regime hidrológico e climático, além de afetar relações socioeconômicas locais. Por isso, a escolha de um grande volume de indicadores para melhor entender os processos que atuam durante a dinâmica do uso e modificações da cobertura do solo torna-se necessária a fim de se obter um olhar multidimensional e multidisciplinar visando à solução de problemas ambientais e de sustentabilidade regional. Um dos pontos de interesse será o de compreender os processos e causas da *ocorrência do fogo*, fator relacionado ao processo de degradação dos sistemas naturais e os de produção, inclusive. Esse processo está relacionado ao avanço de atividades humanas sobre áreas de vegetação nativa, aumento de poluentes atmosféricos, ocorrência de descargas elétricas atmosféricas (LYONS *et al.* 1998) e modificações importantes nos ciclos do carbono e nutrientes ligadas às condições futuras do clima.

O clima, especialmente a precipitação, nos ecossistemas tropicais, como Caatinga e Cerrado, influencia o padrão de distribuição espacial e temporal da *vegetação*, que por sua vez influencia o *clima* através de mecanismos de *feedback* dos fluxos de energia e água. Para analisar a variabilidade espacial e temporal da vegetação na região, existem dados de sensoriamento remoto que permitem elaborar índices de vegetação e de umidade da vegetação para detectar a atividade fotossintética e conteúdo de umidade respectivamente na fitomassa foliar da vegetação

Segundo o MMA, foram apontadas 431 áreas prioritárias de conservação no Cerrado, das quais 181 já são áreas protegidas (unidades de conservação e terras indígenas). Os padrões atuais das espécies e estrutura dos ecossistemas são de idade relativamente recente, sendo estabelecidos os padrões atuais somente no último período Glacial. A presença de uma variedade de formações florestais intercaladas com áreas abertas, e distribuídas ao longo de diferentes condições fisiográficas, permite a presença de uma grande riqueza de mamíferos. É importante que se analise o status de conservação da *biodiversidade* na região de estudo e

respectivas áreas de escala local e relacionar informações de isótopos estáveis em morcegos com padrões ambientais e climáticos.

Solo – Clima – Água – Agricultura

A umidade do solo é uma variável chave do sistema climático. Através da existência de *feedbacks* entre a umidade do solo-precipitação e umidade do solo-temperatura nas escalas locais, regionais e globais, ela exerce forte controle sobre o sistema climático. Além disso, a umidade do solo impacta aspectos ambientais de relevância, tais como disponibilidade hídrica, balanço de energia e ciclos biogeoquímicos, sendo também um potencial indicador de ocorrência de secas, desertificação e fogo. Dada a grande interdependência entre umidade do solo-precipitação-temperatura, pode-se esperar que, em situações de mudanças climáticas, a disponibilidade de água no solo seja alterada, influenciando todos os componentes que dela dependem. O mesmo pode ser dito acerca das mudanças no uso e cobertura da terra, devido à sua potencial influência no clima local (DIRMEYER *et al.*, 2006).

A visão de desenvolvimento baseada na exploração intensiva agrícola das terras, ao longo das últimas décadas, trouxe severas consequências para o planeta, sobretudo para regiões tropicais como é o caso do Brasil. São previstos aumentos na produção de grão e de culturas bioenergéticas na América Latina em decorrência das mudanças climáticas apontadas pelo IPCC, potencializando assim os processos de *degradação dos solos*. Com base nesse contexto que relaciona diretamente degradação do solo, produtividade agrícola e segurança alimentar, faz-se necessário o desenvolvimento de ferramentas com potencial para indicar áreas cuja degradação compromete o desenvolvimento de culturas e, ao mesmo tempo, que aponte o comportamento da produtividade agrícola no presente e no contexto de mudanças climáticas.

O bioma da Caatinga por sua vez está compreendido principalmente na região do semiárido brasileiro, sendo o mais vulnerável aos processos de *desertificação*. Os processos de mudança climática global tendem a agravar os períodos de seca nas regiões semiáridas no Brasil. Aliado às secas, a degradação de áreas é o fator direto que mais contribui no processo de desertificação. Alguns dos fatores de degradação a nível regional são a diminuição da resiliência do desenvolvimento vegetativo em detrimento das secas e diminuição da eficiência da pluviometria nesse desenvolvimento.

Competição pelo uso dos recursos

Em um cenário onde o uso dos recursos naturais é limitado, a capacidade de uma população de aproveitar ao máximo um determinado recurso energético para obter um benefício específico é definida como eficiência energética. Sob outra ótica, uma vez que a energia é um

insumo necessário a manutenção de um nível mínimo de conforto e atendimento às necessidades básicas do indivíduo, reduzindo assim sua vulnerabilidade social, pode-se estabelecer a demanda de energia per capita como um indicador relevante. Numa abordagem espacial, pode-se estabelecer indicadores quanto à segurança energética, ou seja, o risco de escassez de energia através de um balanço regional de energia, contabilizando o saldo entre a energia produzida e consumida por determinada região, definindo o grau de autonomia energética do território. Por outro lado, o abastecimento da população, a irrigação de cultivos e a geração de energia competem pelo recurso hídrico em uma bacia. Dessa forma a *disponibilidade hídrica* deve considerar o volume de água economizado a partir da contribuição da geração solar e eólica.

As políticas de usos múltiplos dos recursos baseiam-se na negociação entre diferentes setores para resolver conflitos de interesse. TUCCI *et al.* (2000) realizaram um exercício de previsão da situação dos recursos hídricos no país, considerando três cenários de desenvolvimento socioeconômico, mas sem incluir o efeito das mudanças climáticas. Os autores destacam as problemáticas sobre a gestão dos recursos hídricos, associados com a regulamentação de outorgas, poluição e a negociação de usos múltiplos, como o abastecimento humano, a agricultura e a produção de energia, assim como problemas relacionados com a ocorrência de extremos e a exposição da população a enchentes e secas. Também a preservação do ambiente e da paisagem, assegurando a manutenção do regime hidrológico necessário à manutenção da biodiversidade e das características do meio ambiente, é uma preocupação da gestão dos recursos hídricos. As análises de vulnerabilidade devem incluir essas restrições, que podem ser agravadas pelos efeitos das mudanças climáticas. A sustentabilidade no uso do recurso hídrico pode ser avaliada considerando a produção de água da bacia juntamente com a demanda exercida pelos diferentes usos. Com isso, a *disponibilidade hídrica* deverá sumarizar também o efeito das mudanças climáticas e do uso e cobertura do solo nos principais usos da água de cada bacia.

Eventos atmosféricos extremos

Estiagens e cheias extremas possuem um grande efeito no sistema humano em termos socioeconômicos. Elas impactam as comunidades, afetando a moradia, a infraestrutura pública, as vias de comunicação, a disponibilidade de trabalho, a ocorrência de enfermidades e epidemias, acentuando a pobreza e afetando a sustentabilidade de seus estilos de vida. As características dos eventos hidrológicos extremos que resultam nesses desastres são determinadas pelas características climáticas da região e pelas características geomorfológicas

e de ocupação do solo da bacia. Dessa forma, modificações na frequência de ocorrência, a magnitude e duração desses eventos estão relacionadas com a variabilidade climática e com as intervenções antrópicas que modificam a paisagem da bacia. O principal aumento do risco que irá advir das mudanças climáticas será o aumento no número e intensidade de eventos extremos, tais como tempestades e secas. As consequências das mudanças climáticas para as áreas urbanas dependerão de diversos fatores, incluindo a vulnerabilidade e a resiliência das populações. Portanto, as situações de vulnerabilidade às mudanças climáticas, principalmente devido ao aumento da intensidade e frequência dos eventos climáticos extremos, poderão se tornar muito graves, especialmente para os grupos populacionais de baixa renda (UNFPA, 2007). No contexto de uma agenda brasileira de estudos sobre população e mudança climática, é fundamental que haja um esforço para o desenvolvimento de metodologias e indicadores para a identificação e caracterização das áreas de maior risco e dos grupos populacionais mais vulneráveis às mudanças climáticas. Propõe-se utilizar um conjunto de variáveis relacionadas às características do ambiente natural no qual estão inseridos os biomas, e que são potencialmente perigosos à população (MOSER & SHRADER, 1999). Partindo deste pressuposto as variáveis climáticas utilizadas serão relacionadas à ocorrência de eventos extremos (precipitação, temperatura, vento e descargas elétricas atmosféricas).

A climatologia urbana é definida como uma metodologia para se estudar os resultados de industrialização e da urbanização naquela região. Na atualidade, sabe-se que a construção e a expansão das cidades alteram o ambiente local, afetando o equilíbrio energético, a umidade e os regimes de circulação atmosférica perto da superfície. Algumas das diferenças entre os climas urbanos e rurais incluem qualidade do ar, circulação dos ventos, mudanças nos padrões de precipitação, efeito de ilha de calor (OKE, 1982) e o aumento da incidência de descargas atmosféricas (NACCARATO *et al.* 2003). A maioria dessas modificações está relacionada com as emissões de poluição, fontes antropogênicas de calor, impermeabilização de superfícies, propriedades térmicas dos materiais, supressão vegetal e morfologia urbana (espaçamento, altura, orientação das edificações). Fatores secundários são topografia, proximidade de corpos d'água, tamanho da cidade, densidade populacional e a forma de uso da terra.

A partir das projeções climáticas é possível também estimar a incidência de descargas elétricas atmosféricas, que são eventos produzidos pelas nuvens de tempestade (ROMPS *et al.* 2014). Esse parâmetro poderá então ser usado, em conjunto com as informações de vento e / ou precipitação, para caracterizar a ocorrência dos eventos extremos (HANSEN *et al.*, 2012; PINTO JR. *et al.*, 2013; PINTO JR., 2014).

Tabela 1 – Síntese dos indicadores socioambientais gerados pelo projeto e Objetivos de Desenvolvimento Sustentável associados

Categories	Indicador	Desenvolvimento	ODS
Degradação da Terra	Índice de Degradação do Solo	Aborda a exploração do recurso solo com vistas à sua conservação. Inicialmente será estimada a Taxa de Perda de Solos obtida através da Equação Universal da Perda de Solo - adaptação metodológica para escala regional como realizado por MEDEIROS <i>et al.</i> (2016a). Serão considerados nessa avaliação aspectos pedológicos e climáticos, práticas de cultivos, dentre outros fatores. Em seguida, será calculado o Índice de Tempo de Vida do Solo (ou aqui chamado de Índice de Degradação do Solo – IDS), o qual se refere ao diagnóstico da degradação do solo em função do conceito de tolerância de perda de solo (MEDEIROS <i>et al.</i> , 2016b) e das taxas estimadas de perda de solo	02 13 15
	Índice de Suscetibilidade à Desertificação	Para as escalas Biomas e Regional, propõe-se a geração de um índice de suscetibilidade de desertificação, adaptado de KOSMAS <i>et al.</i> (1999) e VIEIRA (2015). Serão considerados os seguintes sub-índices de qualidade: pedológica, climática, vegetação, de manejo e socioeconômica. A alimentação dos sub-índices será realizada por calibração e processamento de rede neural de múltiplas camadas. As informações que irão abastecer esta rede, e por sua vez os sub-índices, serão coletadas em núcleos onde se tem conhecimento de estágios de degradação. Nestes núcleos serão consideradas informações de especialistas, socioeconômicas censitárias e status biofísico. Neste último caso, os dados serão extraídos por sensoriamento remoto e por estações / coletas <i>in-situ</i> já disponíveis e/ou instrumentadas pelo projeto (abordagem <i>bottom-up</i>). Em escala local, os sub-índices considerados serão compostos por qualidade: hídrico-vegetacional, de manejo e socioeconômica. Estes serão alimentados por dados biofísicos coletados <i>in-situ</i> , informações de setores censitários e por entrevistas de atores passivos e ativos ao que concerne ao manejo nos respectivos municípios.	01 02 08 13 15
	Defasagem da Vegetação à Precipitação	Indicador da qualidade de vegetação, com base na interação clima-vegetação. Mede o tempo de resposta da vegetação com relação a precipitação, levando em conta a diferença em tempo entre a data de máxima precipitação registrada no ciclo anual e a data de máximo desenvolvimento da vegetação. A unidade é tempo em dias. O cálculo deste indicador segue o procedimento descrito por BUSTAMANTE-BECERRA <i>et al.</i> (2014).	13 15

Qualidade Hídrica	Qualidade da Água	Como indicador de qualidade das águas superficiais será adotado um índice (QA) que terá como base o método recomendado pela Agência Nacional de Águas (ANA): http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-idade-aguas.aspx . Para calcular esse índice, adotaremos uma combinação linear, cuja soma dos coeficientes deverá ser a unidade, utilizando-se para seu cálculo os seguintes parâmetros: oxigênio dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH), demanda bioquímica de oxigênio cinco dias (DBO5), temperatura da água (T), nitrogênio total (N), N-nitrato, N-amônio, fósforo-fosfato, condutividade/sais totais dissolvidos e resíduo total. Para realizar essas determinações será utilizado uma sonda multiparâmetros da marca Horiba U51 com a qual serão determinados os seguintes parâmetros em campo: oxigênio dissolvido, temperatura, pH, sólidos totais e condutividade (STD). A medida de nitrogênio total e de suas formas oxidadas e reduzidas serão realizadas utilizando-se um medidor TOC-N da marca Shimadzu (N) e um FIA (análise por injeção em fluxo) da marca LACHAT (amônio, nitrato e nitrito); fósforo como fosfato será determinado utilizando-se um cromatógrafo a líquido Professional 850 da marca Metrohm. Os sólidos (totais, dissolvidos e suspensos) serão determinado por gravimetria (balança micro analítica da marca Mettler XP6). A DBO5 poderá ser medida com a aquisição de um medidor de DBO.	06
Quantidade Hídrica	Umidade do Solo	Esse indicador pretende avaliar o valor de umidade do solo para a região de estudo e possíveis alterações nesse índice em função de mudanças no uso e cobertura da terra e mudanças climáticas. O valor do teor de umidade q será obtido a partir de 3 diferentes enfoques: (a) sensores remotos; (b) usando a combinação de dados de temperatura de superfície e NDVI e (c) a partir dos resultados da modelagem hidrológica.	06 15
	Disponibilidade Hídrica	Sumariza o efeito das mudanças climáticas e no uso e cobertura do solo nos principais usos da água de cada bacia. A sustentabilidade no uso do recurso hídrico pode ser avaliada considerando a produção de água da bacia juntamente com a demanda exercida pelos diferentes usos. A produtividade será avaliada a partir de modelagem hidrológica distribuída. Mudanças climáticas e mudanças no uso da terra que possam alterar as condições de disponibilidade hídrica serão incorporados nessas simulações (SIQUEIRA JR. <i>et al.</i> 2015). Desta forma demandas por parte da vegetação natural (manutenção dos ecossistemas) e agricultura serão explicitamente avaliados pela modelagem. As demandas para o abastecimento humano, irrigação de plantios e geração de energia serão também analisadas considerando os cenários de uso do solo desenvolvidos no projeto, as projeções de crescimento da população nas diferentes regiões até 2030 fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE 2013) e as capacidades instaladas para produção de hidroenergia na bacia (MOHOR <i>et al.</i> 2015).	06
	Extremos Hidrológicos	O indicador ambiental que sumarie os efeitos dos extremos hidrológicos deverá considerar variáveis que quantifiquem os potenciais impactos. No caso de cheias extremas, estes quantificadores podem ser dados pela extensão das áreas afetadas e o tipo de ocupação nelas, produzindo também estimadores da população afetada. Por outro lado, os impactos potenciais de estiagens extremas podem ser quantificados através de seus efeitos no abastecimento, operação de reservatórios e geração de energia e na agricultura irrigada.	06

Energia	Índice de Aptidão para Geração Solar e Eólica	Numa abordagem inovadora, pode-se modelar espacialmente a aptidão de uma região para a geração solar e eólica a partir da combinação de fatores de alocação como infraestrutura viária, redes de transmissão, relevo e mapas de potencial de radiação e ventos, considerando ainda restrições de caráter legal e ambiental, conforme demonstrado por JANKE (2010). Utilizando a ferramenta de modelagem espacial explícita LuccME e valendo-se de relações obtidas a partir de um modelo de regressão espacial com base em dados pretéritos de evolução do parque gerador solar e eólico no Brasil (2005 a 2015), será construído o <i>Índice de Aptidão para Geração Solar e Eólica</i> . Este índice pressupõe que as unidades geradoras são alocadas de maneira hierárquica e progressiva de acordo com o potencial de cada célula de modo a atender a uma demanda definida.	07
	Segurança Energética	Abastecimento da população, irrigação de cultivos e geração de energia competem pelo recurso hídrico em uma bacia (PEREIRA <i>et al.</i> , 2017). Dessa forma, a disponibilidade hídrica deve considerar o volume de água economizado a partir das contribuições da geração solar e eólica. Este indicador permite quantificar a complementariedade entre as diferentes fontes em uma matriz elétrica, o que contribui para o aumento da segurança energética na medida em que promove ganhos em termos de garantia física dos reservatórios hidroelétricos. Serão obtidos a partir das projeções do modelo Eta + cenários de uso de fontes energéticas.	07 11
	Robustez Energética	Descargas elétricas atmosféricas causam danos ao sistema elétrico levando a interrupções de energia e, eventualmente, a grandes apagões com impactos sociais consideráveis. Tais eventos estão ligados à robustez do sistema frente às descargas. Quantificar tal aspecto e acompanhá-lo, permitindo ações preventivas, é de natureza estratégica para o país. Será desenvolvido um indicador para acompanhar a robustez do sistema elétrico frente às descargas elétricas atmosféricas. Este índice terá como base a correlação espaço-temporal entre a ocorrência de descargas e o índice FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) de qualidade dos serviços de energia. Dados dos últimos 15 anos serão utilizados para definir o grau de correlação. Também serão gerados cenários futuros deste índice através da geração de projeções climáticas da incidência de descargas atmosféricas para o país e da evolução do sistema elétrico com base no Plano Nacional de Energia Elétrica (PNEE).	07
Conservação Florestal e Biodiversidade	Risco de Desmatamento	Este indicador será utilizado para determinar o maior ou menor risco de desmatamento de uma determinada área em função da demanda potencial por <i>commodities</i> agrícolas, bem como, das características biofísicas, socioeconômicas e institucionais locais (AGUIAR, 2015, DALLA-NORA <i>et al.</i> , 2014). Para a construção deste indicador serão utilizadas as projeções de expansão agrícola geradas pelo modelo de uso da terra do projeto (LuccME) sendo possível então quantificar e localizar áreas pristinas legalmente disponíveis, agronomicamente viáveis, com maior risco de conversão em cada passo de tempo (anual).	15
	Potencial de Ocorrência de Fogo na Vegetação	A ocorrência do fogo figura entre os IDSs definidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE 2013). Para o cálculo deste indicador é proposto o uso combinado de dados de campo, sensoriamento remoto e modelagem computacional. Com estas técnicas busca-se encontrar relações entre a ocorrência do fogo e outras variáveis ambientais ligadas ao clima, uso e cobertura da terra e estrutura da paisagem. Estas relações serão usadas em equações para se quantificar o potencial de ocorrência do fogo nas áreas de estudo, de forma similar a desenvolvida previamente em CARDOSO <i>et al.</i> (2003, 2008).	15

	Indicadores de Sazonalidade e Ciclo de Crescimento	Conjunto de indicadores que medem parâmetros de fenologia da vegetação (como amplitude e comprimento do ciclo de crescimento da vegetação), com base na interação clima-vegetação. O cálculo destes indicadores segue o procedimento descrito por EKLUNDH & JÖNSSON (2004) e BUSTAMANTE-BECERRA <i>et al.</i> (2014), a partir da integração dos valores acumulados dos índices de vegetação (NDVI e LSWI) ao longo do ciclo anual.	15
	Percentual de Vegetação Remanescente e Protegida	Com base em dados de órgãos públicos (presente) ou premissas dos cenários, indica o percentual de áreas de vegetação remanescente e protegidas nas diversas categorias (terras indígenas, unidades de conservação de proteção integral e uso sustentável).	15
	Áreas de Endemismo e Risco de Extinção de Espécies	Indicador é calculado com base na definição de áreas de endemismo para espécies e avaliação de pressões de interferências e destruição de habitats.	15
	Risco de Extinção por Modelagem de Distribuição de Espécies	Indicador é calculado com base na definição de áreas de distribuição potencial de espécies no espaço e no tempo usando variáveis físicas do ecossistema e avaliação da conversão de áreas naturais em uso para produção agrícola.	15
GEE e Ciclos Biogeoquímicos	Níveis de Emissão de GEE	Este indicador permite: (a) estabelecer, em escala local, os padrões de emissão de gases (CO ₂ , N ₂ O e CH ₄) do solo em diferentes coberturas e corpos d'água. Dados de parâmetros ambientais também serão incorporados às análises, bem como a determinação de teores de nitrato (NO ₃ ⁻) e amônio (NH ₄ ⁺) no solo e ambientes aquáticos; (b) realizar o balanço de emissões em diferentes escalas, através da definição de zonas homogêneas, podendo incluir também valores de emissões derivados do setor energético e da degradação ambiental, extraídos de outros indicadores do projeto.	13
Descargas Elétricas Atmosféricas e Urbanização	Densidade Urbana de Descargas Atmosféricas	Mede o efeito da área urbana sobre a incidência de descargas atmosféricas. Esse indicador representa o quanto um centro urbano é capaz de intensificar a ocorrência de descargas atmosféricas em relação a suas vizinhanças (NACCARATO <i>et al.</i> 2003). Como métrica, a densidade urbana de descargas atmosféricas corresponde ao número de eventos por km ² de área urbana por ano e está diretamente relacionada ao tamanho da ilha de calor urbana e a quantidade de emissões de poluentes.	13
	Percentual de Descargas com Polaridade Positiva	Mede o efeito da área urbana sobre as características físicas das descargas atmosféricas possibilitando assim identificar como a ação antropogênica (emissão de poluentes) afeta a microfísica das nuvens (NACCARATO <i>et al.</i> 2003). Como métrica, o percentual de descargas com polaridade positiva representa a razão entre a quantidade de descargas com polaridade positiva em relação ao número total de descargas.	13
Riscos Climáticos	Ocorrências de Eventos Atmosféricos Extremos	Este indicador visa a identificação e caracterização das áreas de maior risco e dos grupos populacionais mais vulneráveis às mudanças climáticas. Propõe-se utilizar um conjunto de variáveis relacionadas às características do ambiente natural na qual está inserida os biomas e que são potencialmente perigosos à população (MOSER & SHRADER, 1999). Partindo deste pressuposto, as variáveis climáticas utilizadas serão relacionadas a ocorrência de eventos atmosféricos extremos (precipitação, temperatura, vento, descargas elétricas).	13

Todos os indicadores propostos serão calculados para o presente (ano base 2010) e alimentarão pelo menos dois índices de sustentabilidade: o BS e os IODS. Esses indicadores serão posteriormente recalculados com base nos cenários definidos na **Etapa 2** (anualmente,

até 2050), refletindo as projeções climáticas e de uso da terra a serem produzidas (Seção 3.2), assim como demais premissas dos cenários (como, por exemplo, o crescimento populacional), conforme ilustra a Figura 4.

Indicadores compostos de sustentabilidade

Os indicadores individuais obtidos para as escalas Regional e Biomas (gerados para todos os municípios dos biomas Cerrado e Caatinga) servirão de base para a composição de *indicadores de sustentabilidade agregados para as diferentes escalas* (Local, Regional e Biomas). Conforme já discutido, esses indicadores vêm sendo usados desde a ECO-92 e ajudam na avaliação do desenvolvimento em direção à sustentabilidade. A Tabela 2 apresenta tais indicadores disponíveis em fontes e órgãos externos. Estes, junto a indicadores primários, produzidos pelos pesquisadores, irão compor os índices de sustentabilidade: BS e IODS.

Tabela 2 - Lista potencial de indicadores coletados na **Etapa 1** em órgãos e fontes externos, suas respectivas dimensões e ODS relacionados.

	Indicadores de Fontes Externas	ODS
Social	População	11
	Taxa de Crescimento Populacional	11
	Taxa de Desocupação	1, 8, 10
	Índice de Gini	10
	Rendimento Médio Mensal	1, 8, 10
	Porcentagem de Pessoas que Ganham Salário Mínimo	1, 10
	Razão de Rendimento por Gênero	5, 10
	Razão de Rendimento por Cor Étnica	5, 10
	Esperança de Vida ao Nascer	3
	Taxa de Mortalidade Infantil	3
	Imunização contra Doenças Infecciosas Infantis	3
	Número de Leitos Hospitalares por Mil Habitantes	3
	Escolaridade Média	4
	Taxa de Escolarização	4
	Domicílios com Acesso a Rede Geral de Água	6
	Domicílios com Acesso a Rede Geral de Esgoto ou Fossa Séptica	6
	Domicílios Com Rede Elétrica	7, 9
	Densidade de Moradores por Domicílio	11
	IDH-M	3, 4, 8
Econômica	PIB Municipal <i>per Capita</i>	8
	Fundo de Participação Municipal	8
	Taxa de Investimento para a Sustentabilidade	17
	Balança Comercial Municipal	8
	Grau de Endividamento	8
	Consumo de Energia <i>per Capita</i>	7, 12
	Intensidade Energética	7
	Participação de Fontes Renováveis a Oferta de Energia	7, 12

Institucional	Existência de Conselhos Municipais de Meio Ambiente	16, 17
	Representação da Sociedade Civil no Conselho de Meio Ambiente	16
	Existência de Agenda 21 Local	17
	Participação do Município em Comitês de Bacia Hidrográfica	17
	Articulação Interinstitucional dos Municípios (Participação em Consórcios Públicos ou Convênios de Parceria com o Setor Privado ou Comunidades)	17
	Organizações da Sociedade Civil	16
Ambiental	Consumo Industrial de Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio	12, 13
	Extração de Lenha e Produção de Carvão	15
	Número de Veículos <i>per Capita</i>	9, 11, 13
	Queimadas e Incêndios Florestais	1, 13
	Uso de Agrotóxicos	3, 6, 9, 15
	Lixo Coletado (Rural e Urbano)	3, 6, 12
	Reciclagem	12

Como parte importante da discussão e resultados oriundos de um enfoque multidisciplinar, espera-se que o projeto possa criar indicadores de sustentabilidade customizados com as problemáticas em análise. Um aspecto a ser investigado refere-se à incorporação de indicadores de vulnerabilidade⁵ às mudanças climáticas (ADGER *et al.*, 2006; ERIKSEN *et al.*, 2005; LINDOSO *et al.* 2011; PEDROSO *et al.* 2013; TURNER *et al.* 2003) nas dimensões social, econômica e ambiental aos indicadores – mais gerais – de sustentabilidade. Os indicadores (individuais e agregados) gerados nesta fase serão apresentados e discutidos nas oficinas participativas de cenários (Seção 3.2.1).

3.1.2. Seleção das áreas de estudo na escala local para a construção de indicadores de forma participativa

Ao que concerne à construção de indicadores de forma participativa, deverá haver municípios comuns para esta tarefa, portanto, tal seleção será realizada por metodologia comum. Com base nos indicadores qualitativos e no levantamento de dados secundários espacialmente explícitos para a escala Regional, será realizada a delimitação de áreas alvo de investigações na escala Local. Para tanto, serão delimitadas áreas com padrões singulares e representativos dos processos de transformação do espaço socioambiental das Regiões Hidrográficas (Rehidro), onde será selecionado um município para cada uma. A seleção dos mesmos será realizada levando em conta as representatividades socioambiental e de conflito no nexo água—agricultura-energia nas escalas Biomas e Regional. Para subsidiar a escolha, será

⁵ Vulnerabilidade é o grau de suscetibilidade e incapacidade de um sistema de lidar com os efeitos adversos da mudança do clima, dentre eles, a variabilidade climática e os eventos extremos (BRASIL, 2014).

realizado processamento computacional para a geração de aglomerados de municípios com características singulares e representativas de cada Rehidro.

Método computacional para geração de aglomerados

O processamento computacional para geração de aglomerados será realizado por técnica inserida na disciplina de reconhecimento de padrões, redes neurais artificiais de mapas auto organizáveis, ou também conhecida pelo acrônimo SOM (*Self-Organizing Maps*) (KOHONEN, 1982). A SOM tem como benefícios a desnecessária linearidade dos dados e do conhecimento do comportamento das variáveis, além da possibilidade de visualização da proporcionalidade das mesmas (GIRAUDEL & LEK, 2001). A SOM baseia-se na aprendizagem competitiva e não supervisionada, em que cada variável é mapeada em um espaço finito de neurônios organizados em arranjo, geralmente bidimensional, representando o comportamento das variáveis (Mapa de Kohonen ou Componente) (ARCOVERDE *et al.*, 2011).

3.1.3 Levantamento de informações qualitativas nas diferentes escalas

Métodos qualitativos consistem de uma forma de investigação sistemática e rigorosa integrando métodos de coleta de dados como entrevistas em profundidade, discussão de grupos, observação participativa (etnografia), análise de documentos. Esses métodos exploram os contextos e as experiências humanas em cada contexto (os significados). Nesta etapa do projeto, nas três escalas, serão realizadas as atividades com o objetivo de identificar atores e conflitos no nexo água-agricultura-energia, entender as relações de poder, assim como os possíveis limites da participação nos diferentes contextos. Essas atividades são:

Levantamento de literatura científica sobre as áreas e análise de bancos de dados. As informações geradas permitirão identificar os maiores usuários dos recursos naturais, as divergências econômicas, entre outros. Estas informações são chaves para identificar “hotspots” de conflitos ou, no mínimo, de interesses divergentes de um ponto de vista de (mais) igualdade. Esta atividade incluirá a análise do acesso aos recursos naturais através de análise da literatura científica e relatórios governamentais e de instituições financeiras e de desenvolvimento relevantes (por exemplo CEBDS/GIZ, 2015). O arcabouço teórico será baseado na sociologia ambiental (BUTTEL, 2003; FREUDENBURG 2005).

Coleta / Preparação de apresentações breves (5-8 minutos cada) sobre dimensões chave do nexo água-alimentos-energia, da maior até a menor escala. Solicitaremos depoimentos filmados, junto com *slides*, de tais palestras de especialistas das ciências naturais e sociais nos assuntos chave (por exemplo, arcabouços legais, fontes de energia, trade-off, os SDG). Serão acessíveis publicamente, a não ser que tenham informações delicadas sobre as localidades em

foco. Servirão para apresentar ao público em geral os desafios dos nexos - especificamente os envolvidos nas atividades participativas do projeto.

Trabalho de campo usando métodos qualitativos, em particular entrevistas semiestruturadas e grupos focais⁶. Serão coletados dados empíricos sobre: (a) as percepções relativas aonexo e aos conflitos ou outras divergências sócio-políticas associadas; (b) arranjos sociais locais e supralocais, inclusive precedentes/tradições e obstáculos a formas de participação. As entrevistas semiestruturadas serão realizadas com informantes-chave que representem diferentes setores da sociedade (organizações sociedade civil, setor produtivo, governantes) nas escalas Biomas, Regional e Local. A utilização de grupos focais ocorrerá na escala Local. Métodos qualitativos visam entender o “*porquê*” e o “*como*” das percepções e decisões socioculturais, não apenas “*o quê*”, “*onde*” e “*quando*”. Portanto, baseiam-se, frequentemente, em pequenas amostras, não na contagem de grandes amostras, o que justifica a utilização de grupos focais. Usaremos grupos focais de aproximadamente dez pessoas selecionadas seguindo os procedimentos recomendados para ter uma variedade de perspectivas (TRACY, 2013). Seguindo as recomendações para obter dados confiáveis, estudaremos um número de grupos focais em várias localidades e cruzaremos os resultados com outras fontes de dados, seguindo as recomendações de RAYMOND *et al.* (2010) e KIDD & PARSHALL (2000)

Os resultados dessas investigações serão considerados em conjunto com os bancos de dados gerados na Seção 3.2.1.1. Caso identificada a falta de percepção de riscos e de impactos negativos na literatura científica ou nos bancos de dados, serão realizadas investigações adicionais para identificar suas raízes culturais e informacionais (pessoas serão questionadas sobre as suas fontes de informação principais).

3.2. Etapa 2 (Futuro): Construção de cenários em múltiplas escalas

Raskin *et al.* (2005) definem cenários como “*histórias plausíveis, desafiadoras e relevantes sobre como o futuro pode se desenvolver, que podem ser contadas tanto por palavras como por números. Cenários não são previsões, predições ou recomendações. Eles dizem*

⁶ Grupo focal é uma forma qualitativa de investigação em que um grupo de pessoas é questionado sobre as suas percepções, opiniões, crenças e atitudes em relação a um produto, serviço, conceito, comportamento. As perguntas são feitas de forma interativa no ambiente de grupo onde os participantes são livres para conversar com outros membros do grupo. Benefícios e pontos fortes desse método são que, discussões em grupo produzem não apenas informações para os pesquisadores, mas também um entendimento do coletivo através da interação entre os membros do grupo, além de prover oportunidade de ouvir percepções individuais; o fato de ouvir os outros, verbalizando experiências estimula memórias, ideias e experiências nos participantes (BERNARD 2011). Métodos semelhantes serão utilizados nas oficinas de cenários na **Etapa 2** (Seção 3.2.2).

respeito a esboçar caminhos (pathways) futuros e levar em consideração incertezas críticas". Assim, cenários são utilizados em situações onde os fatores que influenciam o futuro são altamente incertos, incontroláveis e insuficientemente conhecidos. Podem ser utilizados para melhorar o entendimento das relações entre causas e consequências que frequentemente escapam/faltam às pessoas, especialmente no mundo de hoje, marcado pela globalização e as mudanças ambientais antrópicas. Um cenário não é uma descrição de um ponto final no tempo, mas uma história (contada em números ou palavras) sobre uma série de eventos possíveis no horizonte de tempo estabelecido para ele (ALCAMO, 2008; WILKINSON & EIDINOW, 2008). Várias tipologias foram propostas para classificar os cenários, com muitas nuances e diferenças entre eles (VAN NOTTEN *et al.*, 2003; BÖRJESON *et al.*, 2006; PULVER & VAN DEVEER, 2007). Especificamente sobre cenários ambientais, podemos citar ALCAMO (2008), RASKIN *et al.* (2005), PARSON (2008) e WILKINSON & EIDINOW (2008). AGUIAR *et al.* (2015) sintetizam as principais variações encontradas na literatura sobre cenários ambientais, através de uma organização em quatro eixos: (a) cenários qualitativos e/ou quantitativos; (b) cenários normativos e/ou exploratórios; (c) cenários em única escala ou multi-escala; e (d) cenários participativos ou elaborados por especialistas. Propomos neste projeto uma abordagem multi-escala, qualitativa/quantitativa, participativa e normativa.

Os cenários **normativos** ou **antecipatórios** incluem na sua concepção o desejo das pessoas envolvidas no seu processo de construção, *explorando caminhos ou ações que deveriam ocorrer para alcançar este desejo*. São concebidos a partir de uma “visão do futuro”⁷, que pode ser positiva, negativa ou neutra e se desenvolve na discussão do confronto do desejo com as condições concretas, mediante a construção de uma trajetória invertida, através de métodos de *backcasting*.

Os cenários do quinto relatório do *Global Environment Outlook* (GEO-5), por exemplo, produzidos pela UNEP, foram desenvolvidos por uma combinação da abordagem exploratória e normativa. Foram adotados dois cenários. O primeiro representa uma visão do mundo em 2050 assumindo trajetórias e comportamentos “*business as usual*”, denominado “Mundo Convencional”. Foi então construída uma visão alternativa, consistente com o entendimento atual, e compactuada de objetivos e metas para 2050, denominados cenários do “Mundo Sustentável”. O incremento entre os resultados em termos de sustentabilidade entre as duas abordagens de construção de cenários, exploratória e normativa, poderá ser verificada o quão

⁷ Esta visão do futuro não deve ser confundida com o cenário em si, que contempla os passos para alcançar esta visão.

profunda será a transformação social que ocorrerá, possibilitando o surgimento de novas trajetórias, como ilustra a Figura 5.

Seguindo essa mesma linha, o desafio neste projeto é adaptar e estender a abordagem desenvolvida para construção de cenários multi-escala e participativos na Amazônia, conforme reportado em FOLHES *et al.* (2015) e AGUIAR *et al.*, (2016), para a realidade das áreas de estudo do projeto, principalmente explorando e aprimorando mecanismos de participação que efetivamente promovam as transformações necessárias para a construção de “territórios sustentáveis”. Pretendemos utilizar o arcabouço dos ODS para apoiar a discussão, mapeando – de modo participativo – as metas globais para cada território. Como descrito em FOLHES *et al.* (2015), as discussões ocorrerão em oficinas, com representantes de diferentes setores da sociedade (civil, setor produtivo, governo). Cada oficina será estruturada em torno das dimensões social, econômica, institucional e ambiental. A mesma estrutura de oficina será repetida em cada escala/localidade. Os resultados serão integrados na **Etapa 3**. Os indicadores gerados na **Etapa 1** serão apresentados como ponto inicial das discussões nas oficinas.

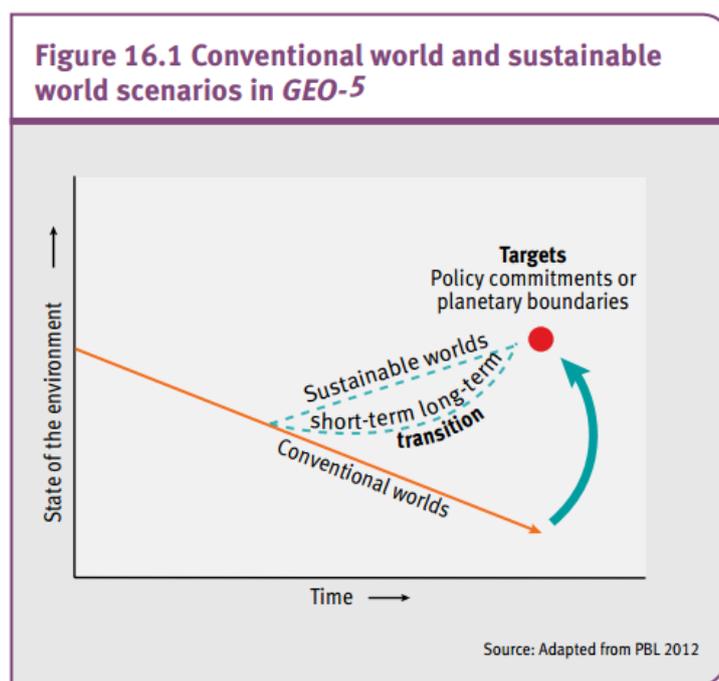


Figura 5 – Representação esquemática da diferença entre os cenários “Convencional” e “Sustentável” Fonte: GEO-5 (UNEP, 2012)

3.2.1. Quantificação dos cenários

Uma vez definidos os cenários “convencional” e “sustentável”, iremos quantificar elementos das histórias, seguindo a metodologia proposta em AGUIAR *et al.* (2016). Serão

selecionados e quantificados os elementos dos cenários que sejam necessários para gerar projeções de uso da terra e projeções climáticas. Os modelos de uso da terra e climático serão denominados neste projeto como de 1ª camada. Os demais modelos que receberem saídas dos modelos de 1ª camada serão denominados como modelos de 2ª camada, por exemplo, o modelo hidrológico e o modelo agrícola. Além destes modelos, também serão identificadas premissas que deverão se enquadrar em um futuro “sustentável” ou “convencional” compatível, por exemplo, identificação de políticas, legislação, demandas de crescimento populacional e energético, apontadas por órgãos oficiais. As camadas de modelo e premissas alimentarão e atualizarão o cálculo de indicadores das diferentes dimensões (social, econômica, institucional e ambiental), além de possibilitar a identificação e seleção de indicadores mais significativos que apontem as trajetórias “sustentáveis” ou “convencionais”. Este processo incluirá, por exemplo, projeções de variáveis socioeconômicas utilizando dados existentes e/ou extensões das SSPs (“*Shared Socioeconomic Pathways*”) do IPCC. As atividades são divididas em três partes. A Seção 3.2.1.1 descreve o método para geração das projeções de uso da terra, a seção 3.2.1.2 apresenta como serão geradas as projeções climáticas e a seção 3.2.1.3 sintetiza a geração dos indicadores a partir dessas projeções, que completa a etapa de quantificação dos cenários, notando que o conceito de cenários adotado engloba todo o conjunto, quantitativo e qualitativo, de informações geradas (ALCAMO, 2008; RASKIN *et al.* 2005).

3.2.1.1. Projeções espacialmente explícitas de mudanças do uso da terra

Os biomas Cerrado e Caatinga, assim com as regiões hidrográficas do São Francisco e Parnaíba, apresentam uma enorme diversidade de processos de mudança de uso e cobertura da terra ligadas ao nexo água-agricultura-energia. Inclui, por exemplo, processo de expansão da agricultura de grãos no MATOPIBA, a expansão da fruticultura irrigada no São Francisco, o processo de desertificação em regiões do semiárido, um forte componente de agropecuária mais tradicional altamente sujeito a mudanças climáticas na Caatinga, a expansão dos biocombustíveis, o desmatamento tanto para expansão agropecuária quanto para lenha e, recentemente, a expansão do parque eólico e solar que compete com usos agrícolas.

O objetivo desta atividade é buscar a representação de parte desta diversidade de processos, gerando projeções espacialmente explícitas que correspondam aos cenários qualitativos gerados na atividade anterior e atendam aos requisitos dos indicadores descritos na Tabela 1. Nesta proposta, iremos utilizar o arcabouço de modelagem LuccME (AGUIAR *et al.* 2012, 2016) desenvolvido pelo INPE/CCST (<http://lucme.ccst.inpe.br/>). O LuccME é um arcabouço para modelagem de uso da terra espacialmente explícita, que permite construir

facilmente modelos de desmatamento, expansão da agricultura, desertificação, degradação florestal, crescimento urbano e outros processos de mudanças de uso e cobertura da terra em diferentes escalas e áreas de estudo, combinando os componentes de alocação, potencial e demanda. Utilizando o LuccME, os modelos são organizados de forma que, a cada ano, a demanda por mudança é espacialmente alocada de acordo com o potencial da célula.

Considerando que as mudanças de uso da terra são influenciadas por fatores locais, regionais e globais (como, por exemplo, a demanda global por alimentos e políticas nacionais), a implementação dos modelos de uso da terra para as escalas Biomas e Regional será integrada a um arcabouço de modelagem cobrindo o território nacional, em células regulares de 10x10km, que, por sua vez, receberá resultados de modelos econômicos globais projetando a demanda por diferentes usos. A estratégia para implementação irá depender dos consensos e divergências entre escalas. Uma oficina específica irá discutir esses consensos/divergências, visando construir as projeções quantitativas. Já na escala Local (para os municípios selecionados), a implementação irá possivelmente requerer uma resolução mais fina e uma abordagem específica para tratamento de divergências.

3.2.1.2. Projeções espacialmente explícitas de mudanças climáticas

Para observar como as mudanças climáticas ocorrem em escala Regional é preciso ter acesso a informações mais detalhadas. Nesse sentido, faz-se necessária a utilização de técnicas de regionalização (conhecidas como *downscaling*) para traduzir as informações fornecidas por modelos climáticos globais numa escala espacial mais refinada. Os modelos climáticos regionais (RCMs) são amplamente utilizados para produzir simulações climáticas de alta resolução em escalas regionais para avaliação de impactos e vulnerabilidades, uma vez que podem representar importantes forçantes climáticas locais, como a topografia complexa, a heterogeneidade da superfície da terra, a linha costeira e lagos, contribuindo para capturar melhor a variabilidade climática interanual.

Neste projeto, prevê-se a utilização de dois modelos regionais climáticos, o Eta e HadRMP3. O primeiro apresenta resolução espacial de 20x20km e é usado operacionalmente no INPE desde de 1996 (CHOU *et al.*, 1996) para previsão de tempo e, nos últimos anos, para integrações longas de mudanças climáticas, após adaptações (PESQUERO *et al.*, 2009; CHOU *et al.*, 2012; MARENGO *et al.*, 2012; CHOU *et al.*, 2014b). O segundo apresenta resolução espacial de 25x25km, sendo aninhado ao modelo global HadGEM2-ES, e duas trajetórias de emissões (“*Representative Concentration Pathways*” – RCPs) 4.5 e 8.5. Trata-se de um produto do CCST/INPE em parceria com a UFPA.

As projeções climáticas estão sujeitas a inúmeras incertezas que, em geral, estão associadas a vários fatores como: emissões futuras de gases de efeito estufa e concentração de aerossóis, variabilidade natural do tempo e clima, construção dos modelos climáticos (DESSAI *et al.*, 2009; DESSAI & HULME, 2004). MARENGO *et al.* (2010, 2012) sugerem que as incertezas poderiam ser reduzidas com os avanços no conhecimento do sistema climático e a melhor representação deste nos modelos. Além disso, a utilização de um conjunto formado por vários cenários globais ou regionais poderia gerar valor agregado nas projeções de clima. Sendo assim, as incertezas associadas às projeções climáticas devem ser levadas em consideração na tomada de decisões para as ações de mitigação e adaptação. Isto ressalta a necessidade de uma abordagem das incertezas e do risco, incorporando resultados de diferentes cenários climáticos nos estudos de impactos (NÓBREGA *et al.*, 2011).

Diante do exposto, propomos estudar a sensibilidade climática tomando-se três metodologias de integração do modelo Eta, resolução de 20x20km, aninhado ao modelo HadGEM2-ES (COLLINS *et al.*, 2011):

1. A primeira, denominada de controle (CTRL1), será a simulação do clima presente (1970-2000) e projeções (2020-2050) a partir de duas trajetórias de emissões (RCPs) contrastantes adotadas pelo AR5 (IPCC 2014): RCP 4.5 (CTRL2) e RCP 8.5 (CTRL3).
2. A segunda consistirá da substituição do mapa de vegetação do Eta pelos dados e projeções de uso da terra (em especial, resultados sobre desmatamento), geradas pelo projeto para a área de estudo (escala regional), descritos na seção anterior. A Tabela 3 apresenta uma proposta inicial de utilização das RCPs para construção dos cenários do projeto. Essas combinações poderão ser alteradas durante as oficinas de cenários.

Tabela 3 – Proposta inicial de combinações entre as RCPs e os cenários regionais do projeto.

		Sustentabilidade	Convencional
Projeção Climática	RCP 4.5	X	
	RCP 8.5		X

3.2.1.3. Cálculo de indicadores derivados das projeções climáticas e de uso da terra

Os resultados das projeções climáticas, de uso da terra e de outras variáveis quantificadas a partir dos cenários (por exemplo, crescimento populacional) serão utilizados para geração dos indicadores socioambientais detalhados na Seção 3.1.1 (Tabela 1), completando assim a quantificação dos cenários.

3.3. Etapa 3 (Trajetórias): Síntese e análise de trajetórias para sustentabilidade

3.3.1. Síntese dos resultados obtidos nas etapas anteriores

Os resultados qualitativos e quantitativos das etapas anteriores serão analisados pelos pesquisadores do projeto, buscando consensos e divergências. Os resultados nas diferentes escalas serão analisados independentemente, depois buscando mapear consensos e divergências (FOLHES *et al.*, 2015; BIGGS *et al.*, 2007). Iremos comparar os resultados entre escalas com uma perspectiva analítica, sem buscar generalizações das escalas locais para as regionais, conforme proposto por GEIST & LAMBIN (2002) e GIBSON & OSTROM (2000). Esta atividade terá por objetivo preparar a última rodada de oficinas, descrita na seção seguinte.

3.3.2. Trajetórias para a sustentabilidade

Esta atividade consiste da exploração *de métodos participativos para discussão de trajetórias para a sustentabilidade e transformação social em cada escala, com base nos resultados das etapas anteriores*. Ela irá ampliar e aprofundar a discussão sobre trajetórias (ações e obstáculos) para alcançar o cenário de “Sustentabilidade”. Na **Etapa 3**, esta discussão será balizada pelos resultados quantitativos dos índices de sustentabilidade (presente e futuro) e de seus respectivos indicadores.

Este componente do projeto será baseado nas teorias de processos participativos (HICKEY & MOHAN, 2004) e tentará superar obstáculos comuns ao seu impacto apontados por elas. Além da abordagem baseada em FOLHES *et al.* (2015) para discussão de trajetórias (com os mesmos participantes das oficinas da **Etapa 2**), experimentará com uma combinação de “*Wisdom Councils*” e “*Citizen Juries*”, dois modelos estabelecidos para o envolvimento dos cidadãos na deliberação e tomada de decisões políticas (ATLEE, 2012). Estes painéis se reunirão por dois dias e serão compostos por cidadãos comuns, não *stakeholders*. Será solicitado que eles deliberem sobre os obstáculos para alcançar os cenários definidos na **Etapa 2** e as maneiras de superá-los. Tal concepção iterativa, indo além da mera definição de recomendações, é um dos fatores até então ausentes em experimentos com tais processos participativos (ATLEE, 2012).

4. Cronograma de Execução do Projeto

		Ano 1				Ano 2				Ano 3				Ano 4				Ano 5			
	Atividade	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	Seleção das áreas escala Local	■	■	■																	
Etapa 1	Banco de dados (Escala Regional)	■	■	■																	
	Atividades de campo (Escala Regional)		■	■	■	■															
	Calibração de modelos e geração de indicadores do presente			■	■	■	■														
	Oficinas: cenários							■	■	■											
	Quantificação dos cenários (projeções e indicadores)									■	■	■	■	■	■	■					
Etapa 2	Implementação da instrumentação das áreas escala Local			■	■	■	■														
	Revisão da literatura e preparação das atividades de campo					■	■														
	Banco de dados (Escala Local)						■	■	■												
	Atividades de campo (Escala Local)						■	■	■	■	■	■	■	■							
	Oficinas: indicadores (Escala Local)											■	■	■	■	■					
Etapa 3	Síntese das etapas 1 e 2																■	■			
	Oficinas: trajetórias																	■	■		
	Síntese das trajetórias																				■
	Disseminação das informações									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

5. Disseminação e Avaliação

5.1. Critérios de Avaliação

- **Etapa 1** – Indicadores socioambientais gerados para o presente;
- **Etapa 2** – Indicadores socioambientais gerados para o futuro (cenários);
- **Etapa 3** – Ciclo de oficinas concluídas com a discussão das trajetórias em múltiplas escalas.

5.2. Disseminação

O projeto procurará envolver meios de comunicação digitais de maneira inovadora para atrair a atenção de ampla parcela da sociedade para o projeto, disseminando o conhecimento através da produção de material na mídia on-line. O objetivo será divulgar não apenas os resultados qualitativos e quantitativos do projeto (Etapas 1 e 2), mas também sobre a possibilidade de processos inovadores de deliberação e tomada de decisão (Etapa 3). Será desenvolvida uma *plataforma web* para publicação e disseminação de dados e cenários espacialmente explícitos. Os possíveis usuários desta ferramenta são tanto a comunidade científica quanto a sociedade em geral. Serão publicados:

1. Dados quantitativos resultantes de trabalhos de campo;
2. Dados provenientes de outras instituições e/ou projetos usados no contexto deste projeto;
3. Resultados espacialmente explícitos dos modelos computacionais;
4. Indicadores de sustentabilidade sociais, econômicos, institucionais e ambientais para as áreas de estudo, em diferentes cenários e diferentes escalas;
5. Relatórios referentes a cada um dos municípios localizados nos biomas Cerrado e Caatinga, contendo os resultados dos indicadores desenvolvidos no âmbito deste projeto;
6. Textos jornalísticos de divulgação científica para subsidiar a disseminação do conhecimento pela mídia impressa e digital;
7. Materiais de divulgação (impressos e digitais) dos resultados, dirigidos aos formuladores de políticas e tomadores de decisão nos diversos níveis (federal, estadual e municipal).

A ferramenta estabelecerá uma série de processos para a importação e visualização dos dados. Pesquisadores do projeto poderão definir as áreas a serem visualizadas, importar os dados das suas pesquisas e como estes dados serão visualizados pelo usuário final. Por sua vez, o usuário final desta ferramenta poderá visualizar interativamente todos os dados publicados pelos pesquisadores do projeto, bem como comparar os resultados dos diferentes cenários, através de uma aplicação na plataforma Google Maps.

6. Outros Apoios

Os pesquisadores já participam dos seguintes projetos que apresentam sinergia com a temática desta proposta:

- DEVIL (*Delivering Food Security on Limited Land*) – Projeto Temático FAPESP/Beomont Forum/FACCE-JPI (Processo 2014/50627-2). *Food Security and Land Use Change*.
- Rede CLIMA (Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais) – Instituída pelo então Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) em sua Portaria nº 728, de 20/11/2007, e alterada pelas Portarias nº 262 de 02/05/2011 e nº 1295 de 16/12/2013, tem como missão gerar e disseminar conhecimentos para que o Brasil possa responder aos desafios representados pelas causas e efeitos das mudanças climáticas globais.

7. Referências Bibliográficas

- ADGER, N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change* 16, 268–281.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE (2012). A questão da água no nordeste. Brasília: ANA,CGEE, 432 p. Disponível em: <http://www.cgee.org.br/publicacoes/agua_nordeste.php>.
- AGUIAR A. P. D., VIEIRA IC, ASSIS, T, DALLA-NORA E, TOLEDO, P, SANTOS-JUNIOR R, BATISTELLA M, COELHO A, SAVAGET E, ARAGÃO LE, NOBRE C, OMETTO, JP (2016). Land use change emission scenarios: anticipating a forest transition process in the Brazilian Amazon? *Global Change Biology* 22(5): 1821–1840, doi: 10.1111/gcb.13134.
- AGUIAR, A. P. D. (2015). Transition to sustainability: are participatory multi-scale scenarios a useful tool? *GLP News - Newsletter of the Global Land Project*, 11.
- AGUIAR, A. P. D.; ASSIS, T. O.; FOLHES, R.; DALLA-NORA, E. L.; ARAÚJO, R.; ALVES, D. Modelagem e cenários para a Amazônia. In: VIEIRA, I.; TOLEDO, P.; ARAÚJO, R. (Eds.), *Ambiente e Sociedade na Amazônia: Uma abordagem interdisciplinar*. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2014, cap. 16, p. 100-134.
- AGUIAR, A.P.D., CARNEIRO, T., *et al.* (2012). LuccME-TerraME: an open-source framework for spatially explicit land use change modelling. *Global Land Project News*, 8, pp.21–23.
- ALCAMO, J. (2008). *Environmental futures: the practice of environmental scenario analysis*. 1. ed. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2008. 212p. ISBN-13:978-0-444-53293-0.
- ARCOVERDE, G. F.B.; ALMEIDA, C. M.; XIMENES, A.C.; MAEDA, E.E.; ARAÚJO, L.S. (2011). Identificação de áreas prioritárias para recuperação florestal com o uso de rede neural de mapas auto-organizáveis. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 17, n. 3, p.379-400.
- ATLEE, T. (2012). *Empowering public wisdom: A practical vision of citizen-led politics*, North Atlantic Books.
- BAI *et al.* (2015). "Plausible and desirable futures in the Anthropocene: A new research agenda." *Global Environmental Change*. Available online 24 October 2015, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378015300546>
- BERNARD, H. R. (2011). *Research methods in anthropology: Qualitative and quantitative approaches*, Rowman Altamira.
- BIGGS, R., RAUDSEPP-HEARNE, C., ATKINSON-PALOMBO, C., BOHENSKY, E., BOYD, E., & CUNDILL, G., *et al.* (2007). Linking futures across scales: a dialog on multiscale scenarios. *Ecology and Society*, 12(1) art.17.
- BÖRJESON, L. *et al.* (2006). Scenario types and techniques: Towards a user's guide. *Futures*, 38(7), pp.723–739. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016328705002132>.
- BOUCHLE, R, GRECCHI, R.C., SHIMABUKURO, Y.E., SELIGER, R., EVA, H.D., SANO, E., ARCHARD, F. (2015) Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing approach. *Applied Geography*, 58, 116-127.
- BRASIL. Lei n. 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L12187.htm>. Acesso em: 13 ago. 2014.
- BUSTAMANTE-BECERRA, J.A.; CARVALHO, S; OMETTO, J.P.H.B. (2014). Influence of the rainfall seasonal variability in the Caatinga vegetation of NE Brazil by the use of time-series. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 4, 31-44.

- BUTTEL, F. H. (2003). "Environmental sociology and the explanation of environmental reform." *Organization & Environment* 16(3): 306-344.
- CARDOSO, M.F., HURTT, G.C., MOORE III, B., NOBRE, C.A., PRINS, E.M. (2003). Projecting future fire activity in Amazonia, *Global Change Biology*, 9, 656-669.
- CARDOSO, M.F., NOBRE, C.A., LAPOLA, D.M., OYAMA, M.D., SAMPAIO, G. (2008) Long-term potential for fires in estimates of the occurrence of savannas in the tropics. *Global Ecology and Biogeography*. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2007.00356.x.
- CEBDS/GIZ (2015). Natural Capital Risk Exposure of the Financial Sector in Brazil, Report by Brazilian Council of Businesses for Sustainable Development (CEBDS) and the German Council for International Collaboration (GIZ).
- CHOU, S. C. (1996). Modelo Regional Eta. In: *Climanálise, Edição Comemorativa de 10 anos*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Cachoeira Paulista, SP. Brasil.
- CHOU, S. C.; LYRA, A. A.; MOURÃO, C.; DERECZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; *et al.* (2014). Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. *American Journal of Climate Change*, 3: 512-527.
- CHOU, S. C.; MARENGO, J. A.; LYRA, A.; SUEIRO, G.; PESQUERO, J.; ALVES, L. M.; KAY, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J., TAVARES, P. (2012) Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. *Climate Dynamics*. Vol. 38 n. 3-4, 635-653. DOI 10.1007/s00382-011-1002-8
- COLLINS, W. J.; BELLOUIN, N.; DOUTRIAUX-BOUCHER, M.; GEDNEY, N.; HALLORAN, P.; HINTON, T., *et al.* (2011) Development and Evaluation of an Earth-System Model-HadGEM2. *Geoscientific Model Development*, 4, 1051-1075. <http://dx.doi.org/10.5194/gmd-4-1051-2011>.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (2015). Levantamento de safras. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2>>. Acesso em: 12 jan. 2015.
- DALLA-NORA EL, DE AGUIAR APD, LAPOLA DM, WOLTJER G. (2014). Why have land use change models for the Amazon failed to capture the amount of deforestation over the last decade? *Land use policy* [Internet].;39:403–11. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837714000246>
- DESSAI, S. E HULME, M. (2004). Does climate adaptation policy need probabilities? *Climate Policy*. Volume 4, Issue 2, doi: 10.1080/14693062.2004.9685515.
- DESSAI, S.; HULME, M.; LEMPERT, R. E PIELKE, R. JR. (2009). *Climate prediction: a limit to adaptation? Adapting to Climate Change*. Cambridge University Press.
- DIRMEYER, P. A. *et al.* (2006). GSWP-2: Multimodel analysis and implications for our perception of the land surface. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 87, n. 10, p. 1381–1397.
- DRYZEK, JOHN S. (2014). "Institutions for the Anthropocene: Governance in a Changing Earth System." *British Journal of Political Science* no. FirstView (Supplement -1):1-20. doi: doi:10.1017/S0007123414000453
- EKLUNDH, L.; JÖNSSON, P (2004). Timesat-a program for analyzing time-series of satellite sensor data. *Computers & Geosciences* 30 (8), 833-845.
- ELLIS, E.C. (2015). Ecology in an Anthropogenic Biosphere. *Ecological Monographs* 85(3)287–331. [download] [Anthroecology Project]
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (2014). Notícias: Embrapa mapeia degradação das pastagens do Cerrado. Brasília: Embrapa, 2014. Disponível: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2361250/embrapa-mapeia-degradacao-das-pastagens-do-cerrado>>.
- ERIKSEN, S., BROWN, K., KELLY, P.M. (2005). The dynamics of vulnerability: locating coping strategies in Kenya and Tanzania. *Geographical Journal* 171, 287–305.
- FENG, X.; PORPORATO, A.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. (2013). Changes in rainfall seasonality in the tropics. *Nature Climate Change*, v. 3, n. 9, p. 811–815.
- FOLEY, J.A. *et al.* (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), pp.337–342. Books. Available at: <http://dx.doi.org/10.1038/nature10452>.
- FOLHES RT, AGUIAR APD, STOLL E, DALLA-NORA EL, ARAÚJO R, COELHO A, *et al.* (2015). Multi-scale participatory scenario methods and territorial planning in the Brazilian Amazon. *Futures*, 73:86, 99.
- FREUDENBURG, W. R. (2005). Privileged Access, Privileged Accounts: Toward a Socially Structured Theory of Resources and Discourses. *Social Forces*, 84(1), 89–114. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/3598296>
- GALLOPÍN, G. C. Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A systems approach. *Environmental Modeling & Assessment*, v. 1, n. 3, p. 101–117, 1996.
- Geist, HJ; Lambin, EF (2002). Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. *BioScience*, 2002
- GIBBS, H. K.; RUESCH, A. S.; ACHARD, F.; CLAYTON, M. K.; HOLMGREN, P.; RAMANKUTTY, N.; FOLEY, J.A. (2010). Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 107, n. 38, p. 16732–16737.
- GIBSON, C.; OSTROM, E.; AHN, T. K. The concept of scale and the human dimensions of global change: a survey. *Ecological Economics*, n. 32, p. 217–239, 2000. GIDDENS, A. (2009). *The Politics of Climate Change*. Cambridge UK: Polity Press.
- GIDDENS, A. (2009). *The politics of climate change*. Wiley Online Library, Cambridge, UK.

- GIRAUDEL, J. L.; LEK, S. (2001). A comparison of self-organizing map algorithm and some conventional statistical methods for ecological community ordination. *Ecological Modelling*, v. 146, n. 1-3, p. 329-339.
- GODFRAY, H.C.J. *et al.* (2010). Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science* 327, 812-818
- HANSEN, J., SATO, M., RUEDY, R. (2012). Perception of climate change. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 109, E2415-E2423.
- HANSEN, M. C.; STEHMAN, S. V.; POTAPOV, P. V. (2009). Quantification of global gross forest cover loss. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 107, n. 19, p. 8650-8655.
- HICKEY, S. AND G. MOHAN (2004). Participation--from tyranny to transformation: Exploring new approaches to participation in development, Zed books.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2013). Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira, 2013. Rio de Janeiro: FIBGE, 2013. 266 p. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Indicadores_Sociais/Sintese_de_Indicadores_Sociais_2013/SIS_2013.pdf>
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2006). Censo agropecuário 2006. Rio de Janeiro: FIBGE, 2006. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=CA&z=t&o=11>>.
- ICMBio – INSTITUTO CHICO MENDES (2015). Biodiversidade: Brasília: Caatinga. CECAT – ICMBio. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/cecat/conservacao-da-biodiversidade/biodiversidade.html>>.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report, Edenhofer, O., *et al.* (eds.), IPCC, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.
- JANKE, J. R. Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado. *Renewable Energy*, v. 35, n. 10, p. 2228-2234, 2010.
- KIDD, P. S. AND M. B. PARSHALL (2000). "Getting the focus and the group: enhancing analytical rigor in focus group research." *Qualitative health research* 10(3): 293-308.
- KOHONEN, T. (1982). Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics*, v. 43, p.59-69.
- KOSMAS, C.; KIRKBY, M.; AND GEESON, N. (1999). The Medalus project Mediterranean desertification and land use - manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification, , Brussels: European Commission.
- KRAMA, M. R. (2009). Análise dos indicadores de desenvolvimento sustentável no Brasil, usando a ferramenta painel de sustentabilidade. Curitiba, Brasil. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná.
- KRONEMBERGER, D. M. P. *et al.* (2008). Desenvolvimento sustentável no Brasil: uma análise a partir da aplicação do barômetro da sustentabilidade. *Sociedade & Natureza*, v. 1, n. 20, p. 25-50.
- LAMBIN, E.F. & MEYFROIDT, P., 2011. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(9), pp.3465–3472. Available at: <http://www.pnas.org/content/108/9/3465.abstract>.
- LAMBIN, E.F.; GIBBS, H. K.; FERREIRA, L.; GRAU, R.; MAYAUX, P.; MEYFROIDT, P.; MORTON, D. C.; RUDEL, T. K.; GASPARRI, I.; MUNGER, J. (2013). Estimating the world's potentially available cropland using a bottom-up approach. *Global Environmental Change*, v. 23, n.5, p. 892-901.
- LEAL, I.R.; TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C. DA. (2005). *Ecologia e conservação da Caatinga*. 2 Ed. Recife: UFPE, 822 p.
- LINDOSO *et al.* (2011). Agricultura Familiar e Mudanças Climáticas: Avaliando a Vulnerabilidade à Seca no Semiárido Nordeste em Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios. Brasília : IPEA.
- LYONS, W. A., NELSON, T. E., WILLIAMS, E. R., CRAMER, J. A., TURNER, T. R. (1998). Enhanced positive cloud-to-ground lightning in thunderstorms ingesting smoke from fires. *Science*, 282(5386), 77-80.
- MALHADO, A.; PIRES, G.; COSTA, M. (2010). Cerrado Conservation is Essential to Protect the Amazon Rainforest. *Ambio*, v. 39, n. 8, p. 580-584.
- MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P.; ALVES, L. M.; CUADRA, S. V.; VALVERDE, M.; FERRAZ, S. E. T.; TORRES, R. R.; SANTOS, D. C. (2010). Future 122 change of climate in South America in the late XXI century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. *Climate Dynamics*, v. 35, p. 1073-1097.
- MARENGO, J. A.; CHOU, S. C; KAY G.; ALVES, L.; PESQUERO, J. F SOARES, W. R; SANTOS, D.C.; LYRA, A. A.; SUEIRO, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D. J.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J. F.; TAVARES, P. (2012). Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: Climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and and the Parana River Basins. *Climate Dynamics*. Vol 38, n 9-10, 1829-1848. DOI 10.1007/s00382-011-1155-5
- MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Diagnóstico do macrozoneamento ecológico-econômico da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco/SEDR/DZT/MMA. – Brasília: MMA, 2011.
- MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2005). Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca - PAN-Brasil. p. 242.
- MOHOR, G.S., *et al.*, (2015). Exploratory analyses for the assessment of climate change impact on the energy production in an Amazon run-of-river hydropower plan. *J. Hydrol.: Reg. Stud.*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.04.003>

- MOSER, C.; SHRADER, E. (1999). A Conceptual Framework for Violence Reduction. Latin America and Caribbean Region (LCR) Sustainable Development Working Paper n. 2 Urban Peace Program Series. The World Bank, Washington, D.C.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FO NSECA, G.A.B.; KENT, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, n. 6772, p. 853-858.
- NACCARATO, K.P., O. PINTO JR. & PINTO, I.R.C.A. (2003). Evidence of thermal and aerosol effects on the cloud-to-ground lightning density and polarity over large urban areas of Southeastern Brazil. *Geophysical Research Letters*, 30 (13), 10.1029/2003GL017496.
- NOBRE, C. A.; SALAZAR, L. F.; OYAMA, M.; CARDOSO, M.; SAMPAIO, G.; LAPOLA, D. (2007). Relatório No . 6: Mudanças Climáticas e possíveis alterações nos Biomas da América do Sul. p. 29.
- NÓBREGA, M. T. *et al.* (2011). Uncertainty in climate change impacts on water resources in the Rio Grande Basin, Brazil. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 15, p. 585–595.
- OBERMAIER, M.; ROSA, L. (2013). Mudança climática e adaptação no Brasil: uma análise crítica. *Estudos Avançados*, v. 27, n. 78, p. 153–176.
- OKE, T.R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1-24, 10.1002/qj.49710845502
- PARK, J., K. CONCA, AND M. EDS FINGER. (2008). *The Crisis of Global Environmental Governance*. Routledge; Sterman, John D. 2008. "Policy Forum: Risk Communication on Climate Change: Mental Models and Mass Balance." *Science* 322 (24 October)
- PARSON, E. A. "Useful global-change scenarios: current issues and challenges". *Environmental Research Letters*, vol. 3, 2008.
- PEDROSO, C. P. (2013). *Novas Ameaças a uma Adversidade Histórica: clima e agricultura familiar no sertão nordestino*. Dissertação de mestrado, UNB, Brasília, DF.
- PEREIRA, E. B., MARTINS, F. R., GONÇALVES, A. R., COSTA, R. S., LIMA, F. J. L., RUTHER, R., ABREU, S. L., TIEPOLO, G. M., PEREIRA, S. V. E SOUZA, J. G. (2017) *Atlas Brasileiro de Energia Solar*, 2. ed., 88.p., ISBN 978.85.17.00090-4, INPE, São José dos Campos.
- PESQUERO, J. F., CHOU, S. C, NOBRE, C. A, MARENGO, J. A. (2009). Climate downscaling over South America for 1961-1970 using the Eta Model. *Theoretical and Applied Climatology*. Vol 99, 1-2, p.75-93. DOI: 10.1007/s00704-009-0123-z
- PINTO JR., O. (2014). Thunderstorm climatology of Brazil: ENSO and Tropical Atlantic connections, *International Journal of Climatology*, 35 (6), 871-878, 10.1002/joc.4022.
- PINTO JR., O., Pinto, I.R.C.A., Ferro, M.A. (2013). A study of the long-term variability of thunderstorm days in southeast Brazil. *Journal of Geophysical Research*, 118 (11), 5231-5246, 10.1002/jgrd.50282.
- PRESCOTT-ALLEN, R. (2001). *The Barometer of Sustainability*, IUCN. Disponível em: <<http://www.iucn.org/themes/eval/english/barom.htm>>.
- PULVER, S.; VAN DEVEER, S. (2007). *Global Environmental Futures – Interrogating the Practice and Politics of Scenarios*. Brown University.
- RASKIN, P. *et al.* (2005). *Global Scenarios in Historical Perspectives*. In P. L. P. S. R. Carpenter E. M. Bennett, and M. B. Zurek, ed. *Ecosystems and human well-being: scenarios*. Volume 2: findings of the scenarios working group of the Millennium Ecosystem Assessment. Washington, D.C., USA.: Island Press, pp. 35–44.
- RAYMOND, C. M., I FAZEY, M. S. REED, L. C. STRINGER, G. M. ROBINSON AND A. C. EVELY (2010). "Integrating local and scientific knowledge for environmental management." *Journal of environmental management* 91(8): 1766-1777.
- RICHEY, A. S., *et al.* (2015). "Quantifying renewable groundwater stress with GRACE." *Water Resources Research* no. 51 (7):5217-5238. doi: 10.1002/2015WR017349.
- MEDEIROS, G. O. R.; GIAROLLA, A.; SAMPAIO, G.; MARINHO, M. A. Estimates of Annual Soil Loss Rates in the State of São Paulo, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.40, 2016a. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v40/1806-9657-rbcs-40-e0150497.pdf>>.
- MEDEIROS, G. O. R.; GIAROLLA, A.; SAMPAIO, G.; MARINHO, M. A. Diagnosis of the Accelerated Soil Erosion in São Paulo State (Brazil) by the Soil Lifetime Index Methodology. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.40, 2016b. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v40/1806-9657-rbcs-40-e0150498.pdf>>.
- ROMPS, D.M., SEELEY, J.T., VOLLARO, D., MOLINARI, J. (2014). Projected increase in lightning strikes in the United States due to global warming. *Science*, 346 (6211), 851-854, 10.1126/science.1259100
- SACHS, J., SCHMIDT-TRAUB, G., KROLL, C., DURAND-DELACRE, D. AND TEKSOZ, K. *SDG Index and Dashboards Report 2017*. New York: Bertelsmann Stiftung and Sustainable Development Solutions Network (SDSN). 2017. 70 p.
- SIQUEIRA JR. JL, TOMASELLA J, RODRIGUEZ DA. (2015). Impacts of future climatic and land cover changes on the hydrological regime of the Madeira River basin. *Clim. Change* 129 : 117 – 129, doi:10.1007/s10584-015-1338-x.
- SOARES-FILHO, B. *et al.* (2014). Cracking Brazil’s Forest Code. *Science*, 344 (6182), pp.363–364. Available at: <http://www.sciencemag.org/content/344/6182/363.short>.
- TRACY, S. J. (2013). "Qualitative research methods." UK: Wiley-Blackwell.

- TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO, O. 2000. Cenários da Gestão da Água no Brasil: uma contribuição à visão da água no Brasil. RBRH, v5, n3, doi: 10.21168/rbrh.v5n3.p31-43
- TURNER, B. L.; KASPERSON, R. E.; CHRISTENSEN, L. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. Proc Natl AcadSci, Washington, p.8074-8079.
- UNEP (2012). Scenarios and Sustainability Transformation. In: Global Environment Outlook 5. 528p., Progress Press, Valleta, Malta. ISBN: 978-92-807-3177-4
- UNFPA (2007). Situação da População Mundial 2007: Desencadeando o Potencial do Crescimento Urbano. Fundo de População das Nações Unidas. Nova York: UNFPA.
- VALENTE, C. R.; LATRUBESSE, E. M.; FERREIRA, L. G. (2013). Relationships among vegetation, geomorphology and hydrology in the Bananal Island tropical wetlands, Araguaia River basin, Central Brazil. Journal of South American Earth Sciences, v. 46, n. 1, p. 150-160.
- VAN BELLEN, H. M. (2004). Desenvolvimento sustentável: uma descrição das principais ferramentas de avaliação. Ambiente & Sociedade, Campinas, v. 7, n. 1, p. 67-88, jan./jun. 2004.
- VAN NOTTEN, P. W. F., ROTMANS, J., VAN ASSELT, M. B. A., & ROTHMAN, D. S. (2003). An updated scenario typology. Futures 35(5), 423-443. [http://doi.org/10.1016/S0016-3287\(02\)90-3](http://doi.org/10.1016/S0016-3287(02)90-3).
- VERGRAGT, P.J. & QUIST, J. (2011). Backcasting for sustainability: Introduction to the special issue. Technological Forecasting and Social Change, 78(5), pp.747-755. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004016251100062X>.
- VIEIRA, I. C. G.; SILVA, J. M. C. da; TOLEDO, P. M. de. (2005). Estratégias para evitar a perda de biodiversidade na Amazônia. Estudos Avançados, v. 19, n. 54, p. 153-164.
- VIEIRA, R. M. S. P. Susceptibilidade à degradação/desertificação no semiárido brasileiro: tendências atuais e cenários decorrentes das mudanças climáticas e do uso da terra. 2015. 109 p. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2015. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3J54785>>.
- WILKINSON, A. & EIDINOW, E. (2008). Evolving practices in environmental scenarios: a new scenario typology. Environmental Research Letters, 3(4).