



Uma Floresta em (Possível) Colapso: Torções entre infraestrutura e ambiente a partir da Hipótese da Savanização da Amazônia

Felipe Mammoli¹

Resumo

A noção de que as mudanças climáticas podem afetar profundamente a floresta amazônica a ponto de transformar sua vegetação tropical em uma savana ou em uma vegetação degradada não análoga às atuais já tem mais de 20 anos. Popularizada como "Hipótese da Savanização da Amazônia", ela propõe que o futuro da floresta não depende apenas da manutenção de sua ecologia local, mas também dos longos feedbacks entre a atmosfera e a biosfera e que as consequências de seu eventual colapso serão devastadoras tanto em uma escala regional quanto global. Nesse texto, apresento como um grande projeto de pesquisa sobre as Mudanças Climáticas na Amazônia, o AmazonFACE, contribui em produzir essa floresta multiescalar por meio da reconfiguração de suas relações ecológicas em relações infraestruturais. Com base nos estudos de infraestrutura e em minha pesquisa etnográfica realizada no AmazonFACE, mostro como as incertezas associadas ao futuro da Amazônia produzem uma floresta instrumentada, computacionalmente modelável e que entrelaça o futuro do clima do planeta com o futuro de sua ecologia local. Por fim, discuto como programas como o AmazonFACE em sua proposta de criar um "laboratório a céu aberto" na Amazônia podem contribuir para pensar as ecologias emergentes do Antropoceno, que desafiam as distinções binárias, como distinções entre figura e fundo.

Palavras-chave: estudos de infraestrutura, antropoceno, Amazônia, savanização

Introdução

A construção de infraestruturas na Amazônia brasileira tem uma longa história e uma particularmente marcada pela alteração na paisagem e pela violência incessante dirigida aos povos que vivem na região e que são alvos dessas grandes obras de desenvolvimento. Seja pelo acúmulo de concreto acima do solo, de projetos como belo monte (Fleury e Almeida 2013), seja pela remoção do solo, como a mineração legal ou ilegal, parte significativa das visões sobre a Amazônia tem relação com as sucessivas tentativas de controle da região, e as sucessivas falhas. Entre a Amazônia como fronteira (Faulhaber e Toledo 2001), *front* de modernização (Latour 2018) e centro do mundo (Brum 2019), as ciências das mudanças climáticas ainda parecem tentar capturá-la em outra dimensão, ela mesma como infraestrutura.

¹ Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Política Científica e Tecnológica da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

Nesse texto, apresento como as noções de ambiente e de infraestrutura se misturam e se confundem em um grande projeto de pesquisa sobre a Amazônia, chamado AmazonFACE, um tipo de empreendimento político-científico que parece tentar responder aos desafios que o Antropoceno coloca. Com base em pesquisa etnográfica realizada no AmazonFACE, em particular no laboratório de modelagem computacional do programa entre 2017-2021, apresento alguns dos mecanismos que o AmazonFACE mobiliza que operam essa transformação bilateral entre infraestrutura e ambiente, como a modelagem computacional preditiva, as incertezas sobre o futuro da Amazônia frente às mudanças climáticas e

Me apoio nos estudos de infraestrutura (Bowker 1995; Star e Ruhleder, 1996; Ballester, 2019) para mostrar que essa transformação é ao mesmo tempo conceitual e material, que sua operação exige um engajamento contínuo com a região e demanda o delicado trabalho de atrelar o futuro da ecologia da floresta amazônica com o futuro do clima global. Esses entrelaçamentos parecem descrever a proposta de Hetherington (2019), de que o Antropoceno parece inverter a própria distinção entre ambiente e infraestrutura.

Na primeira seção, apresento o lançamento da segunda fase do programa AmazonFACE em um painel da Conferência do Clima da ONU (COP 26) e discuto como a fala inicial do coordenador do programa mistura noções de ambiente e infraestrutura em sua descrição do papel da floresta amazônica no clima global. Em seguida, apresento o modelo computacional Daisyworld, criado na década de 80 por Lovelock e Watson como resposta às críticas a Hipótese de Gaia da época, e discuto como ele utiliza a modelagem computacional para tornar visível um fenômeno que ocorre em escala planetária e em temporalidade geológica. Depois apresento a Hipótese da Savanização da Amazônia² formulada na década de 90 e mostro como o AmazonFACE renova essa perspectiva ao trazer as propostas experimentais que existiam até então apenas dentro dos modelos para dentro da floresta. Como conclusão, apresento uma breve consideração sobre algumas implicações para a ciência no Antropoceno.

O Lançamento do Programa AmazonFACE na COP 26

Em outubro de 2021, em um painel da 26ª Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP 26) realizado em Glasgow, estava sendo lançado um dos próximos grandes programas brasileiros de pesquisa científica sobre a Amazônia para a próxima década,

²Nos últimos anos, o uso do termo savanização como sinônimo de um estado degradado da floresta amazônica tem sido bastante disputado por grupos de conservação do cerrado, ver por exemplo (ISPN 2020).

o programa chamado AmazonFACE. Apesar dele já estar em operação há pelo menos 10 anos, esse painel marca um ponto de virada no programa, pois é a consolidação de uma parceria com o Serviço Nacional de Meteorologia do Reino Unido (Met Office UK) que vai permitir o desenvolvimento da chamada Fase 2 do AmazonFACE: a construção do enorme aparato experimental que dá nome ao próprio programa, o experimento Free-Air CO₂ Enrichment (FACE).



Figura 1 Ilustração de uma futura instalação experimental FACE na Amazônia.

Fonte: Grossman e Lapola (2018: 46)

Descrito pela mídia nacional e internacional como uma "máquina do tempo" na floresta ou um "laboratório a céu aberto" o aparato instrumental consiste em construir 6 estruturas circulares de 30m de diâmetro e 30m de altura (chamados *plots*), em uma área de floresta à 60km de Manaus, próximo a estação de pesquisa conhecida como ZF-2 (Figura 1). Essas estruturas serão responsáveis por soprar CO₂ continuamente nessas porções de floresta de modo a manter o interior desses *plots* com uma concentração de CO₂ 50% maior do que a concentração atual de CO₂ na atmosfera, simulando uma atmosfera do futuro. Será a primeira vez que um experimento desse tipo será realizado em uma floresta tropical e a expectativa é que o experimento opere continuamente por pelo menos 10 anos. De acordo com os proponentes do programa, é um projeto fundamental para reduzir as incertezas tanto sobre o futuro da floresta amazônica quanto sobre o futuro do clima global. Apesar do programa AmazonFACE

levar o nome de um experimento específico em seu nome, seu objetivo é muito mais amplo do que apenas a realização desse experimento particular, ele tem como objetivo também expandir a pesquisa científica sobre as mudanças climáticas na Amazônia, como é descrito em seu plano científico e estratégia de implantação:

O Amazon FACE é ciência de excelência em escala global e através da cooperação internacional. [...] Segue na bem sucedida tradição do Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, considerado ainda a mais importante atividade científica realizada sobre os Trópicos Úmidos até hoje. O Amazon-FACE não se limita a ser um simples experimento científico. É uma plataforma de pesquisas sobre os impactos das mudanças climáticas na Amazônia, favorecendo o planejamento da economia e o desenvolvimento regional sustentável (Lapola e Norby 2014: 6).

No painel da COP 26, após a introdução por parte dos organizadores e de uma fala do ex-embaixador do Reino Unido no Brasil exaltando a longa história de cooperação científica entre Brasil e UK, a palavra foi passada para os dois cientistas coordenadores do AmazonFACE, para que o projeto pudesse ser apresentado. E após alguns agradecimentos iniciais, um dos cientistas brasileiros começou sua fala com a seguinte frase:

A Amazônia provê um serviço ecossistêmico chave para a humanidade, ao absorver parte significativa do CO₂ presente na atmosfera e aprisioná-lo em sua biomassa. Porém, não sabemos até quando isso vai durar (Coordenador do AmazonFACE 2021, tradução própria).

Nessa pequena frase de abertura estão consolidadas décadas de pesquisa sobre a Amazônia, tanto sobre sua ecologia local, quanto sobre suas relações com o clima global. Mas ela contém, também, uma compreensão bastante particular sobre a floresta: de que ela não existe apenas como parte do planeta, mas que a floresta cumpre uma função. De que a Amazônia tem um papel de suporte que, através de suas conexões com os fluxos globais de matéria e energia, garante a continuidade da habitabilidade do planeta, mas que devido a própria ação humana, tem sua continuidade material ameaçada, o que coloca a própria habitabilidade do planeta em questão. Uma noção de floresta não apenas como legado de um passado profundo ou promessa de um desenvolvimento futuro, mas uma entidade (por falta de um termo melhor) que atravessa escalas temporais e espaciais, e atua como a base material para a Vida no planeta.

Essa intensificação simultânea da compreensão sobre as conexões entre os sistemas vivos e não vivos, e das incertezas sobre o futuro, que estão presentes na fala do coordenador do AmazonFACE, é capturada de forma bastante acurada pelo termo Antropoceno. Um termo cunhado por Crutzen e Stoermer (2000) para descrever a época atual do planeta, onde os efeitos da ação humana é equiparável à forças geológicas, o que significa que a extensão e duração dos impactos ambientais das mais diversas atividades humanas é equivalente aos acontecimentos geológicos e que vão durar, provavelmente, para além da temporalidade humana. Um período marcado pela perturbação das dualidades modernas entre natureza e cultura (Chakrabarty 2009; Latour 2017). Ou como observa Chakrabarty (2019: 5) um período onde o globo da globalização (história humana) se cruza com o globo das mudanças climáticas globais (história do planeta). Apesar das inúmeras críticas ao termo Antropoceno, como Haraway (2016): o termo parece capturar uma dimensão central da fala do co-coordenador do AmazonFACE: que a escala da ação humana não é facilmente separável da escala global do clima e que o futuro do clima global e, portanto do planeta, está contido no futuro da ecologia local da Amazônia.

Hetherington (2019) observa que as noções de ambiente e infraestrutura compartilham muito em suas delimitações conceituais. Ambos os termos podem ser pensados como um mecanismo para definir a extensão espacial da ação humana, aquilo que a circula, precede e condiciona silenciosamente. A distinção entre os dois termos se dá a partir da perspectiva humana sobre a precedência ontológica de ambos: o ambiente precede a infraestrutura, da mesma forma que uma paisagem precede o projeto de um ponto, que precede a construção da ponte. Nessa formulação bastante simples, como observa o autor: "o ambiente é a infraestrutura da infraestrutura" (Hetherington 2019: 6, tradução própria). No antropoceno, porém, esse mecanismo de distinção não é mais suficiente, pois são as infraestruturas globais de transporte e consumo que produzem o ambiente onde essas próprias infraestruturas são construídas.

A própria noção de infraestrutura depende, como lembra Hetherington (2019), de uma operação de distinção entre o que é figura e o que é fundo (*figure-ground inversion*). A própria noção de infraestrutura é, portanto, uma operação analítica que acontece nesse momento de distinção, onde um elemento que aparece como o suporte de outro, é chamado de infraestrutura (Miguel 2020). Uma operação que Bowker (1995) chama essa abordagem de "inversão infraestrutural", uma forma de trazer para o primeiro plano os elementos que são apagados das histórias dos grandes sistemas tecnológicas, como os padrões, normas, técnicas burocráticas e ferramentas administrativas, em favor das histórias heróicas de seus inventores, mesmo sendo

esses os elementos que configuram a condição material para o funcionamento desses sistemas. Essa operação revela o caráter relacional das infraestruturas, como observa Star e Ruhleder (1996), pois uma infraestrutura só sai do primeiro plano (se torna invisível) para aqueles que não são os responsáveis por construí-las, repará-las ou afetados por elas. Por exemplo: para um cozinheiro que abre uma torneira na cozinha, o sistema de distribuição de água é invisível; ele não precisa se preocupar com os detalhes do seu funcionamento, enquanto que para um encanador, esse sistema é o objeto de atenção. A extensão do sistema de distribuição de água só se torna visível para o cozinheiro caso este pare de funcionar. Nesse sentido, a operação de "inversão infraestrutural" é análoga ao efeito da falha, um momento onde o fundo é trazido ao primeiro plano. Para Hetherington (2019) o Antropoceno ocasiona uma inversão da inversão infraestrutural, onde figura e fundo não são mais facilmente distinguíveis, dobram-se um sobre o outro em um movimento de retroalimentação (Miguel 2020).

The Anthropocene as infrastructural moment is one in which infrastructural inversion is itself inverted, and in which the political stakes of material structures and historical analyses fold into each other (Hetherington 2019: 8).

Esse avanço de uma noção sobre a outra não é apenas conceitual, mas produto também de um processo que Andrea Ballesterio (2019) chama de infraestruturização: o processo de como fenômenos ambientais são objetificados em recursos naturais. Ao descrever o caso de um aquífero que tem sua capacidade de fornecimento de água estudada para avaliar a possibilidade de construção de um condomínio na região de Sardinal na Costa Rica, a autora observa a importância dos mecanismos de distinção entre figura e fundo entre os próprios engenheiros que estão produzindo um relatório técnico sobre o aquífero. Um relatório que tem como efeito separar o aquífero das relações ecológicas e geológicas em que ele está imerso e as rearranjar de acordo com as necessidades de disponibilidade de água para o projeto residencial, transformando o aquífero em um em um reservatório de água. É o cálculo do fluxo do aquífero como reservatório, e as consequentes disputas entre as populações locais e os proponentes do projeto, sobre o que significa essa taxa, que vai inscrever no aquífero a possibilidade de ser integrado à infraestrutura de saneamento da região e cumprir a função de provedor de água potável.

Como observa Ballesterio (2019), apesar dos mais avançados equipamentos de medição, os fenômenos ambientais costumam resistir em serem capturados apenas em sua dimensão funcional, seja pela inerente subterraneidade do aquífero que dificulta que lhe sejam

estabelecidas fronteiras territoriais claras ou pelas movimentações políticas das populações locais que utilizam esse corpo d'água e se veem agora com sua autonomia hídrica em risco. Quando tomadas como infraestruturas, observa a autora, as entidades ambientais são concebidas a partir de sua função, os aquíferos, por exemplo, tomam a forma de receptáculos que armazenam água e são descritos apenas como tanques à espera do uso humano. Como observa a autora: "At once fundamental to life and hidden from it, we often make aquifers thinkable as infrastructures; as reservoirs of water for human use" (Ballesteros 2019: 21). Mas a dimensão funcional não é a única que está em jogo no processo de infraestruturação, como observa a autora recorrendo aos estudos de infraestrutura:

But on top of these functional capabilities, infrastructures are also powerful material forms where social consciousness about desired futures and the order of political life are lived, opened up, or closed off (Ballesteros 2019: 21).

Assim, atentar para esse processo de infraestruturação é uma forma acessar alguns dos pressupostos ontológicos que permitem que tais entidades sejam transformadas apenas em suas dimensões funcionais. Assim como Ballesteros (2019) descreve as dificuldades dos engenheiros em distinguir o aquífero do que não é aquífero e o conceitualizar como um reservatório de água, a operação de conceitualização da Amazônia como um reservatório (de CO₂ no caso da fala do coordenador do AmazonFACE) depende da mobilização de uma série de elementos conceituais e imaginários sobre o passado, o presente e o futuro da floresta amazônica.

Invertendo figura e fundo por meio da modelagem computacional: o Modelo Daisyworld

Star e Ruhleder (1996) observam que uma infraestrutura não é simplesmente um objeto, mas é fundamentalmente um conceito relacional, uma propriedade relacional que só faz sentido levando em consideração o seu uso. O que significa dizer que as propriedades que caracterizam uma infraestrutura, como transparência, embeddedness, etc (Miguel, 2020) não estão universalmente distribuídas para todas as entidades que se relacionam com ela, humanas ou não. De acordo com as autoras, a questão não é se algo é ou não uma infraestrutura, mas quando algo é uma infraestrutura. Como descrito no já clássico exemplo:

Within a given cultural context, the cook considers the water system a piece of working infrastructure integral to making dinner; for the city planner, it becomes a variable in a complex equation (Star Ruhleder 1996: 113).

Como lembra Star e Ruhleder (1996) e Larkin (2013) é importante ter em vista que essa inversão infraestrutural é sempre uma operação analítica e não uma propriedade natural de um objeto, "infrastructures are not, in any positivist sense, simply "out there." The act of defining an infrastructure is a categorizing moment" (Larkin 2013: 330).

Recordando essa dimensão analítica e relacional dos estudos de infraestruturas, Ballesterro (2019) lembra que a "inversão infraestrutural" é uma operação de distinção e inversão entre figura e fundo. Tal operação está, talvez, mais relacionada com a capacidade de quem faz análise de efetivar essa transformação do que com o que se pretende inverter. Uma capacidade que nem sempre é simples de se executar, como deixa claro a própria proposta do Antropoceno (Ballesterro 2019). Essa dificuldade é expressa no caso que a autora descreve sobre o aquífero, um fenômeno ambiental que tem como definição a própria indistinção entre figura (a água) e fundo (o solo, a rocha). Sua conceitualização como reservatório de água - sua captura como recurso - depende do emprego de uma série de técnicas, pois como lembra a autora, como ele não é visível ou sensível aos olhos humanos, para conceitualizá-lo é preciso um outro tipo de visão. Uma visão oferecida por dados hidrológicos, geológicos e arranjados em modelagens computacionais. O que se torna visível através desses dispositivos, em conjunto com os mecanismos jurídicos e imobiliários do caso, é uma série de valores sobre o fluxo de água do aquífero, quando ele capta por ano, quanto ele armazena e, conseqüentemente, quanto é possível retirar dele, ou seja, conceitualiza o aquífero como uma infraestrutura de abastecimento de água potável (Ballesterro 2019).

No caso da fala do co-coordenador do AmazonFACE, a inversão infraestrutural executada, de tirar a floresta dos bastidores e colocá-la em primeiro plano como suporte da vida humana, mobiliza dois dispositivos: 1) a noção do planeta como um sistema acoplados entre os elementos vivos e não vivos; 2) o uso de modelos computacionais para tornar visível esses fenômenos ambientais que não podem ser experimentados pelo sistema sensorial humano. Dois dispositivos que são hoje a base para parte significativa das ciências sobre as mudanças climáticas.

Talvez o episódio que descreve de forma mais clara a relação entre esses dois dispositivos seja o modelo computacional apresentado por James Lovelock e Watson em 1983 como uma resposta aos críticos da Hipótese de Gaia. Lovelock e a bióloga evolucionista Lynn Margulis são principais proponentes da Hipótese de Gaia: uma hipótese desenvolvida na década de 60 e 70 que propõe que os seres vivos de um planeta poderiam regular coletivamente o

ambiente global, incluindo a composição química da atmosfera, dos oceanos e o clima global (Lenton e Dutreuil 2020).

A Hipótese de Gaia e seus proponentes foram extensivamente criticados por cientistas dos mais variados campos desde a primeira publicação Lovelock e Margulis (1974), como por Dawkins, Doolittle e Kirchner, e parte significativa da crítica era direcionada à proposta da autorregulação: de que a Vida no planeta é responsável por manter as condições planetárias, como temperatura e concentração de oxigênio na atmosfera, em limites favoráveis à continuidade da vida no planeta, um mecanismo que a Hipótese de Gaia chama de Homeostase (Lovelock e Margulis 1974). Parte da crítica argumentava que tal mecanismo só seria possível se houvesse uma intencionalidade planetária operando, pois a condição de vida ideal para cada organismo é muito diferente. Portanto, quase que como uma piada, seria necessária uma espécie de convenção anual de todos os organismos vivos para decidir qual a temperatura ideal do planeta (Dutreuil 2014). Algo que não parece ser possível. Para Lovelock, porém, esse processo de autoregulação não precisaria de intencionalidade para existir.

O objetivo do modelo Daisyworld era demonstrar a possibilidade de que a homeostase poderia emergir de um sistema sem a necessidade de intencionalidade. Para tal, Lovelock e Watson (1983) descrevem um planeta imaginário que é habitado por apenas dois tipos de margarida, brancas e pretas, e iluminado por uma estrela parecida com o nosso Sol. Nesse planeta, a temperatura de sua atmosfera é determinada apenas pela radiação recebida da estrela que o ilumina e o quanto sua superfície consegue refletir dessa radiação. O seu sol, assim como o Sol da Terra, está em constante aumento de temperatura ao longo das eras. Daisyworld é habitado por apenas dois tipos de margaridas, uma branca que reflete mais a radiação do sol e uma preta, que absorve mais a radiação solar. Assim, a temperatura do planeta é determinada pela proporção que cada tipo de margarida ocupa na superfície devido a quantidade de radiação que é refletida, o albedo. Ou seja, em Daisyworld, a atmosfera e a biosfera são componentes acoplados.

Os autores exploram o modelo em dois cenários distintos: primeiro, o planeta sem vida; e segundo o planeta com vida. No primeiro cenário, a temperatura do planeta aumenta conforme a temperatura do sol aumenta e a temperatura habitável dura apenas o tempo em que o sol se mantém nesse mesmo espectro de temperatura. No segundo cenário, a temperatura do planeta aumenta inicialmente, conforme a temperatura do sol aumenta, mas logo se estabiliza em um espectro que permite às margaridas existirem por um longo período, mesmo que a temperatura

do sol continue crescendo. O que ocorre é que: conforme a temperatura no planeta aumenta devido ao aumento da temperatura solar, as margaridas pretas ficam mais quentes primeiro e morrem, dando oportunidade para o aumento da população das margaridas brancas, que diminuem a temperatura do ambiente por refletir mais a radiação solar, isso resfria o planeta até um ponto que as margaridas brancas começam a morrer de frio, dando espaço para o crescimento da margaridas pretas que começam a esquentar o planeta novamente, iniciando um novo ciclo. Diferente do planeta vazio, no cenário com vida, a temperatura do planeta aumenta até o limite da habitabilidade das margaridas e depois passa um longo período de tempo sendo modulada ao redor da temperatura de sobrevivência das margaridas, criando assim um período estendido de habitabilidade no planeta, para além do período em que o sol está dentro desse espectro de temperatura.

Através desse modelo computacional, Watson e Lovelock (1983) concluem que "regardless of the details of the interaction, the effect of daisies is to stabilise the temperature [of the planet]"(idem: 284). O que o modelo mostra é uma relação circular entre como o ambiente define as possibilidades de vida no planeta e como a vida no planeta altera o ambiente. Essas duas escalas, da propriedade de um ser vivo (a cor da margarida) e um propriedade do planeta (sua temperatura) estão conectadas pelos ciclos de feedback que alteram a todo momento a distribuição populacional desses seres. A margarida preta produz um feedback positivo em relação ao aumento de temperatura do sol e a margarida branca um feedback negativo.

Em uma formulação mais branda, o Daisyworld mostra que em um planeta concebido como um sistema acoplado entre atmosfera e biosfera, os organismos não apenas se adaptam ao seu ambiente, mas também o modificam profundamente. De forma simplificada, lembrando a fórmula circular de Hetherington (2019), a Vida é a infraestrutura da própria Vida.

O Daisyworld tenta demonstrar, talvez, a conclusão mais importante da Hipótese de Gaia (e a mais polêmica), que a separação entre vivo e não vivo é apenas uma distinção analítica, resultado das escolhas das escalas temporais e espaciais de análise. Como observa Lenton e Dutreuil (2020) sobre a conclusão da Hipótese de Gaia:

[...] if living beings produce their environment, then their material boundaries no longer stop at their membranes and epidermis; rather, they expand as far as their influence on the “geological” environment can reach. Thus, what was beforehand thought of as “abiotic,” such as the atmosphere, can now be seen as an extension of Life “like the fur of a mink or the shell of a snail (idem: 5).

Essa visão radical sobre a vida no planeta não foi totalmente incorporada na agenda de pesquisa das Ciências do Sistema Terrestre. Porém, mesmo que em menor intensidade, a perspectiva de que a biosfera afeta o clima em escala global, e não apenas é afetado por ele, é cada vez mais presente nas pesquisas sobre as mudanças climáticas. Isso fica claro com o crescente acoplamento, a partir dos anos 2000, de modelos de mudança do uso do solo e modelos de vegetação nos grandes modelos climáticos globais utilizados nos relatórios do IPCC, que antes só consideravam o clima como resultado da dinâmica entre a atmosfera e os oceanos (Prentice e Cowlin 2013).

Como lembra Dutreuil (2014), talvez tão importante quanto a conclusão do Daisyworld, de descrever um mecanismo possível para a homeostase proposta pela hipótese de Gaia, seja o mecanismo argumentativo para tal, a construção de um modelo computacional, uma prática científica hoje central para as discussões das mudanças climáticas (Miguel 2019):

It is worth noting that the very first answer to critiques [of homeostasis] did not take the form of verbal arguments addressing the status of natural selection, or of the import of elements from general philosophy of science (those came later in the debate), but was the publication, by Watson and Lovelock (1983), of a simple computational model: Daisyworld (Dutreuil 2014: 3-4).

Como lembra Ballestero (2019), modelos são fundamentais no estudo de entidade que não são evidentes para o aparato sensorial humano, pois eles não apenas tornam algo possível de ser estudado, mas também "*models* brings into existence that which cannot be observed as a whole" (idem, p. 32). O que um modelo faz não é apenas reduzir ou representar um fenômeno, mas como lembra Ballestero (2019) recordando o trabalho de Natasha Myers (2015), o que um modelo faz é tornar (to *render*) determinados mundos "*visible, tangible and workable*" (Myers 2015: 18).

Watson e Lovelock (1983), associados à Hipótese de Gaia, realizam uma inversão entre figura e fundo bastante peculiar, que tenta desestabilizar a própria hierarquização que o movimento analítico promove, colocando figura e fundo em uma relação dinâmica e bi-direcional (Miguel, 2020), ou nos termos de Hetherington (2019) o que ocorre é uma inversão da inversão infraestrutural. É claro que nem o Daisyworld nem a Hipótese de Gaia inauguram as noções de feedbacks ou sistemas complexos, mas talvez seja possível dizer que a conjunção entre a perspectiva de sistemas e a prática de modelagem contribuíram em sedimentar a própria

noção atual de Ciência do Sistema Terrestre e da modelagem climática, que compreende o planeta terra como um sistema de componentes acoplados (Lenton 2016).

A Hipótese da Savanização da Amazônia e sua Renovação

Assim como no Daisyworld, são os modelos computacionais preditivos que tornam visíveis parte significativa dos elementos que alimentam os debates sobre o futuro da floresta amazônica. Essa incerteza é claramente articulada na frase de um dos coordenadores do AmazonFACE em sua fala inicial na COP 26, onde depois de atestar a importância da Amazônia para o clima global, ele complementa: "porém, não sabemos até quando isso vai durar". Essa incerteza, é claro, está na própria justificativa do programa AmazonFACE. No AmazonFACE essa incerteza é incorporada em um processo ecológico bastante particular, sobre como o aumento do CO₂ atmosférico vai afetar a composição geral da floresta. A questão é se no fim do século XXI a Amazônia vai continuar a ser uma floresta tropical, se ela vai se tornar mais descontínua, se ela vai se tornar uma savana, ou algum outro tipo de vegetação não análoga à atual.

Apesar da discussão sobre a continuidade da floresta não ser nova, como a discussão sobre carrying-capacity, a discussão atual que o AmazonFACE se localiza, tem origem em uma ideia bastante particular sobre o colapso da floresta amazônica, a chamada "Hipótese da Savanização da Amazônia" (Nobre *et al.*, 1991), apesar do artigo não utilizar esse termo. No artigo, os autores apresentam um modelo climático acoplado entre biosfera e atmosfera, como em Daisyworld, porém, este modelo não pretende ser uma parábola sobre um planeta imaginário, mas sobre como observar os autores em um modelo realístico. Interessados nos efeitos climáticos regionais do desmatamento da Amazônia, os autores apresentam o modelo em dois cenários: 1) no primeiro, o modelo é alimentado com parâmetros climáticos da época, a degradação atual da floresta e a taxa de desmatamento calculada através da análise de uma série histórica; 2) no segundo cenário, toda a vegetação tropical da região é substituída pelo tipo de vegetação que aparece depois do desmatamento, o pasto degradado, composto por uma combinação de gramas e arbustos. O primeiro cenário, que contém a vegetação atual, apresenta como resultado um clima semelhante ao atual em termos de temperatura e precipitação. O cenário 2, que imagina uma Amazônia sem a floresta tropical, apresenta como resultado um clima bastante diferente do atual para a região, com temperatura do solo 3 graus mais quente e precipitação reduzida, ou seja, com características próximas às do cerrado brasileiro. O que o

modelo mostra é a extensão da responsabilidade da vegetação na composição do clima regional amazônico. Comparando os dois resultados os autores comentam:

The predicted decrease of precipitation, evapotranspiration, relative humidity, and increase of surface temperature, accompanied by a lengthening of the dry season, might imply that a different type of vegetation would be in equilibrium with the climate simulated for the deforestation case, most likely a savannalike vegetation such as the "cerrado" of central Brazil (Nobre et al 1991: 981).

Como concluem os autores, o clima resultante do desmatamento massivo da Amazônia não é análogo ao clima com a floresta preservada. Esse novo clima tornaria inviável a sobrevivência das espécies de plantas que habitam hoje a Amazônia, mas são condições bastante próximas das regiões onde habitam as plantas do cerrado. Tão importante quanto a extensão do desmatamento é a sua distribuição espacial, ou "geometria" (Nobre *et al*, 1991, p. 981), pois a capacidade de manutenção da floresta também está ligada, além das condições climáticas, às complexas relações ecológicas que a compõem.

É importante lembrar do momento particular da discussão ambiental nesse momento, onde a política ambiental nacional começava a encarar os resultados das políticas de ocupação e desmatamento que marcaram as décadas da ditadura (mas que também marcariam os anos 90), como mostra (Monteiro *et al* 2014; Hecht e Rajão 2020), é nesse contexto que a publicação de Nobre *et al* (1991) aparece, consolidando e rearticulando parte importante das pesquisas realizadas até então. O avançar das discussões sobre as mudanças climáticas a partir dos anos 90 e anos 2000 (Monteiro *et al* 2014) coloca novos ares nas discussões sobre o futuro da floresta amazônica. A questão agora não era apenas as ameaças que vinham através do modelo predatório de desenvolvimento baseado no desmatamento, que equaciona ocupação com destruição, mas também aquelas ameaças que vinham dos fluxos globais de matéria e energia, comumente figurados como fluxos de CO₂ pelas ciências das mudanças climáticas, como mostram o particularmente influentes publicações de White (1999). Ou como ouvi diversas vezes do coordenador do AmazonFACE ao longo de minha etnografia: "do ponto de vista da atmosfera, não existe floresta intocada".

No contexto do AmazonFACE, o artigo de Lapola, Oyama e Nobre (2009), de autoria do mesmos cientistas de quem destaquei a fala na COP 26, é particularmente importante. Mais uma vez utilizando um modelo computacional preditivo, o artigo apresenta uma outra possibilidade de colapso da floresta, que vem a somar com o desmatamento. No artigo, os autores apresentam um modelo que produz previsões sobre a distribuição de vegetação da

Amazônia para o final do século XXI (2070-2099) a depender das condições climáticas inseridas. O que diferencia o modelo em questão, é que ele considera os processos fisiológicos vegetais relativos às interações com CO₂ e com a água, o que permite explorar diferentes formas que a vegetação pode responder ao clima do futuro.

No artigo, o modelo é alimentado por dados climáticos de temperatura e precipitação derivados de 14 modelos climáticos globais acoplados oceano-atmosfera utilizados no IPCC AR4, em conjunto as projeções de concentração de CO₂ atmosféricos previstos para o final do século XXI, também presente no IPCC AR4. Mais do que um futuro catastrófico para a floresta, o que o artigo conclui é que existe uma incerteza fundamental sobre seus possíveis futuros, uma incerteza relacionada à intensidade e duração do fenômeno chamado Fertilização por CO₂. Como conclui o artigo:

Our simulations show that if, in the future, CO₂ fertilization effect does not play any role in tropical ecosystems then there must be substantial biome shifts in the region, including substitution of the Amazonian forest by savanna. Otherwise, [if CO₂ fertilization plays a role,] impacts could be less catastrophic, while most of Amazonia would remain the same. [...] In view of the uncertainties associated with long-term response of tropical ecosystems to increased CO₂ [...], this study points out the urgent need of long-term experimental studies on the effects of rising CO₂ [...] on these ecosystems (Lapola, Oyama e Nobre 2009: 14).

A fertilização por CO₂ é um fenômeno bastante particular no mundo vegetal. A ideia geral é que o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera pode aumentar a capacidade das plantas de capturar carbono, uma vez que o CO₂ é um dos elementos principais da fotossíntese, juntamente com a água e a radiação solar. Associado ao aumento da produtividade da planta, o aumento da concentração de CO₂ também está relacionado ao uso mais eficiente de água pelas plantas, isso pois os estômatos (estruturas no verso das folhas responsáveis por fazer trocas gasosa, como capturar CO₂ do ar) diminuem sua abertura na presença de CO₂, diminuindo a perda de moléculas de água por evapotranspiração. Esse carbono adicional captura seria estocado nos tecidos vegetais (tronco, raiz ou folhas) por longos períodos de tempo, diminuindo a velocidade das mudanças climáticas e funcionando assim quase que como um mecanismo automático de mitigação das mudanças climáticas globais. A floresta funcionaria como um sumidouro de carbono ainda mais eficiente, aumentando sua capacidade de estocar carbono (Lapola e Norby 2014).

Caso o fenômeno não ocorra, ou ocorra em baixa intensidade, as previsões são para o fenômeno chamado Forest Dieback. A proposta de que quebrada a condição climática e ecológica para a continuidade da existência da floresta, seja pelo aumento da temperatura global ou pelo aumento do desmatamento, causaria morte gradual de sua vegetação, fazendo com que a enorme quantidade de carbono armazenado em seus tecidos e no solo sejam gradualmente liberados na atmosfera, aumentando ainda mais as emissões de CO₂ e agravando as mudanças climáticas. Ou seja, a floresta passaria de sumidouro para uma fonte de carbono (Lapola e Norby 2014).

O efeito de fertilização por CO₂ já foi estudado em laboratório e observado em experimentos FACE em biomas temperados, porém nunca foi estudado de forma profunda em florestas tropicais (Lapola e Norby 2014). A incerteza que Lapola *et al* (2009) apontam é justamente sobre a existência e duração desse fenômeno e suas peculiaridades para a região amazônica. Em uma publicação mais recente, Lapola (2019), o coordenador do AmazonFACE comenta não mais apenas sobre a necessidade, mas a urgência de se realizar um experimento do tipo FACE na Amazônia, pois apenas os dados oriundos de modelos e simulações não são mais suficientes para esclarecer essa incerteza central sobre o futuro da floresta e consequentemente o futuro do clima do planeta.

A incerteza sobre o fenômeno da fertilização por CO₂ na Amazônia é o elemento que anima os esforços da equipe do AmazonFACE na implantação do programa, na construção das enormes torres de dispersão de CO₂, no desafio logístico da construção dessa complexo aparato experimental na floresta, no transporte de tanques de CO₂ e no desafio institucional de manter um grande projeto científico em funcionando na Amazônia e continuar a história da integração científica da Amazônia no que Edwards (2010) chamou de infraestrutura global de produção de conhecimento sobre as mudanças climáticas.

A inversão que o AmazonFACE realiza é conseguir localizar a incerteza sobre o futuro do clima do planeta na particularidade do funcionamento da ecologia da Amazônia. Os fluxos de matéria e energia, em sua figuração de CO₂, viajam desde suas múltiplas origens até a Amazônia e se conectam, na escala molecular, às pequenas estruturas no verso das folhas, chamadas estômatos, que são responsáveis por capturar o CO₂ da atmosfera para realizar a fotossíntese. O futuro da maior floresta tropical do planeta, responsável por absorver ao menos 11% da produção total de CO₂ planetário, se conecta ao futuro do clima global através da capacidade de absorção de uma estrutura foliar que mede, na Amazônia, entre 11 e 80 um. E

dessa associação do futuro da floresta com o futuro do clima do planeta aparecem os dois fenômenos, o Dieback e a fertilização por CO₂, quase como opostos.

A possibilidade dessa inversão, é claro, depende da longa história de mobilização socioambiental pela Amazônia que faz dela "o centro do mundo", na frase de Eliane Brum (2019) repetida em diversos eventos científicos sobre a Amazônia. Mas como bem lembra Monteiro (2015) e Hecht e Rajão (2020), as políticas de gestão territorial da Amazônia sempre estiveram intimamente ligadas com as visões científicas do lugar, mesmo que de forma antagônica.

A definição de Larkin (2013) sobre as infraestruturas "*infrastructures are matter that enable the movement of other matter*" (idem, p. 329) parece descrever bem a proposta do programa AmazonFACE, de não apenas realizar um experimento, mas ser "uma plataforma de pesquisas sobre os impactos das mudanças climáticas na Amazônia, favorecendo o planejamento da economia e o desenvolvimento regional sustentável." (NORBY e LAPOLA, 2014:6). Porém, talvez seja a definição em Star e Ruhleder (1996) que mais contribui para compreender a contínua transformação da Amazônia: "*an infrastructure occurs when the tension between local and global is resolve*" (idem, p. 114). O AmazonFACE demonstra o trabalho contínuo que é necessário para entrelaçar o futuro do clima ao futuro da floresta, seja ele conceitual como a renovação da hipótese da savanização, inovação técnica na construção dos *plots* experimentais, ou organizacionais como a parceria com o Serviço Nacional de Meteorologia do Reino Unido (Met Office UK) e o lançamento na COP 26. E ao observar os imaginários, à primeira vista contraditórios, que circulam o programa como "laboratório a céu aberto", "máquina do tempo na floresta" (Autrán, 2020), "modelo na vida real", "floresta hi-tech", parece ressoar com o colapso de diferenças, como natureza e cultura, proposto pela noção de Antropoceno.

Considerações Finais

Como lembra Ballesterio (2019) esses instrumentos de tornar visíveis os fenômenos ambientais, como os modelos computacionais, os grandes projetos, os satélites, etc, estão sempre emaranhados em relações de poder. Categorizar algo como infraestrutura é, assim, sempre uma proposição política. O movimento analítico, e também material, de separar figura e fundo é sempre um compromisso político, pois envolve uma decisão sobre o que é visto como infraestrutural e o que é deixado de lado (Larkin 2013).

No cenário atual de aumento do desmatamento e uma política ambiental que contraria e desautoriza a ciência feita na Amazônia, a questão se torna sobre como equacionar o que se perde na apreensão da floresta por meio apenas de sua dimensão funcional - como infraestrutura - e o que se ganha no sentido da conservação material da floresta e daqueles que a habitam. Como bem lembra Latour (2016), infelizmente, as alterações climáticas só são perceptíveis por meios dos instrumentos científicos que, muitas vezes, foram criados pelos próprios agentes da devastação, como é o caso da tecnologia de perfuração de gelo, por exemplo. A grande ironia, como lembra Hetherington (2019), é que a inversão que o Antropoceno executa parece colocar em evidência a própria natureza onde as infraestruturas são construídas e colocar a humanidade de frente com a base material que sustenta a vida no planeta.

Bonelli e Walford (2021) propõem que o conceito de Antropoceno não apenas torna visível algo que está em colapso, mas promove um colapso generalizado da diferença. Diferenças culturais, políticas, sociais e cosmológicas colapsam em uma trajetória única e universal em direção à catástrofe. Tal articulação arrisca esconder a própria dimensão política do Antropoceno e as possibilidades outras de pensar e existir. Ao mesmo tempo, os autores caracterizam o Antropoceno através de Fortun (2012): como um tempo de paradigmas exaustos ou exauridos, onde "assim como os recursos da terra estão se esgotando "nossos" recursos conceituais também estão" (Bonelli e Walford 2021). Em contrapartida, os autores propõem uma figura interessante para tentar não perder de vista a dimensão material do colapso generalizado do Antropoceno sem ter de embarcar em uma narrativa universalizante, a figura do *tabapot*.

Emprestada da pesquisa de Wagner (2018) sobre os Tolai da Nova Bretanha Oriental na Papua Nova Guiné, *tabapot* se refere a uma habilidade particular de alternar entre figurações aparentemente contraditórias, uma habilidade "[of] shifting our attention between what we might think of as mutually opposed intellectual positions, in a series of figure-ground reversals between Knowledge And Its Limits And Excesses; Between Practice And Its Exhaustion" (Bonelli e Walford 2021: 30). Uma forma não totalizante, mas sim alternante, que tenta possibilitar não perder de vista: nem ambiente e nem infraestrutura, nem particularidade e nem universalidade, nem o perigo do colapso e nem a potência da diferença.

Referências Bibliográficas

AUTRÁN, Rodrigo Ramírez. 2020. "Uma máquina do tempo para frear a savanização da floresta amazônica". *ClimaCom – Florestas [Online]*,7(17).

- BALLESTERO, Andrea. 2019. “The underground as infrastructure? Water, figure/ground reversals and dissolution in Sardinal”. In. HETHERINGTON, Kregg. (eds.). *Infrastructure, Environment, and Life in the Anthropocene*. Duke University Press, 2019. *Anthropocene*, p. 17-44.
- BONELLI, Cristóbal; WALFORD, Antonia. 2021. “Introduction: Environmental Alterities”. In. BONELLI, Cristóbal; WALFORD, Antonia (eds). *Environmental Alterities*. Mattering Press.
- BOWKER, Geoffrey C. 1995. “Second nature once removed: Time, space and representations”. *Time & Society*, 4(1): 47-66.
- BRUM, Eliane. 2019. “A Amazônia é o centro do mundo”. *El País Brasil*. Disponível em: https://brasil.elpais.com/brasil/2019/11/15/opinion/1573820553_621324.html
- CHAKRABARTY, Dipesh. 2009. “The climate of history: Four theses”. *Critical inquiry*, 35(2): 197-222.
- CHAKRABARTY, Dipesh. 2019. “The planet: An emergent humanist category”. *Critical Inquiry*, 46(2): 1-31.
- CRUTZEN, P.; STOERMER, E. F. 2000. “The Anthropocene”. *IGBP*, Newsletter, 41.
- DUTREUIL, Sébastien. 2014. “What good are abstract and what-if models? Lessons from the Gaia hypothesis”. *History and philosophy of the life sciences*, 36(1): 16-41.
- EDWARDS, Paul N. 2010. *A vast machine: Computer models, climate data, and the politics of global warming*. Mit Press.
- FAULHABER, Priscila e TOLEDO, Peter Mann (eds.). 2001. *Conhecimento e fronteira. História da ciência na Amazônia*. Brasília/ Belém, Paralelo 15/ Museu Goeldi.
- FLEURY, Lorena Cândido; ALMEIDA, Jalcione. 2013. “A construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte: conflito ambiental e o dilema do desenvolvimento”. *Ambiente & Sociedade*, 16(4): 141-156.
- GROSSMAN, Daniel; LAPOLA, David. 2018. *Floresta em Risco: as mudanças climáticas destruirão a Floresta Amazônica?* Biblioteca da Unicamp. Campinas.
- HARAWAY, Donna J. 2016. *Staying with the Trouble*. Duke University Press.
- HECHT, Susanna; RAJÃO, Raoni. 2020. “From ‘Green Hell’ to ‘Amazonia Legal’: Land use models and the re-imagination of the rainforest as a new development frontier”. *Land Use Policy*, 96.

HETHERINGTON, Kregg. 2019. “Introduction. Keywords of the Anthropocene”. In. HETHERINGTON, K. (eds.). *Infrastructure, Environment, and Life in the Anthropocene*. Duke University Press, 2019. Anthropocene, p. 1-13.

INSTITUTO SOCIEDADE, POPULAÇÃO E NATUREZA. 2020. *Nota de esclarecimento sobre a utilização do termo "savanização"*. Brasília. Disponível em: <<https://ispn.org.br/nota-de-esclarecimento-sobre-a-utilizacao-do-termo-savanizacao/>>

LAPOLA, D.; Norby, R. (coords.). 2014. *AmazonFACE: Assessing the effects of increased atmospheric CO₂ on the ecology and resilience of the Amazon forest*. Science Plan and Implementation Strategy. Brazilian Ministry of Science, Technology and Innovation (MCTI) and the Inter-American Development Bank (IDB).

LAPOLA, David M. 2018. “Bytes and boots to understand the future of the Amazon forest”. *New Phytologist*, 219(3): 845-847.

LARKIN, Brian. 2013. “The politics and poetics of infrastructure”. *Annual review of anthropology*, 42: 327-343.

LATOURE, Bruno. 2018. *Down to earth: Politics in the new climatic regime*. John Wiley & Sons.

LATOURE, Bruno. 2017. *Facing Gaia: Eight lectures on the new climatic regime*. John Wiley & Sons.

LENTON, Timothy. 2016. *Earth system science: a very short introduction*. Oxford University Press.

LENTON, Timothy M.; DUTREUIL, Sébastien. 2020. “Distinguishing Gaia from the Earth system”. In. LATOURE, Bruno; WEIBEL, Peter (eds). *Critical zones: The science and politics of landing on earth*. ZKM Centre for Art and Media, p 176 - 179.

LOVELOCK, James E.; MARGULIS, Lynn. 1974. “Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the Gaia hypothesis”. *Tellus*, 26(1-2): 2-10.

MIGUEL, J.; MAHONY, M.; MONTEIRO, M. S. A. 2019. “Infrastructural geopolitics of climate knowledge: the Brazilian Earth System Model and the North-South knowledge divide”. *Sociologias (UFRGS)*, 21: 44-75.

MIGUEL, Jean Carlos Hochsprung. 2020. “Perspectivas das infraestruturas: organização, conhecimento e poder”. *Pensata: Revista dos Alunos do Programa de Pós-Graduação em Ciências Sociais da UNIFESP*, 9(2).

MONTEIRO, M., Cal Seixas, S. and Vieira, S. 2014. “The politics of Amazonian deforestation: environmental policy and climate change knowledge”. *WIREs Clim Change*, 5: pp. 689– 701.

MONTEIRO, Marko. 2015. “Construindo imagens e territórios: pensando a visualidade e a materialidade do sensoriamento remoto”. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, 22: 577-591.

MYERS, Natasha. 2015. *Rendering life molecular*. Duke University Press.

PRENTICE, Iain Colin; COWLING, Sharon A. 2013. “Dynamic global vegetation models”. In: *Encyclopedia of biodiversity*. Elsevier. p. 670-689.

STAR, Susan. L.; RUHLEDER, Karen. 1996. “Steps toward an ecology of infrastructures: Design and access for large information spaces”. *Information Systems Research*, 7(1), p. 111-134.

WAGNER, Roy. 2018. “The reciprocity of perspectives”. *Social Anthropology*, 26(4): 502-510.

WATSON, Andrew J.; LOVELOCK, James E. 1983. “Biological homeostasis of the global environment: the parable of Daisyworld”. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 35(4): 284-289.